



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <http://ojs.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Pengujian mekanis komposit rice starch – organic clay sebagai bahan alternatif kotak pendingin makanan

Made Ery Arsana^{1*}, I Kadek Ervan Hadi Wiryanta¹, I Putu Adi Wiguna² dan I Nyoman Artha Gunawan²

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

²Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Badung, Bali 80364, Indonesia

*Email: eryarsana@pnb.ac.id

Abstrak

Sampah plastik sudah menjadi permasalahan yang menjadi isu utama mengenai sampah di dunia saat ini. Produksi plastik di dunia sudah mencapai 8300 juta metrik ton (Mt) dari tahun 1950 sampai tahun 2015 dan 6.300 Mt adalah limbah berupa sampah plastik. Upaya yang bisa kita lakukan untuk mengurangi limbah plastik ini, dengan menggunakan plastik yang ramah lingkungan seperti bio-plastik. Bio-plastik dapat terurai di alam secara alami. Berbagai teknologi pembuatan bioplastik berdasarkan dari tumbuhan yang dapat tumbuh di Indonesia telah diperkenalkan, termoplastik tersebut menggunakan bahan dasar pati terutama corn starch (kanji) dan getah pohon pinus. Pembuatan plastic dari rice starch (beras) pada penelitian ini. dilakukan dengan bantuan penggunaan gliserol, citric acid dan clay (tanah liat) dan selanjutnya dilakukan pemanasan 100°C sampai 150°C. Komposit bioplastik yang terbentuk dicetak untuk pembuatan specimen uji tarik dan untuk material kotak pendingin makanan. Adanya campuran gliserol dan citric acid dapat membantu proses biodegradable komposit tersebut. Sedangkan campuran tanah liat digunakan untuk membantu matrik plastic agar lebih kuat secara struktur serta diharapkan akan dapat meningkatkan tahanan termalnya.

Kata kunci: tepung jagung, tepung tapioka, bio-plastic

Abstract: Plastic waste has become a major issue regarding waste in the world today. The world's plastic production has reached 8300 million metric tons (Mt) from 1950 to 2015 and 6,300 Mt is waste in the form of plastic waste. Efforts that we can do to reduce this plastic waste are by using environmentally friendly plastics such as bio-plastics. Bio-plastics are biodegradable in nature. Various technologies for making bioplastics based on plants that can grow in Indonesia have been introduced, these thermoplastics use starch as basic ingredients, especially corn starch, and pine tree sap. Making plastic from rice starch in this research. carried out with the help of the use of glycerol, citric acid and clay (clay) and then heated 100°C to 150°C. The formed bioplastic composites are molded for the manufacture of tensile test specimens and for food cooler box materials. The presence of a mixture of glycerol and citric acid can help the biodegradable process of the composite. While the clay mixture is used to help the plastic matrix to be structurally stronger and is expected to increase its thermal resistance.

Keywords: corn starch, rice starch, bio-plastic

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Plastik sejak diperkenalkan awal abad ke 20 dan mulai berkembang penggunaannya setelah perang dunia ke dua. Plastik karena kuat dan tidak mudah terdegradasi untuk berbagai kegunaan plastik juga dapat menggantikan peran logam dan merubah kemasan dari yang digunakan berulang menjadi sekali pakai [1]. memperkirakan bahwa 8300 juta metrik ton (Mt) telah diproduksi dari sejak tahun 1950 sampai tahun 2015, dan ada sekitar 6.300 Mt adalah limbah plastik yang dihasilkan, baru sekitar 9% yang telah didaur ulang, 12% dibakar, dan 79% diakumulasikan di tempat

pembuangan sampah atau ada dilingkungan sekitar kita. Jika tren produksi tersebut berlanjut dan pengelolaan limbah masih berlanjut, seperti sekarang ini maka di tahun 2050 diperkirakan akan ada sekitar 12.000 Mt limbah plastik akan berada di tempat pembuangan sampah atau di lingkungan sekitar kita. Indonesia adalah salah satu negara yang menjadi penyumbang sampah plastik no 2 terbanyak didunia [2]. Sehingga harus ada upaya yang sungguh-sungguh untuk menanggulangi agar nantinya tidak akan menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan dimasyarakat kita.

1.1. Latar Belakang Masalah

Upaya terkini yang dilakukan adalah pemanfaatan teknologi pembuatan bioplastik atau bioplastik biodegradable yang merupakan plastik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme dari senyawa turunan tumbuhan, bahan baku alami, seperti pati, selulosa, dan lignin [3]. Bioplastik biodegradable memiliki kualitas fungsional yang sama dengan plastik konvensional, namun memiliki keunggulan yaitu; dapat terurai oleh aksi mikroorganisme, yang menghasilkan air (H_2O), karbon dioksida (CO_2), dan metana (CH_4), [4] sehingga mereka dapat kembali ke alam setelah digunakan karena dapat terurai di lingkungan [5]. Plastik konvensional membutuhkan waktu 50 tahun untuk terurai di alam, sedangkan bioplastik dari nasi aking dapat terdegradasi lebih cepat di alam [6]. Berbagai riset dan pengujian yang ada diantaranya, pengujian campuran yang berbeda bio plastic dari protein dan pati albumen (kentang dan jagung) telah digunakan sebagai bahan mentah untuk bioplastik dengan transparansi tinggi dan sifat mekanis yang sesuai [7]. Penggunaan plasticizer glycerol dan sorbitol dan pengaruh penambahan bahan tersebut pada pembuatan plastic dari bahan cassava starch (pati singkong) [8]. Penggunaan cassava starch juga diungkapkan pada penelitian biodegradable dan non-retrobiodegradable dari [9]. Pati adalah polimer alami yang diekstraksi dari tumbuhan dan dapat digunakan untuk menghasilkan plastik biodegradable karena sifatnya yang ramah lingkungan, dan dapat diperbaharui [10]. Disamping ubi kayu, potensi beras mengandung sejumlah besar pati, yang dapat digunakan dengan tepat untuk produksi bioplastik. Potensi ini merupakan peluang besar untuk memberi nilai tambah pada beras terutama yang telah mengalami penurunan kualitas akibat terlalu lama disimpan atau kurang bagusnya penyimpanan. Namun pati tersebut umumnya memiliki stabilitas termal yang tidak stabil sehingga diperlukan modifikasi kimia untuk meningkatkan sifat mekanis dengan menambahkan plasticizer (bahan pemlastis).

Teknik pencampuran, pemanasan, dan pencetakan yang terintegrasi, merupakan kombinasi pemanfaatan teknologi dalam pembuatan bioplastik. Ada tiga cara efektif dalam menggunakan pati sebagai bahan dasar pembuatan plastik biodegradable.

- 1) Pati digunakan sebagai bahan pengisi plastik berbasis minyak bumi, jumlahnya relatif sedikit, berkisar antara 6-15% dan hanya patinya yang bersifat biodegradable.
- 2) Pati dicampur dengan polimer biodegradable seperti PLA. Jumlah pati yang digunakan mencapai 85%.
- 3) Pati termoplastik, dengan bantuan plasticiser (air, gliserin, dan sorbitol), dan pemanasan temperatur tinggi (90-160°C), dalam proses pembuatannya kemudian dialirkan seperti termoplastik.

Pembuatan plastik biodegradable dengan teknik pencampuran tersebut cukup sederhana. Namun implementasi teknologi produksi dalam skala lebih besar belum banyak dilaporkan. Di beberapa negara, teknologi produksi plastik biodegradable dalam skala besar tidak hanya menghasilkan lembaran film tapi juga dalam bentuk lainnya. Plastik biodegradable dengan berbagai bentuk dapat dibuat dari pati dengan bahan tambahan. Campuran pati alami, pati tergelatinisasi, pati termoplastis, dan pati termodifikasi, polimer atau monomer (asam laktat, hidroksi alkanolat) dapat ditambah dengan plasticizer, bleaching

maupun pewarna dilakukan melalui proses ekstrusi menggunakan ekstruder pada suhu 100-160°C.

1.2. Plastisasi (pati termoplastik, dengan bantuan plasticiser)

Pati termoplastik, dengan bantuan plasticiser seperti (air, gliserin, dan sorbitol), serta pemanasan temperatur tinggi (90-160°C), yang selanjutnya proses pembuatannya kemudian dialirkan seperti termoplastik. Jiugao, Ning and Xiaofei [11] menggunakan tepung jagung dengan menambahkan sedikit air suling yang kadarnya disesuaikan menjadi 10% berat (basis basah). Teknik yang dilakukan adalah; gliserol dan air dicampur terlebih dahulu, ditambahkan tepung maizena kemudian diblender (3000 rpm, 2 menit) dengan menggunakan High-Speed Mixer GH-100Y (buatan China). Campuran ditutup dan disimpan semalaman. Rasio gliserol terhadap pati jagung air (basis berat b/b) adalah 30 : 100. Campuran secara manual dimasukkan ke dalam ekstruder plastik ulir tunggal SJ-25 (s) (rasio sekrup $L / D = 25:1$, dibuat di China). Kecepatan ulir adalah 20 rpm. Profil suhu sepanjang barrel ekstruder adalah 130C, 140C, 150C, 130C (dari zona umpan sampai akhir). Hasil ekstrusi setelah melalui proses pengeringan dan pelleting menghasilkan pellet plastik biodegradable. Pellet atau biji bioplastik selanjutnya dapat diproses menjadi berbagai bentuk plastik menggunakan plastic converter berupa film blowing untuk menghasilkan kantung plastik. Penggunaan thermoforming dan injection moulding akan menghasilkan produk seperti keyboard dan pesawat telepon. Sedangkan blow moulding digunakan untuk menghasilkan produk berupa botol plastik, dan extrusion coating menghasilkan film laminasi untuk kemasan makanan ringan, retort pouch.

1.3. Organic Acids as Additives

Asam organik berguna untuk meningkatkan sifat starch/film, dikarenakan asam organik akan menghasilkan crosslink yang saling menghubungkan rantai polimer, dan menghasilkan ketahanan film dan lebih sedikit film permeabel. Selain itu, asam organik berkontribusi pada pati hidrolisis, Olivato [12] memfasilitasi penghancuran dan gangguan butiran, menurunkan viskositas material, meningkatkan pemrosesan properti dan menghasilkan matriks yang lebih homogen. Peningkatan kelembaban relatif menyebabkan kekuatan tarik untuk mengurangi dan menambah perpanjangan film karena peran air sebagai plasticizer. Jadi, film biodegradable dengan properti yang lebih baik dapat diproduksi. Film-film biodegradable ini mewakili sebuah alternatif untuk kemasan sintetis, tetapi keterbatasannya itu dilihat sebagai keunggulannya.

1.4. Insulation Panel

Cara yang ramah lingkungan untuk menurunkan penggunaan energi pada system refrigerasi adalah dengan menggunakan insulation yang baik. Teknologi terkini yang ada adalah kombinasi penggunaan VIP (vacuum insulation panel) dan penggunaan PCM. Produk dari VIP rigid yang ada dipasaran, merupakan vakum panel tipis yang dilapisi dengan polyurethane dan aluminium memberikan kinerja isolasi yang memiliki tingkat efisiensi termal yang tinggi dengan ketebalan minimal hingga lima kali lebih baik daripada isolasi yang tersedia secara umum.

1.5. Material Komposit dari Plastik

Plastik juga mempunyai sifat adhesi yang baik hasil uji kekuatan lentur dan kekuatan kompresi menunjukkan bahwa plastik dapat digunakan sebagai pengikat. Hasil Cheriaan and Lehman [13] menunjukkan kekuatan adhesi HDPE meningkat sekitar 50% ketika HDPE dicampur dengan 34% PS (Table 4). Material komposit yang lainnya campuran concrete PET untuk 10% material bangunan dilaporkan [14], paver block [15], sedangkan campuran PET, PP dengan karet ban [16] dan untuk penggunaan genteng atap yang merupakan campuran dari tepung karet ban dan plastik PP dan PE dilaporkan [17] campuran 50 : 50 % keduanya memberikan hasil yang terbaik berdasarkan hasil test impactnya dari 7 sample test komposisi yang dibuatnya. Material komposit yang lainnya yaitu campuran alumina buangan dari pabrik kemasan makanan dan organo clay [18], interkalasi leleh dengan penggilingan dua gulungan dan pencetakan kompresi dilakukan dengan suhu yang diproses pada 200 °C dan waktu tujuh menit. Analisis termal dari bahan komposit daur ulang diperiksa pada suhu kamar dan RH (kelembaban relatif) 64% ditambah dengan dua persamaan (Persamaan 1 dan 2) seperti ketahanan termal permukaan faktor (nilai-R) dan konduktivitas termal (Y). Nilai-R adalah kebalikan dari konduktivitas termal.

Formulasi 5% OC memiliki ketahanan termal paling tinggi diantara formulasi lainnya. nilainya lebih tinggi dari nilai tipikal isolator dan didapatkan hasil juga bahwa peningkatan jumlah OC lebih dari 5% tidak akan meningkatkan ketahanan material terhadap panas. Hasil penelitiannya juga menunjukkan bahwa penambahan OC 5 dan 10% berpengaruh signifikan dalam menurunkan konduktivitas termal dengan di ekuivalen masing-masing sebesar 20,81 dan 17,08. Ini lebih besar dari pada spesimen kontrol (0% OC) yang 2,65. Oleh karena itu, informasi ini menjadikan Organo Clay (tanah liat) sebagai pengisi potensial untuk bahan isolasi.

3.6 State of the Art

Pembuatan material komposit bioplastik dimungkinkan mengacu pada adanya sifat adhesive dari plastik pada umumnya yang dapat digunakan untuk membuat komposit seperti dilaporkan [19]. Material lainnya seperti dilaporkan Senoro [18] penambahan 5-10% bahan pengisi tanah liat (OC), potensial untuk bahan isolasi termal. Penggunaan material tanah liat biasa juga digunakan untuk bahan keramik yang mempengaruhi kekuatan keramik [20]. Sedangkan dalam penelitian ini akan membuat material komposit dari bioplastik (biodegradable plastic) pati beras (rice starch) ditambahkan platilizer gliserol, surbitol dan citric acid dan dicampurkan material lokal yang digunakan adalah tanah liat (OC). Material tersebut ditambahkan sebagai matrik untuk memperkuat komposit, serta untuk menurunkan konduktivitas termalnya. Komposit tersebut yang belum pernah dibuat sebelumnya. Mendapatkan metode pembuatannya dan komposisi serta hasil pengujian mekanisnya dilakukan untuk penggunaan material isolasi termal papan dinding ruangan pendingin.

2. Metode

Metode eksperimen kualitatif. Dimana pengumpulan data diperoleh berdasarkan pengamatan dan pengukuran langsung. dengan mencobakan komposisi bioplastik. Berdasarkan studi literatur komposisi 550 gr tepung beras,

100 ml platilizer gliserol, citric acid 100 ml, Air murni 100 gr, 100 gr kitosan, dicobakan pembuatannya selanjutnya diaduk dan ditambahkan tanah liat 50 gr seperti table 1, selanjutnya diaduk perlahan dengan mixer selama 15 menit. Dipanaskan sambil diaduk pada temperature 150°C selama 15 menit, diangkat dan dicetak didinginkan dalam suhu udara ruang. Proses pendinginan memakan waktu 8 hari untuk selanjutnya dilakukan uji tarik dengan alat uji tarik RAMT 0-100 kgf Gambar 1. Uji solubility terhadap air lihat gambar 4. Pengujian dilakukan dengan cara sample dipotong menjadi bagian persegi 2,0 cm² dan massa sampel kering ditimbang akurat dan dicatat. Sampel tetap direndam dalam 100 mL air tap water dan agitasi tetap pada 180 rpm dilakukan selama 6 jam pada 25° C [21] . Bagian film yang bertahan lama disaring setelah 6 jam. Kemudian dikeringkan dalam oven udara panas pada suhu 110 °C sampai berat tetap akhir ditemukan. Gliserol memiliki kelarutan air yang baik berkisar dari 18% sampai 25% [22].

Table 1. Komposisi komposit bio plastik

Komponen	Campuran Komposit	
	(gram)	(%)
Pati beras	550	55
Air murni	100	10
Gliserol	100	10
Citric acid	100	10
Chitosan	100	10
Tanah liat	50	5

Persentase total zat terlarut (% kelarutan) dihitung sebagai berikut:

$$WS (\%) = [(W0 - Wf)/W0] \times 100 \quad (1)$$

di mana; WS adalah kelarutan dalam air W0 adalah yang berat terakhir bioplastic. Wf adalah berat awal bio-plastic. Analisis kemudian dilakukan dengan membandingkan dengan hasil pengujian dari literatur yang ada sehingga bisa disimpulkan hasilnya.

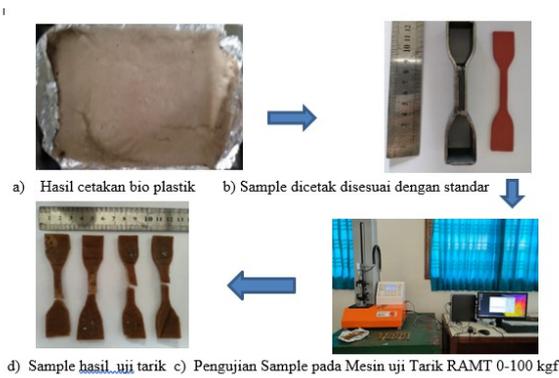
Uji tahanan thermal, pengujian dilakukan dengan cara membuat kotak gambar 6. Dimana kotak dibuat beberapa unit dengan ukuran yang sama dinding kotak 1 dibuat dengan menggunakan polyurethane yang dilapisi aluminium sheet dan kotak lainnya dengan menggunakan bio plastic yang juga dilapisi aluminium sheet pengujian dilakukan dengan beban ice cream dan pendingin PCM dimasukkan kedalam kotak di tutup dan diisolasi. pengukuran temperature dilakukan dengan termokopel dan data akuisisi yang dicatat dengan menggunakan PC.

3. Hasil dan Pembahasan

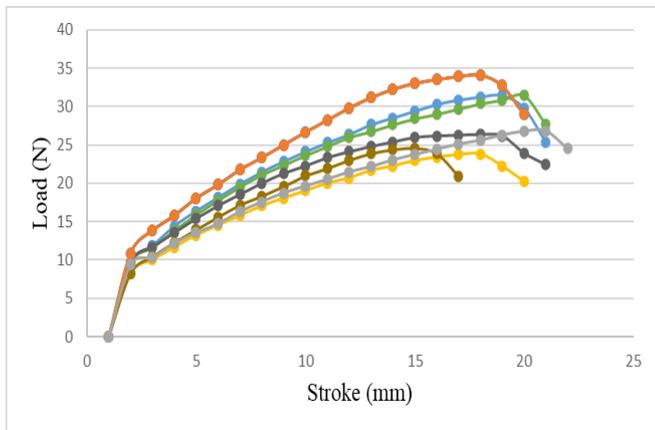
Hasil berupa material komposit setelah dicetak dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya dicetak untuk pembuatan specimen pengujian untuk uji Tarik (Gambar 2). Gambar 3. Menunjukkan hasil uji Tarik dari komposit bio plastic menunjukkan rerata besarnya beban 28,02 N dengan rerata elongation 1,77% (in %). jika dibandingkan dengan hasil uji Tarik dari bio plastic berbahan beras dan jagung dari literatur yang rerata nya 9,578 N dan elongation rerata 5,35 (in %) [23].



Gambar 1. Hasil pencetakan komposit



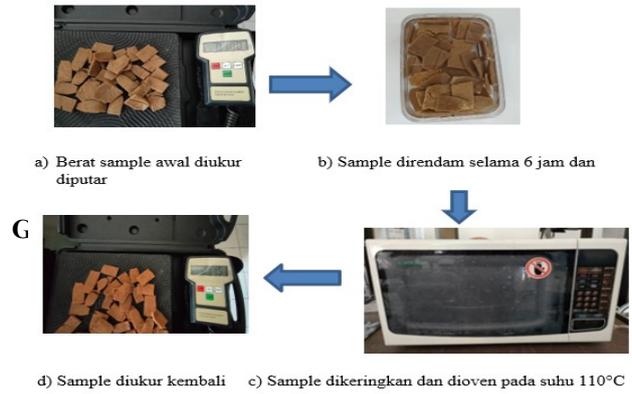
Gambar 2. Pencetakan dan pengujian sample



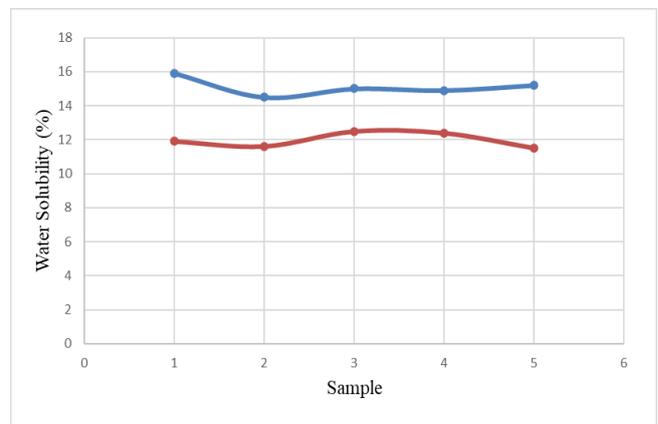
Gambar 3. Grafik hasil uji tarik

Hal ini menunjukkan adanya hubungan bahwa bio plastic beras-tanah liat menunjukkan peningkatan kekuatan tarik tiga kali lipat dari bio plastic beras-jagung. Dari perbandingan ini juga menunjukkan menurunnya sifat plastisnya menjadi hampir tiga kali lipatnya.

Gambar 5, adalah hasil perbandingan tingkat solubility komposit beras dan tanah liat jika dibandingkan dengan bio plastic beras - jagung [23]. Jika dibandingkan hasil pengujiannya menunjukkan nilai prosentase penyerapan air dari sampel yang diujikan warna biru adalah bio plastic pati beras-tanah liat rerata hasilnya 15 % dan jika dibandingkan dengan bio-plastik beras-jagung dari literatur warna merah yang reratanya 11,98%.

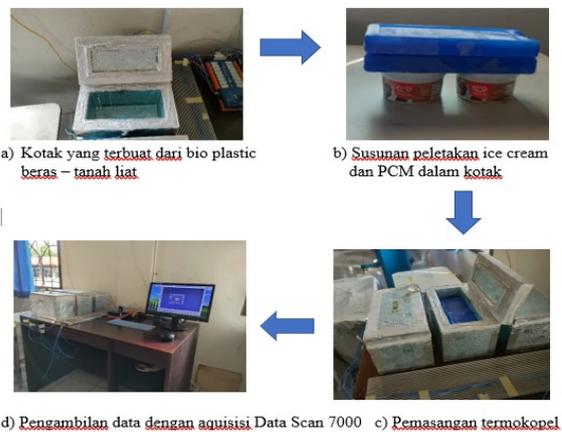


Gambar 4. Adalah skematik pengujian solubility terhadap air dari komposit.



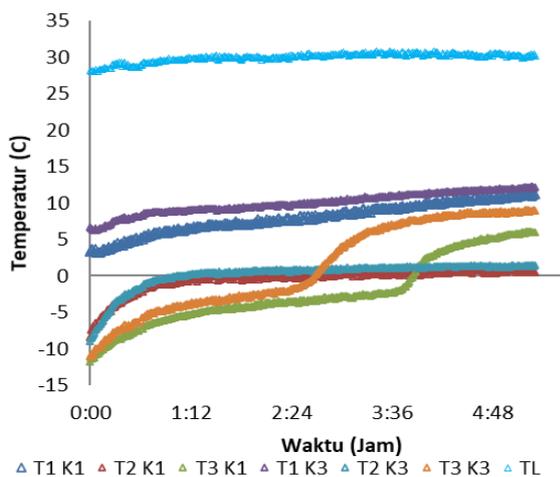
Gambar 5. Grafik perbandingan water solubility bio plastik

Hasil ini dapat dinyatakan kalau komposit beras dan tanah liat memiliki daya serap terhadap air lebih tinggi Keterserapan akan air diperoleh dari adanya komponen Gliserol yang memiliki kelarutan air yang baik berkisar dari 18% sampai 25% [22] Adanya matrix clay pada komposit adalah menjadi factor tambahan untuk meningkatkan hal tersebut. Sifat ini penting untuk membantu proses biodegradable bio-plastik di alam.



Gambar 6. Skematik pengujian tahanan termal

Pengambilan data dilakukan beberapa kali dengan hasil di rata-ratakan dan diplot seperti gambar 7. Garis biru muda adalah temperature lingkungan (TL) hasil pengukuran berkisar 28-30°C dengan rerata 29,5°C pada setiap pengujian sehingga dapat diasumsikan konstan, Garis (T1 K1) adalah temperature ruang pada kotak bagian dalam dari bahan polyurethane dan garis (T1 K3) adalah temperature pada kotak bagian dalam dari bahan bio plastic yang dibuat keduanya menunjukkan kesesuaian kenaikan temperature yang terdapat perbedaan yang kecil $\pm 3^\circ\text{C}$. Temperature dari PCM ditunjukkan oleh garis (T2 K1) pada kotak dari bahan polyurethane dan temperature (T2 K3) pada kotak dari bahan bio plastic keduanya berhimpit yang menyatakan PCM bekerja menyimpan dan melepas kalor latennya dengan baik pada kedua kotak pengujian.



Gambar 7.. Hasil pengujian tahanan termal bio plastic vs polyurethane

Untuk kondisi temperature es krim bisa dilihat pada grafik yaitu garis hijau (T3 K1) adalah kenaikan temperature eskrim pada kotak dari bahan polyurethane dan garis orange (T3 K3) adalah garis grafik yang menunjukkan kenaikan temperature es krim pada kotak dari bahan bio plastic. Temperature awal es krim yang diujikan sama pada kedua kotak yaitu pada temperature -11°C . Pada kotak satu memotong garis temperature 0°C dari PCM di waktu 3 jam dan 44,5 menit sedangkan temperature es krim pada kotak dua dari bahan bio plastic memotong garis 0°C temperature PCM di waktu 2 jam 49 menit. Hal ini menunjukkan bahwa kotak satu polyurethane memiliki ketahanan untuk mempertahankan temperature dingin es krim lebih baik ada perbedaan waktu 1 jam 05 menit terhadap temperature dingin es krim pada kotak dua bio plastic.

Hasil ini memberi harapan kuat atau mengindikasikan bio plastic bisa digunakan untuk bahan kotak pendingin makanan. Hal baru yang tercatat adalah penambahan komposisi tanah liat organic clay 5% pada pengujian ini masih dapat dilanjutkan dengan menambahkan material Organic clay sampai 10%. Adanya matrix tambahan clay pada bio plastic menambah kerapatan dari bahan tersebut untuk penelitian lanjutan berikutnya sehingga akan diperoleh material komposit bio plastic yang dapat mengurangi penggunaan bahan polyurethane.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari pengujian mekanis komposit bio-plastik pati beras dan tanah liat dengan komposisi seperti table 1. Dengan campuran tanah liat 5% cara pembuatan seperti pada sub bab 3. Menghasilkan material yang hasil uji tariknya rerata 28.02 N dan memiliki solubility terhadap air 15%. Material ini lebih kuat dari bio plastic beras-jagung dan adanya sifat solubility terhadap air maka material ini punya prospek mampu terurai yang lebih baik dari plastic pada umumnya. Hasil uji ketahanan termal bahan untuk kotak makanan dingin komposit beras-tanah liat dengan 5% clay mampu menahan suhu es krim pada suhu awal -11°C selama 2 jam 44.5 menit sampai tercapai temperature yang sama dengan temperatur kerja PCM 0°C lebih cepat 1 jam 05 menit dari kotak yang sama dari bahan polyurethane. Perlu penelitian lanjutan penambahan material organic clay sampai 10 % pada komposit untuk dapat menjadi material komposit yang punya spesifikasi yang lebih baik dari polyurethane.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Unit P3M-PNB yang telah mendanai penelitian ini melalui skema DANA-DIPA instistusi, serta buat teman sejawat, PLP teknisi, dan mahasiswa yang telah membantu penyelesaian proses pengujian di lab Uji dan Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

Daftar Pustaka

- [1] R. Geyer, J.R. Jambeck, K.L.Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made," *Science Advances*, 3(7), 2017, pp. 25–29. doi: 10.1126/sciadv.1700782.
- [2] Global Waste Management Outlook, "Global Waste Management Outlook," 2016. doi: 10.18356/765baec0-en.
- [3] L. Avérous, "Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: A review," *Journal of Macromolecular Science - Polymer Reviews*, 44(3), 2004, pp. 231–274. doi: 10.1081/MC-200029326.
- [4] N. Wahyuningtyas, H. Suryanto, "Analysis of Biodegradation of Bioplastics Made of Cassava Starch," *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 1(1), 2017, pp. 24–31. doi: 10.17977/um016v1i12017p024.
- [5] E. Kamsiati, H. Herawati, E.Y. Purwani, "The Development Potential of Sago and Cassava Starch-Based Biodegradable Plastic in Indonesia," *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 36(2), 2017, p. 67. doi: 10.21082/jp3.v36n2.2017.p67-76.
- [6] Selpiana, J.F. Riansya, and K. Yordan, "Pembuatan Plastik Biodegradable dari Tepung Nasi Aking," *Seminar Nasional Added Value of Energy Resources Avoer VII*, 2015, pp. 130
- [7] J. González-Gutiérrez, "Effect of processing on the viscoelastic, tensile and optical properties of albumen/starch-based bioplastics," *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 2011, pp. 308–315. doi: 10.1016/j.carbpol.2010.11.040.
- [8] J.B. Lagos, "Mechanical properties of cassava starch films as affected by different plasticizers and different relative humidity conditions," *International Journal of*

- Food Studies, 4(1), 2015, pp. 116–125. doi: 10.7455/ijfs/4.1.2015. a10.
- [9] P.G. Seligra, "Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch-glycerol with citric acid as crosslinking agent," *Carbohydrate Polymers*, 138(December), 2016, pp. 66–74. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.11.041.
- [10] N.A. Kukhta, I.V. Vasilenko and S.V. Kostjuk, "Room temperature cationic polymerization of β -pinene using modified ALCL3 catalyst: Toward sustainable plastics from renewable biomass resources," *Green Chemistry*, 13(9), 2011, pp. 2362–2364. doi: 10.1039/c1gc15593h.
- [11] Y. Jiugao, W. Ning and M. Xiaofei, "The effects of citric acid on the properties of thermoplastic starch plasticized by glycerol," *Starch/Staerke*, 57(10), 2005, pp. 494–504. doi: 10.1002/star.200500423.
- [12] J.B. Olivato, "Effect of organic acids as additives on the performance of thermoplastic starch/polyester blown films," *Carbohydrate Polymers*, 90(1), 2012, pp. 159–164. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.05.009.
- [13] Z. Cherian, and R. Lehman, "Effects of adhesive type and polystyrene concentration on the shear strength of bonded polystyrene/high-density polyethylene blends," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 25(6), 2005, pp. 502–506. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2005.02.001.
- [14] L. Pezzi, "Concrete products with waste's plastic material (bottle, glass, plate)," *Materials Science Forum*, 514–516(PART 2), 2006, pp. 1753–1757. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.514-516.1753.
- [15] G. Tapkire, "Recycled Plastic Used in Concrete Paver Block," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(21), 2014, pp. 33–35. doi: 10.15623/ijret.2014.0321009.
- [16] E.H. Hernández, "Sulfuric acid treatment of ground tire rubber and its effect on the mechanical and thermal properties of polypropylene composites," *Journal of Applied Polymer Science*, 134(21), 2017, pp. 1–7. doi: 10.1002/app.44864.
- [17] Y. Liu, W. Yang, and M. Hao, "Research on mechanical performance of roof tiles made of tire powder and waste plastic," *Advanced Materials Research*, 87–88, 2010, pp. 329–332.
- [18] D. Senoro, A. Grino, E. Chan, "Effects of impregnation of organoclay in the thermo-physico-mechanical properties of recycled composite aluminates as barrier material," *Defect and Diffusion Forum*, 382 DDF, 2018, pp. 12–20. doi: 10.4028/www.scientific.net/DDF.382.12.
- [19] M. Seghiri, "The Possibility of Making a Composite Material from Waste Plastic," *Energy Procedia*, 119, 2017, pp. 163–169. doi: 10.1016/j.egypro.2017.07.065.
- [20] B.W. Nuryadin and K. Khairurrijal, "Sintesis Keramik Berbasis Komposit Clay-Karbon dan Karakterisasi Kekuatan Mekaniknya," (January, 2009).
- [21] M. Ghasemlou, N. Aliheidari, R. Fahmi, S. Shojae-Aliabadi, B. Keshavarz, M.J. Cran, R. Khaksar, "Physical mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils," *Carbohydr. Polym.*, 98, 1117–1126, 2013. [CrossRef]
- [22] M. Gaspar, Z. Benk^o, G. Dogossy, K. Reczey, T. Czigany, O. Reducing, "Water absorption in compostable starch-based plastics", *Polym. Degrad. Stab*, 90, 563–569, 2005. (CrossRef)
- [23] M.K. Marichelvam, M. Jawaid, M. Asim, "Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials", *Fibers*, 7, 32; 2019. DOI;10.3390/fib7040032
- [24] Kingspan, "OPTIM-R, Next generation insulation solutions", *Produktdatablad*, 2012
- [25] D.E. Nasional, "Indonesia Energy Outlook", 2019.