



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN SELULOSA SEBAGAI *FILLER* TERHADAP SIFAT MEKANIK, MORFOLOGI DAN KESTABILAN TERMAL KOMPOSIT SELULOSA/POLY(ETHYLENE GLYCOL)/POLY(LACTIC ACID)

Muhammad Bhakti Santosa

NRP 02511440000006

Dosen Pembimbing

Dr.Eng.Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.

Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN
SELULOSA SEBAGAI *FILLER* TERHADAP
SIFAT MEKANIK, MORFOLOGI DAN
KESTABILAN TERMAL KOMPOSIT
SELULOSA/POLY(ETHYLENE
GLYCOL)/POLY(LACTIC ACID)**

Muhammad Bhakti Santosa
NRP 0251144000006

Dosen Pembimbing :
Dr. Eng. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**STUDY OF THE EFFECT OF CELLULOSE
ADDITION IN MECHANICAL PROPERTIES,
MORPHOLOGY AND THERMAL STABILITY OF
CELLULOSE/POLY(ETHYLENE
GLYCOL)/POLY(LACTIC ACID) COMPOSITE**

Muhammad Bhakti Santosa
NRP 0251144000006

Advisor :
Dr.Eng.Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MATERIAL ENGINEERING
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN SELULOSA
SEBAGAI *FILLER* TERHADAP SIFAT MEKANIK,
MORFOLOGI DAN KESTABILAN TERMAL KOMPOSIT
SELULOSA/POLY(ETHYLENE
GLYCOL)/POLY(LACTIC ACID)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD BHAKTI SANTOSA

NRP. 025 1 14 40000 006

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Eng. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc. (Pembimbing I)

Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN SELULOSA
SEBAGAI *FILLER* TERHADAP SIFAT MEKANIK,
MORFOLOGI DAN KESTABILAN TERMAL
KOMPOSIT SELULOSA/POLY(ETHYLENE
GLYCOL)/POLY(LACTIC ACID)**

Nama Mahasiswa : Muhammad Bhakti Santosa
NRP : 02511440000006
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T.,
M.Sc.
Dosen Pembimbing II : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Sampah plastik yang dihasilkan penduduk dunia pada tahun 2015 mencapai 6300 MT dimana 79% sampah tersebut mencemari lingkungan. Bahan plastik alternatif yang ramah lingkungan salah satunya adalah PLA . Sifat PLA yang getas dan kaku dapat diatasi dengan penambahan PEG, namun kekuatan tariknya menurun signifikan. Untuk menaikkan kekuatan mekanis di tambahkan selulosa dalam bentuk microcrystalline cellulose. Komposit selulosa/PEG/PLA dibuat dengan pencampuran dalam temperatur 215 °C di atas hot plate lalu digunakan metode solution casting untuk membuat spesimen dengan variasi penambahan selulosa 0, 2, 4, 6, dan 8 wt%. Pengujian tarik, impact, kekerasan, FTIR, SEM, dan TGA dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis, morfologi, dan kestabilan termal dari komposit selulosa/PEG/PLA. Hasil pengujian menunjukkan hasil paling baik untuk kekuatan tarik sebesar 4,55 MPa, regangan 3,8%, dan energi impact sebesar 2,3 Joule pada penambahan 6 wt% selulosa, morfologi komposit paling baik pada penambahan 6 wt% selulosa

dengan tidak adanya aglomerasi partikel selulosa dalam matrix PLA, kestabilan termal paling baik diperoleh dengan penambahan 4 wt% selulosa dengan temperatur dekomposisi 246°C.

Kata Kunci : Poly(lactic acid), Poly(ethylene glycol), selulosa, microcrystalline cellulose, sifat mekanik, kestabilan termal, morfologi

**STUDY OF THE EFFECT OF CELLULOSE ADDITION IN
MECHANICAL PROPERTIES, MORPHOLOGY AND
THERMAL STABILITY OF
CELLULOSE/POLY(ETHYLENE
GLYCOL)/POLY(LACTIC ACID) COMPOSITE**

Name : Muhammad Bhakti Santosa
NRP : 02511440000006
Department : Material Engineering
Advisor 1 : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T.,
M.Sc.
Advisor 2 : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T

ABSTRACT

Plastic waste generated by people around the world in 2015 reached 6300 MT where 79% of the plastic waste contaminates the environment., one of the alternatives is ecofriendly biodegradable PLA plastic. The brittle and rigid nature of the PLA can be fixed by adding PEG, but its tensile strength decrease significantly. Cellulose were added in the form of microcrystalline cellulose to increase its mechanical strength. The cellulose / PEG / PLA composite were made by mixing the materials at 215 °C above a hot plate and use solution casting method to create specimens with variations of 0, 2, 4, 6, and 8 wt% cellulose. Tensile, impact, hardness, FTIR, SEM, and TGA tests were performed to determine the mechanical properties, morphological, and thermal stability of cellulose / PEG / PLA composites. The test results showed the best mechanical properties with tensile strength 4.55 MPa, strain 3.8%, and impact energy 2.3 Joules for the addition of 6 wt% cellulose, composite morphology observed to be best at the addition of 6 wt% cellulose, proved by the absence of agglomeration of cellulose particles in the PLA matrix , thermal stability show best result with the addition of 4 wt% cellulose with decomposition temperature start at 246 °C

Keywords : Poly (lactic acid), Poly (ethylene glycol), cellulose, microcrystalline cellulose, mechanical properties, thermal stability, morphology

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Pengaruh Penambahan Selulosa Sebagai *Filler* Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit *Biodegradable Selulosa/Poly(Ethylene Glycol)/Poly(Lactic Acid)*”**”. Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Kedua Orang Tua saya, terutama Ibu yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh studi, serta Almarhum Ayah yang tanpanya saya tidak akan menjadi saya yang sekarang.
3. Saudara penulis Galang Rachman Maulana., yang telah memberikan doa, perhatian, dukungan, dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
5. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahan serta ilmu yang sangat bermanfaat
6. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan banyak masukan serta memberi semangat.

7. Bapak Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si. Selaku dosen wali yang sangat mengayomi.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Tirza Silviani Biyantoro yang selalu memberikan dukungan serta perhatian selama ini.
10. Sahabat-sahabat saya Imam, Leo, Azmi, Suryo, Megah, Bepe, Septi, Zul, Mbambing, Ido, HN, Sinung, Bram, Hendy, Aseng, Chang, Bobby, Girsang, Choirul yang selalu membagikan cerita dan tawa
11. Akhmad Affan Hakim yang menjadi teman seperjuangan sepenanggungan.
12. Teman-teman H10 yaitu Billy, Indra, Dhanang, Iwan yang telah menjadi teman sekelas dan selalu memberi semangat, motivasi, serta sokongan dana.
13. Teman-teman Lab. Inovasi Material yang telah menemani dan membantu tugas akhir saya selama 1 semester khususnya kepada Yudhis, Rama, Ibe, Afis, Harits, Afik dan Tyo yang selalu menghidupkan suasana.
14. Keluarga MT 16 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material.
15. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama.

Surabaya, 26 Juni 2017

Penulis,
Muhammad Bhakti Santosa

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | v |
| ABSTRAK | vii |
| KATA PENGANTAR | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL | xix |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

| | |
|--|----|
| 2.1 Material Komposit | 5 |
| 2.1.1 Jenis-Jenis Komposit | 5 |
| 2.1.2 <i>Biocomposite</i> | 8 |
| 2.1.3 <i>Green Composite</i> | 8 |
| 2.2 Biomaterial | 10 |
| 2.3 Biopolimer | 11 |
| 2.4 <i>Plasticizer</i> | 11 |
| 2.5 <i>Polylactic Acid (PLA)</i> | 11 |
| 2.5.1 Proses Pembuatan PLA | 12 |
| 2.5.2 Sifat-Sifat PLA | 13 |
| 2.5.3 Penggunaan PLA pada Komposit | 15 |
| 2.6 Selulosa | 17 |
| 2.7 <i>Polyethylene Glycol (PEG)</i> | 17 |
| 2.7.1 Proses Pembuatan PEG | 18 |

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 2.7.2 | Penggunaan PEG..... | 20 |
| 2.8 | <i>Biodegradability</i> | 21 |
| 2.9 | Penelitian Sebelumnya | 21 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Diagram Alir Penelitian | 25 |
| 3.2 | Bahan dan Alat Penelitian | 26 |
| 3.2.1 | Bahan Penelitian | 26 |
| 3.2.2 | Alat Penelitian | 28 |
| 3.3 | Pelaksanaan Penelitian | 37 |
| 3.3.1 | Persiapan Material | 37 |
| 3.3.2 | Persiapan Proses Pemanasan dan Pencampuran | 38 |
| 3.3.3 | Proses Pemanasan dan Pencampuran | 38 |
| 3.3.4 | Sintesis Komposit Selulosa/PEG/PLA | 38 |
| 3.4 | Pengujian | 39 |
| 3.4.1 | Pengujian Sifat Mekanik | 39 |
| 3.4.2 | Pengujian FTIR | 42 |
| 3.4.3 | Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) | 42 |
| 3.4.4 | Pengujian <i>Thermogravimetric Analysis</i> | 43 |
| 3.5 | Rancangan Pengujian | 43 |

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

| | | |
|-----|---|----|
| 4.1 | <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR) | 45 |
| 4.2 | Pengujian Tarik | 49 |
| 4.3 | Pengujian <i>Impact</i> | 51 |
| 4.4 | Pengujian Kekerasan | 53 |
| 4.5 | <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)..... | 54 |
| 4.6 | Pengujian <i>Thermogravimetric Analysis</i> TGA..... | 56 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | | |
|-----|------------------|----|
| 5.1 | Kesimpulan | 59 |
| 5.2 | Saran | 59 |

DAFTAR PUSTAKAxxi
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 2.1. | Klasifikasi Komposit | 6 |
| Gambar 2.2. | Komposit Berpenguat Partikel | 6 |
| Gambar 2.3. | Komposit Berpenguat Fiber | 7 |
| Gambar 2.4. | Komposit Laminat | 8 |
| Gambar 2.5. | Komposit <i>Sandwich</i> | 8 |
| Gambar 2.6. | Klasifikasi Biokomposit..... | 9 |
| Gambar 2.7. | Monomer Optikal dari <i>Lactic Acid</i> | 12 |
| Gambar 2.8. | Skema Reaksi Pembuatan PLA dengan Ring Opening..... | 13 |
| Gambar 2.9. | Rantai Ikatan Selulosa..... | 17 |
| Gambar 2.10. | Struktur Kimia PEG | 18 |
| Gambar 2.11. | Hasil Pengujian <i>Impact</i> | 23 |
| Gambar 2.12. | Kekuatan Tarik dan Perpanjangan Sampel | 24 |
| Gambar 3.1. | Diagram Alir Penelitian | 25 |
| Gambar 3.2. | <i>Poly(lactic acid)</i> | 27 |
| Gambar 3.3. | <i>Poly(ethylene glycol) 4000</i> | 27 |
| Gambar 3.4. | <i>Microcrystalline Cellulose (MCC)</i> | 28 |
| Gambar 3.5. | Cetakan Aluminium | 29 |
| Gambar 3.6. | Pengaduk Kaca | 29 |
| Gambar 3.7. | Spatula | 30 |
| Gambar 3.8. | <i>Aluminium Foil</i> | 30 |
| Gambar 3.9. | Sarung Tangan Tahan Api | 31 |
| Gambar 3.10. | <i>Hot Plate Magnetic Stirrer</i> | 31 |
| Gambar 3.11. | <i>Thermometer Gun</i> | 32 |
| Gambar 3.12. | Timbangan Digital | 32 |
| Gambar 3.13. | <i>Oven</i> | 33 |
| Gambar 3.14. | Mesin Uji <i>Impact</i> | 33 |
| Gambar 3.15. | Mesin Uji Tarik..... | 34 |
| Gambar 3.16. | Alat Uji Kekerasan | 35 |
| Gambar 3.17. | Mesin FTIR..... | 36 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 3.18. | Alat Uji TGA | 36 |
| Gambar 3.19. | Mesin SEM | 37 |
| Gambar 3.20. | Dimensi Spesimen Uji Tarik (ASTMD638)..... | 40 |
| Gambar 3.21. | Dimensi Spesimen Uji <i>Impact</i> (ASTMD256) | 40 |
| Gambar 3.22. | Spesifikasi Indentor Untuk Uji Kekerasan Duromoter Shore-D | 41 |
| Gambar 4.1. | Spektra FTIR Spesimen (a) PLA, (b) 10%PEG/PLA, (c) 2%MCC/PEG/PLA, (d) 4%MCC/PEG/PLA, (e) 6%MCC/PEG/PLA, dan (f) 8%MCC/PEG/PLA..... | 45 |
| Gambar 4.2 | Hasil SEM Permukaan Patahan Spesimen (a) 10%PEG/PLA, (b) 2%MCC/PEG/PLA, (c) 4%MCC/PEG/PLA, (d) 6%MCC/PEG/PLA, dan (e) 8%MCC/PEG/PLA Dengan Perbesaran 250x dan 500x..... | 54 |
| Gambar 4.3 | Grafik pengujian TGA Spesimen (a) 10%PEG/PLA, (b) 2%MCC/PEG/PLA, (c) 4%MCC/PEG/PLA, (d) 6%MCC/PEG/PLA, dan (e) 8%MCC/PEG/PLA..... | 57 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tabel 2.1. | Sifat Mekanik PLA dan Isomernya | 14 |
| Tabel 2.2. | Sifat Mekanik PLA dan Polimer Lain | 15 |
| Tabel 2.3. | Segmen Bisnis Produk PLA | 16 |
| Tabel 2.4. | Produk PLA dan Perusahaan Pembuatnya | 16 |
| Tabel 2.5. | Kekuatan Tarik PEG | 19 |
| Tabel 2.6. | Modulus Young PEG | 19 |
| Tabel 2.7. | Aplikasi PEG Pada Bidang Biologi dan Obat ... | 20 |
| Tabel 2.8. | Aplikasi PEG Dalam Berbagai Bidang | 20 |
| Tabel 2.9. | Komposisi Biokomposit <i>Hybird</i> PLA | 22 |
| Tabel 3.1. | Rancangan Penelitian | 43 |
| Tabel 3.2. | Rincian Komposisi Sepsimen Tiap Variabel | 44 |
| Tabel 4.1. | <i>Peak</i> Spektra FTIR Spesimen PLA | 46 |
| Tabel 4.2. | <i>Peak</i> Spektra FTIR Spesimen 10%PEG/PLA ... | 46 |
| Tabel 4.3. | <i>Peak</i> Spektra FTIR Spesimen 2%MCC/PEG/PLA | 46 |
| Tabel 4.4. | <i>Peak</i> Spektra FTIR Spesimen 4%MCC/PEG/PLA | 47 |
| Tabel 4.5. | <i>Peak</i> Spektra FTIR Spesimen 6%MCC/PEG/PLA | 47 |
| Tabel 4.6. | <i>Peak</i> Spektra FTIR Spesimen 8%MCC/PEG/PLA | 47 |
| Tabel 4.7. | Hasil Pengujian Tarik | 49 |
| Tabel 4.8. | Hasil Pengujian <i>Impact</i> | 52 |
| Tabel 4.9. | Hasil Pengujian Kekerasan | 53 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banyaknya penggunaan plastik dalam kehidupan manusia menimbulkan berbagai permasalahan pada lingkungan, kebanyakan monomer yang digunakan untuk membuat plastik adalah hasil pengolahan minyak bumi seperti *ethylene* dan *propylene*. Pasar terbesar dari plastik adalah pada bidang kemasan makanan, penggunaan yang pertumbuhannya di dorong oleh pola penggunaan jangka panjang menjadi sekali pakai, sebagai dampaknya sampah plastik terus meningkat selama lima dekade terakhir. Pada tahun 2015 sekitar 6300 MT sampah plastik dihasilkan oleh penduduk dunia, dari semua itu 9% didaur ulang, 12% di bakar, dan 79% terakumulasi di tempat sampah ataupun mencemari lingkungan (Geyer,2017). Terlebih lagi gas dan zat kimia yang dilepaskan dari proses dekomposisi sampah *non-degradable* berbahaya bagi tumbuhan, hewan, dan manusia di sekitarnya (Ho,2014). Dengan semakin meningkatnya kesadaran akan kelestarian, peraturan lingkungan, manajemen sampah dan keinginan konsumen membuat tren penggunaan komposit berubah, tendensi penggunaan "*green*" *composite* dengan material yang lebih ramah lingkungan sebagai pengganti plastik umum yang digunakan konsumen, ada berbagai macam jenis polimer dari material terbarukan, contohnya *polylactic acid*, *cellulose ester*, *polyhydroxyl butyrates*, plastik berbasis lignin dan *starch* (Nakagito, 2009).

Dari semua jenis polimer *biodegradable* tersebut, *polylactic acid* (PLA) mendapat perhatian yang paling banyak untuk dikembangkan dalam industri polimer, PLA termasuk keluarga *linear aliphatic polyester* yang berasal dari asam hidroksil (Ho, 2014). Kelebihan PLA yang paling menarik adalah kemampuan *biodegradability*, *renewability*, *biocompatibility*, dan penghematan energi saat pembuatannya (Xiao, 2012). PLA adalah polimer *biodegradable* yang paling banyak digunakan sebagai



packaging material karena kekuatannya yang tinggi, transparansi yang baik, dan *biocompatible*. Namun PLA mempunyai beberapa kekurangan diantaranya sifatnya yang getas dan ketangguhannya yang buruk sehingga menghalangi pengembangan dalam aplikasi yang lebih luas (Chieng, 2013). Dimana *elongation at break* PLA kurang dari 10% (Rasal, 2009). Untuk meningkatkan *elongation at break* dari PLA yang buruk, ditambahkan *plasticizer* untuk menurunkan temperature penggelasan (T_g), meningkatkan duktilitas, dan menaikkan *processibility* dari PLA, *plasticizer* oligomerik dengan berat molekul yang relatif tinggi dipilih karena tidak akan menyebabkan migrasi molekul ke permukaan, dan PEG ($M_w \sim 400$ Da) memberikan hasil yang terbaik (Rasal, 2009). Namun, penambahan PEG sebagai *plasticizer* selain meningkatkan persen perpanjangan juga menurunkan kekuatan tarik dan kekuatan modulus PLA (Chieng, 2013), dan untuk mengatasi mengatasi hal ini salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan *reinforce/filler* untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Dari berbagai macam *filler*, selulosa dapat menjadi pilihan yang menjanjikan dimana selulosa adalah salah satu serat alami yang paling kuat dan paling kaku dengan kekuatan modulus teoritis sebesar 167,5 GPa diameter fibril 5-10 nm dan panjang bervariasi dari 100 nm sampai beberapa mikrometer (Mathew, 2004). Meskipun ada penurunan temperatur dari *weight loss* untuk komposit dengan *filler* atau *fiber* yang berasal dari alam (Kowalczyk, 2011), namun ketersediaan serat tumbuhan yang murah, sejalan dengan ide “*greener*” *composite*, dan sifatnya yang tidak abrasif juga menjadi kelebihan dari selulosa (Nakagito, 2009).

Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan selulosa sebagai penguat dalam komposit *biodegradable Polyethylene glycol* (PEG) /*Polylactic acid* (PLA) terhadap kekuatan mekanis dan kestabilan termal komposit tersebut, dimana komposit ini di buat dengan metode *pressurized solution casting*. *Polyethylene glycol* (PEG) disini berfungsi sebagai *plasticizer* dan meningkatkan *elongation at*

BAB I PENDAHULUAN



break (Rasal, 2009) dan selulosa di tambahkan sebagai *filler/reinforce* dengan variasi penambahan sebesar 0, 2, 4, 6, dan 8 wt% untuk meningkatkan kekuatan tarik dan ketangguhan dari komposit.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa sebagai *filler* terhadap sifat mekanik komposit Selulosa/ *polyethylene glycol* (PEG)/*polylactic acid* (PLA)?
2. Bagaimana morfologi antara *filler* selulosa dengan matrix PEG/PLA?
3. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa sebagai *filler* terhadap kestabilan termal komposit Selulosa/ *polyethylene glycol* (PEG)/*polylactic acid* (PLA)

1.3 Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan, serta tidak menyimpang dari permasalahan yang di tinjau, maka Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh pengotor pada PLA, PEG, dan selulosa di abaikan.
2. Pencampuran komponen ketika proses pembuatan komposit dianggap homogen.
3. Pengaruh kelembapan terhadap spesimen saat pengujian mekanik maupun karakterisasi diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan selulosa sebagai *filler* terhadap sifat mekanik komposit Selulosa/ *polyethylene glycol* (PEG)/*polylactic acid* (PLA)/.
 2. Menganalisis morfologi antara selulosa sebagai *filler* dengan matrix PEG/PLA.
-

BAB I PENDAHULUAN



-
3. Menganalisis pengaruh penambahan selulosa sebagai *filler* terhadap kestabilan termal Selulosa/ *polyethylene glycol* (PEG)/*polylactic acid* (PLA)

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian kali ini memiliki manfaat untuk memberikan referensi mengenai bagaimana pengaruh penambahan selulosa sebagai filler pada sifat mekanik komposit biodegradable PLA/PEG sebagai bentuk pengembangan terhadap komposit biodegradable yang pada akhirnya di harapkan dapat membantu memperluas aplikasi dan pengembangan PLA sebagai pengganti material polimer lain seperti PP dan LDPE dalam kemasan makanan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

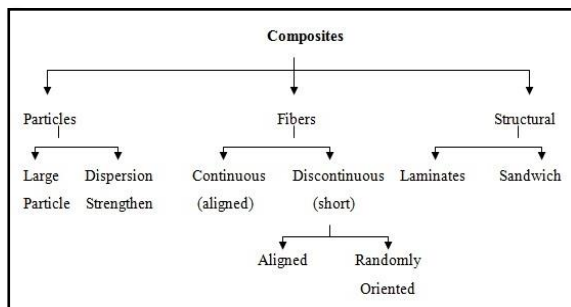
Kata komposit mempunyai arti “terbuat dari bagian atau zat yang berbeda”, sehingga material komposit berarti material yang terbuat dari dua atau lebih material yang berbeda yang membentuk satu unit yang utuh (Choo, 1990).

Material komposit akan mempunyai sifat kimia maupun fisika yang berbeda dari material-material penyusunnya, banyak material komposit hanya terdiri dari dua fasa, satu yang di sebut sebagai *matrix*, yang berfasa kontinu dan menyelubungi fasa lainnya, fasa terdispersi (*reinforce*)(Callister,2009)

Kelebihan dari material komposit berpenguat fiber di bandingkan dengan material seperti baja, alumunium, titanium, dan lain sebagainya adalah *specific strength* dan *specific modulusnya* yang tinggi. Definisi dari *specific strength* adalah perbandingan antara kekuatan material dengan masa jenis material, dan *specific modulus* adalah modulus Young material per unit masa jenisnya,(Choo, 1990)

2.1.1 Jenis-Jenis Komposit

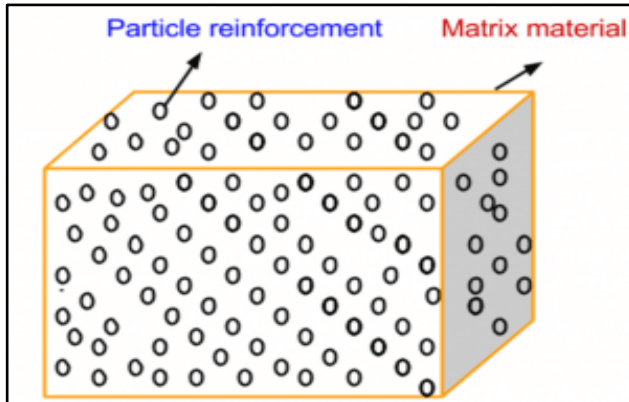
Komposit dapat di klasifikasikan menjadi beberapa bagian, yang dibagi menjadi tiga divisi utama: berpenguat partikel, berpenguat fiber, dan komposit struktural; hal ini di jelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit (Callister, 2009)



Komposit berpenguat partikel berukuran besar bisa saja memiliki berbagai macam geometri partikel, namun mereka memiliki dimensi yang hamper sama pada semua arah, agar *filler* efektif maka partikel harus berukuran kecil dan terdistribusi merata dalam matrix seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2 komposit berpenguat partikel berukuran besar ini contohnya adalah semen.

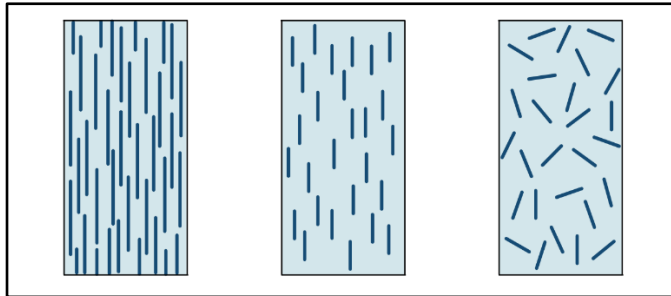


Gambar 2. 2 Komposit Berpenguat Partikel (Callister, 2009)

Untuk komposit berpenguat disperse partikel contohnya adalah metal dan alloynya, dimana metal akan diperkuat oleh adanya beberapa persen partikel kecil material inert dengan kekerasan yang tinggi, fasa yang terdispersi dapat berupa metal maupun non-metal.

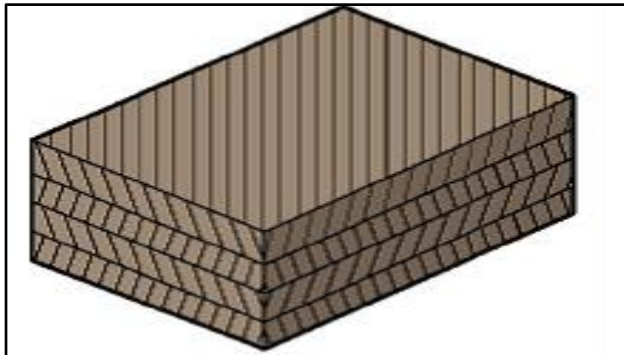
Dalam komposit berpenguat serat, orientasi antara fiber satu dengan lainnya, konsentrasi fiber, dan distribusinya mempunyai peran yang penting dalam kekuatan komposit. Secara umum property mekanik komposit akan menjadi lebih baik ketika distribusi fiber seragam, komposit berpenguat serati ditunjukkan oleh Gambar 2.3.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

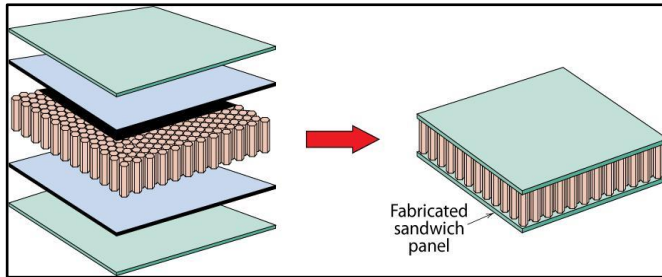


Gambar 2. 3 Komposit Berpenguat Fiber (Callister, 2009)

Dalam komposit struktural, bentuk yang paling umum ditemui adalah komposit laminar dan komposit *sandwich*. Komposit laminar terdiri dari lembaran atau panel dengan kekuatan Tarik tinggi pada arah tertentu yang kemudian di tumpuk dan di satukan dengan orientasi kekuatan Tarik yang bervariasi pada tiap lapisannya. Sedangkan komposit panel *sandwich* terdiri dari dua atau lebih panel dengan kekuatan Tarik dan kekakuan yang relatif tinggi dan dipisahkan oleh panel inti yang lebih tebal, komposit laminar dan sandwich di tunjukkan oleh Gambar 2.4 dan 2.5 (Callister, 2009).



Gambar 2. 4 Komposit Laminat (Callister, 2009)

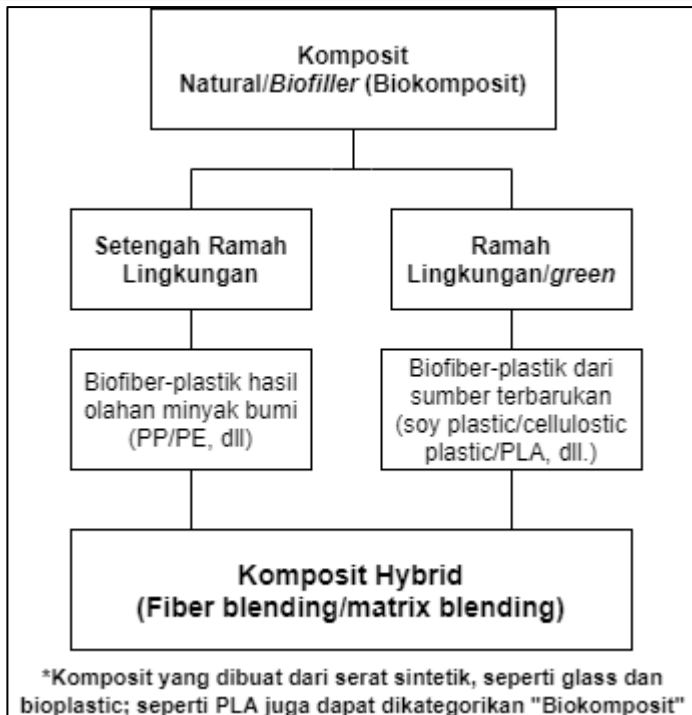


Gambar 2. 5 Komposit Sandwich (Callister, 2009)

2.1.2 Biocomposite

Biokomposit adalah material dengan kombinasi properti yang tidak dapat ditemukan di alam, material ini menunjukkan performa yang baik namun dengan harga yang terjangkau, kesadaran akan kelestarian lingkungan mendorong penelitian ke arah material dengan sifat terbarukan, berkelanjutan, bisa didaur ulang, dan dapat terurai dengan mudah. Komposit jenis ini mudah untuk terdegradasi, terbarukan, serta ramah lingkungan sehingga dikategorikan sebagai biokomposit (Kalia, 2016)

Definisi secara umum dari biokomposit adalah material komposit yang tersusun dari serat alam dan polimer turunan dari minyak bumi seperti PP, PE, dan epoxy, maupun biopolimer seperti PLA dan PHA. Material komposit yang terbuat dari biopolimer dan serat sintetik seperti gelas dan karbon juga dapat disebut biokomposit, klasifikasi lebih jelas oleh Gambar 2.6. Biokomposit yang terbuat dari serat tumbuhan dan plastik dari tumbuhan (biopolimer/bioplastik) akan lebih ramah lingkungan, dan biokomposit jenis ini sering disebut "*Green Composite*" (Mohanty, 2005)



Gambar 2.6 Klasifikasi Biokomposit (Mohanty, 2005)

2.1.3 *Green Composite*

Istilah *green composite* menjadi dikenal karena menurunnya persediaan sumber daya minyak serta meningkatnya peraturan mengenai lingkungan hidup, hal-hal tadi mendorong penggunaan material yang ramah lingkungan dan juga tidak dibuat dari olahan minyak bumi, sederhananya material produk industri yang digunakan untuk aplikasi barang tahan lama, yang di buat dari hasil kebun maupun hutan yang terbarukan, termasuk kayu, sampah agrikultur, rumput dan serat tumbuhan yang terbuat dari karbohidrat seperti gula, pati, lignin, selulosa, serta minyak sayur dan protein (Mohanty,2005)



Secara umum, *green composite* adalah sebuah produk yang di buat seutuhnya dari bahan-bahan yang dapat terbarukan (*renewable*), maupun campuran antara material sintetis dan material yang berasal dari alam dalam persentase tertentu. Lebih jauh lagi dengan penambahan material yang dapat terbarukan sebagai penyusun komposit akan menjadikan komposit tersebut di katakan “*green*”, dan sampai batas tertentu akan berkontribusi pada penggunaan berkelanjutan pada pemakaian material dan penghematan energi (Kalia,2016)

2.2 Biomaterial

Biomaterial adalah segala jenis material yang digunakan untuk *bioengineering*, yaitu segala jenis konsep dan metode pendekatan *engineering* untuk mengatasi berbagai masalah dalam memperbaiki, maupun menggantikan jaringan yang rusak ataupun hilang (Ramakrishna,2004)

Lebih jauh lagi, biomaterial adalah material yang digunakan untuk proses implant atau peralatan medis yang digunakan untuk berinteraksi dengan sistem biologis, Material yang digunakan dalam aplikasi medis harus mempunyai berbagai karakteristik tertentu, yang kebanyakan berhubungan dengan biokompatibel (William,1988)

Peneliti telah banyak menggunakan kata-kata “biomaterial” dan “*biocompatibility*” untuk mengindikasikan performa dari suatu material, sehingga material yang biokompatibel dapat digolongkan sebagai biomaterial, dan *biocompatibility* adalah istilah deskriptif untuk kemampuan suatu material untuk digunakan untuk mendapat respon yang sesuai dari sistem biologis, dalam aplikasi yang spesifik (Hastings,1998)

2.3 Biopolimer

Biopolimer secara umum adalah material polimer yang di buat atau di dapatkan dari sumber-sumber yang terbarukan, salah satu contoh dari biopolimer adalah plastik selulosa seperti *cellulose*



acetate, plastik starch seperti starch ester, dan plastik dari jagung seperti PLA (*polylactic acid*) (Mohanty,2005)

2.4 *Plasticizer*

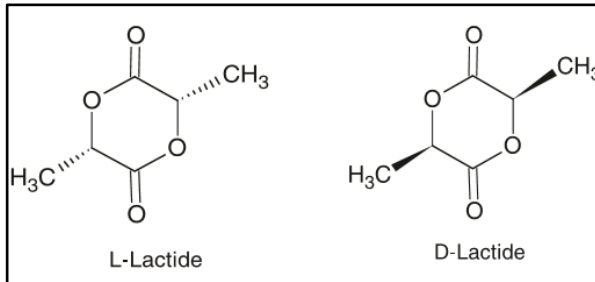
Plasticizer adalah suatu material yang di campurkan ke dalam plastik (polymer) untuk meningkatkan *workability*, fleksibilitas, atau *distensibility* (pemanjangan). Penambahan dari *plasticizer* bisa saja menurunkan viskositas lelehan polimer, temperature pembentukan fasa kedua, ataupun modulus elastisitas dari plastik. Secara teoritis penambahan plastisasi dalam tingkat molekul adalah melemahkan atau memutuskan ikatan kimia tertentu dalam molekul dan membiarkan ikatan lainnya tetap kuat, sehingga memudahkan proses *shaping*, *flexing*, ataupun *molding* dari material tersebut (Kern,1920).

2.5 *Polylactic Acid (PLA)*

Polylactic acid atau PLA $[(C_3H_4O_2)_n]$ pertama kali di temukan pada tahun 1923 oleh Wallace Carothers, di mana pada saat itu hanya bisa membuat PLA dengan berat molekul rendah, namun seiring waktu akhirnya PLA dengan berat molekul tinggi dapat di buat dengan metode *ring-opening polymerization*. Sebagai pembanding dengan polimer jenis lain, PLA mempunyai berbagai macam keunggulan diantaranya; produksi monomer laktik dari asam laktat diproduksi dari fermentasi jagung yang merupakan bahan terbarukan; fiksasi karbon dioksida dalam jumlah banyak melalui produksi maizena dari jagung; penghematan energi; kemampuan untuk didaur ulang menjadi asam laktat dengan metode hidrolisis atau alkoholisis; kemampuan untuk menghasilkan *hybrid* plastik-kertas yang dapat membusuk; pengurangan volume sampah; menaikkan ekonomi agrikultural; dan kemampuan untuk menyesuaikan properti fisik melalui modifikasi material.PLA di golongankan aman oleh badan administrasi obat dan makanan Amerika (FDA) dan aman digunakan sebagai pembungkus makanan (Majid,2010)



PLA mempunyai dua isomer optikal, yaitu *L-lactic* dan *D-lactic acid*, *L-lactic acid* memutar bidang polarisasi cahaya searah dengan jarum jam, sedangkan *D-lactic acid* berlawanan arah jarum jam, isomer ini ditunjukkan oleh Gambar 2.7 (Rahul,2009).



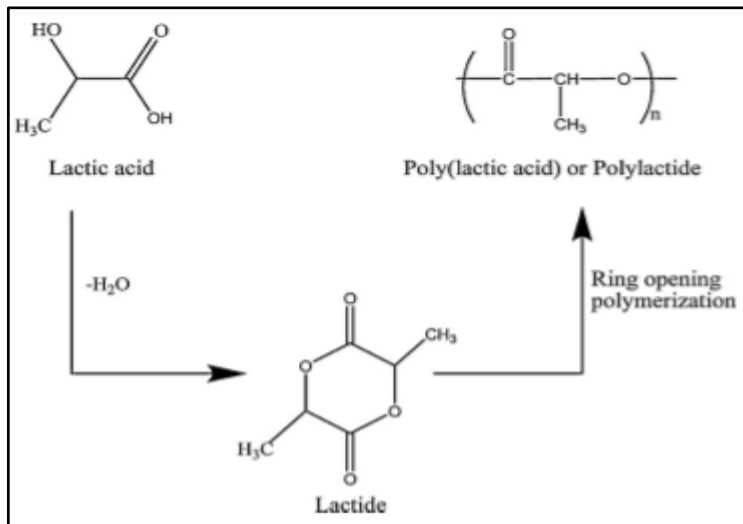
Gambar 2.7 Monomer Optikal dari *Lactic Acid* (Majid,2010)

2.5.1 Proses Pembuatan PLA

Asam Laktat (*2-hydroxy propionic acid*), monomer tunggal dari PLA di produksi dengan fermentasi maupun sintesis kimia, stereoisomernya di produksi dengan cara fermentasi dari karbohidrat oleh bakteri. Produksi PLA skala industri lebih memilih penggunaan metode fermentasi karena untuk proses sintesis kimia membutuhkan biaya yang tinggi, susahnya mendapat stereoisomer yang diinginkan, dan ketergantungan terhadap hasil samping dari proses lainya.

Ada tiga cara untuk polimerisasi asam laktat; polimerisasi dengan kondensasi langsung; polikondensasi langsung dalam larutan azeotropik; dan polimerisasi melalui pembentukan laktik, polimerisasi melalui metode pembentukan laktik dipilih dalam skala industri untuk produksi PLA dengan berat molekul tinggi.

Pemurnian laktik dilakukan dengan distilasi vakum dalam temperatur tinggi, setelah distilasi PLA dengan berat molekul tinggi yang mempunyai kemurnian kristal dan optikal tinggi dibentuk dengan polimerisasi *ring-opening* dalam larutan kation maupun anion tergantung dari inisiator yang digunakan, metode ring opening ini dijelaskan oleh Gambar 2.8. Inisiator yang paling banyak digunakan adalah *stannous octoate* (2-ethyl hexanoate), salah satu kelebihan dari produksi PLA ini dibandingkan polimer berbasis hidrokarbon lainnya adalah rendahnya emisi CO₂ yang dihasilkan (Majid,2010).



Gambar 2.8 Skema Reaksi Pembuatan PLA Dengan *Ring Opening* (Majid,2010)

2.5.2 Sifat-Sifat PLA

PLA mempunyai properti yang cukup unik, seperti penampilan yang bagus, kekuatan mekanik yang tinggi, tingkat toksisitas yang rendah, dan sifat penghalang yang baik dimana koefisien permeabilitas dari CO₂ dan O₂ nya lebih rendah dari



Polystirene dan *PET*. Untuk *tensile modulus* dan *flexural modulus*, *PLA* mempunyai nilai yang paling tinggi diantara *Polystirene*, *PLA Polypropylene*, dan *HDPE*. Untuk kekuatan *impact*, *PLA* mempunyai nilai yang paling rendah di antara *PS*, *PP*, dan *HDPE*. *Elongation at break* yang dimiliki *PLA* rendah yaitu 4% dan hanya lebih tinggi dari *PS* (Engelberg, 1990). Perbandingan sifat mekanik antara *PLA* dengan polimer lain ditunjukkan oleh Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik *PLA* dan Isomernya (Adven, 2017)

| Sifat | PDLA | PLLA | PDLLA |
|--------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| Struktur Kristalin | Kristalin | Hemikristalin | Amorphous |
| Temperatur Leleh (°C) | ~180 | ~180 | Bervariasi |
| Temperatur Transisi Gelas (°C) | 50 - 60 | 50 - 60 | Bervariasi |
| Temperatur Dekomposisi (°C) | ~200 | ~200 | 185 - 200 |
| Elongasi Saat Patah (%) | 20 - 30 | 20 - 30 | Bervariasi |
| Kekuatan Patah (g/d) | 4.0 - 5.0 | 5.0 - 6.0 | Bervariasi |
| Half-Life Dalam Air 37°C | 4 - 6 Bulan | 4 - 6 Bulan | 2 - 3 Bulan |



Tabel 2. 2 Sifat Mekanik PLA dan Polimer Lain (Engelberg, 1990)

| Polymer ^a | M_w | Tensile strength (MPa) | Tensile modulus (MPa) | Flexural modulus ^b (MPa) | Elongation | |
|-------------------------------------|---------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------|-----------|
| | | | | | Yield (%) | Break (%) |
| Poly(ortho esters) | | | | | | |
| t-CDM:1,6-HD = 35:65 [1a] | 89 700 | 20 | 820 | 950 | 4.1 | 220 |
| t-CDM:1,6-HD = 70:30 [1b] | 101 000 | 19 | 800 | 1000 | 4.1 | 180 |
| t-CDM:1,6-HD = 90:10 [1c] | 131 700 | 27 | 1150 | 1250 | 3.4 | 7.0 |
| Poly(glycolic acid) [2] | 50 000 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Poly(lactic acids) [3] | | | | | | |
| L-PLA | 50 000 | 28 | 1200 | 1400 | 3.7 | 6.0 |
| L-PLA | 100 000 | 50 | 2700 | 3000 | 2.6 | 3.3 |
| L-PLA | 300 000 | 48 | 3000 | 3250 | 1.8 | 2.0 |
| D,L-PLA | 21 000 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| D,L-PLA | 107 000 | 29 | 1900 | 1950 | 4.0 | 6.0 |
| D,L-PLA | 550 000 | 35 | 2400 | 2350 | 3.5 | 5.0 |
| Poly(β -hydroxybutyrate) [4] | | | | | | |
| Homopolymer (0 mol% HV) [4a] | 370 000 | 36 | 2500 | 2850 | 2.2 | 2.5 |
| Copolymer (7 mol% HV) [4b] | 450 000 | 24 | 1400 | 1600 | 2.3 | 2.8 |
| Copolymer (11 mol% HV) [4c] | 529 000 | 20 | 1100 | 1300 | 5.5 | 17 |
| Copolymer (22 mol% HV) [4d] | 227 000 | 16 | 620 | 750 | 8.5 | 36 |
| Poly(ϵ -caprolactone) [5] | 44 000 | 16 | 400 | 500 | 7.0 | 80 |
| Polyhydrides | | | | | | |
| Poly(CPP-SA-ISO anhydride) [6] | 31 000 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Poly(GA-HDA anhydride) [7] | 142 000 | 4 | 45 | N/A | 14 | 05 |
| Poly(trimethylene carbonate) [8] | 48 000 | 0.5 | 3 | N/A | 20 | 160 |
| Polyiminoarbonates | | | | | | |
| Poly(BPA-iminoarbonate) [11U] | 105 000 | 50 | 2150 | 2400 | 3.5 | 4.0 |
| Poly(DTH-iminoarbonate) [11F] | 101 000 | 40 | 1630 | N/A | 3.5 | 7.0 |

2.5.3 Penggunaan PLA pada Komposit

Bidang aplikasi dari green composite berbasis PLATERmasuk industri otomotif, industri termoelektrik, agrikultur, Teknik biomedik, industri plastik, dan seterusnya. Dapat digunakanya berbagai metode untuk memproduksi komposit berbasis PLA ini akan meningkatkan penggunaanya dalam berbagai aplikasi di masa depan (Kalia,2016)

PLA mempunyai potensial untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, dalam perkembanganya PLA banyak digunakan sebagai alternatif sebagai pembungkus makanan ramah lingkungan. Penggunaan PLA sebagai pembungkus makanan adalah yang paling banyak saat ini (hampir 70%) dan diestimasikan untuk tahun 2020 penggunaan PLA dalam bidang lain akan meningkat, kususnya sebagai fiber dan fabrik (Majid.2010). Aplikasi serta pabrik pembuat produk PLA di tunjukkan oleh Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Tabel 2. 3 Segmen Bisnis Produk PLA (Majid, 2010)

| Segmen Bisnis | Aplikasi Komersil yang Tersedia |
|-------------------------------|--|
| Aplikasi Ingeo Plastic | |
| <i>Rigid Thermoform</i> | <i>Clamshell</i> bening untuk buah dan sayuran Wadah <i>Yogurt</i> bening Wadah minuman dan kertas sekali pakai Packaging untuk barang elektronik Wadah roti, sayuran, dan permen Nampun daging |
| <i>Biaxial Film</i> | Pembungkus permen Pembungkus (<i>Overwrap</i>) produk Wadah sereal, <i>Cake</i> , dan Roti <i>Tapes</i> Pembungkus bunga Film laminasi Envelope dan karton |
| Botol | Botol susu murni Air Mineral Minyak |
| Aplikasi Ingeo Fiber | |
| <i>Apparel</i> | Pakaian kasual, olahraga, dan pakian dalam |
| <i>Nonwoven</i> | Lap, popok, sol sepatu, kertas dan <i>door liner</i> |
| Furnitur | Benang dekoratif, karpet, gordien |
| <i>Fiberfill</i> | Bantal, matras |

Tabel 2. 4 Produk PLA dan Perusahaan Pembuatnya
(Majid,2010)

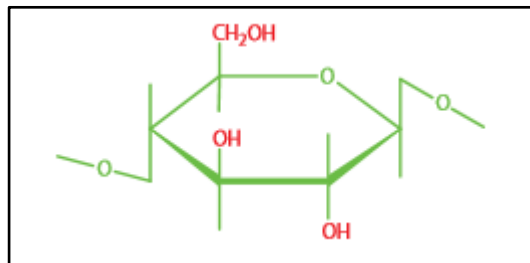
| Produk | Nama Perusahaan |
|---|--|
| Packaging | |
| Film dan Lembaran untuk biskuit, buah, sayur dan daging | Treophan, Natura, IPER, Sainsbury, Sulzer, Ecoproduct, RPC |
| <i>Cup Yogurt</i> | Cristillina, Cargill Dow |
| Pembungkus Transparan dan Keras untuk Baterai | Panasonic |
| Nampun dan Mangkuk untuk <i>Fast Food</i> | McDonald |
| Agrikultur dan Hortikultura | |
| <i>Mulch Film</i> | Novamont, Cargill Dow |
| Barang Tahan Lama | |
| <i>Apparel (T-Shirt dan Kaos Kaki)</i> | FILA, Cargill Dow, Kanebo, Gosen |
| Selimut | Ingeo |
| <i>Casing Walkman</i> | Sony |
| CD (<i>Compact Disk</i>) | Sanyo Marvic Media, Lacea |
| Komponen Laptop | Fujitsu, Lacea |
| <i>Sapre Wheel Cover</i> | Toyota |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.6 Selulosa

Selulosa adalah salah satu polimer yang paling berlimpah di bumi dan menyediakan kekuatan/stabilitas pada dinding sel tumbuhan. Properti dan nilai ekonomis produksi fiber di pengaruhi oleh banyaknya selulosa dalam fiber, dalam fiber selulosa alami, selulosa semikristalin yang kaku ada di dalam matrix amorfus yang lembut. Fibril selulosa (ukuran mikro/nano) atau *celulose whisker* dapat di produksi dengan mudah dari serat kapas, nanoselulosa dapat di peroleh dari berbagai sumber seperti kayu, tumbuhan, alga dan bakteri. Selulosa adalah molekul polisakarida tidak bercabang yang tersusun dari dua cincin anhidroglukosa ($C_6H_{10}O_5$)_n; n=10000 sampai 15000, dimana n tergantung dari sumber selulosanya, cincin-cincin ini dihubungkan oleh ikatan β 1-4 glukosidik, rantai molekul selulosa di tunjukkan oleh Gambar 2.9 (Thakur, 2015)



Gambar 2.9 Rantai Ikatan Selulosa (Thakur, 2015)

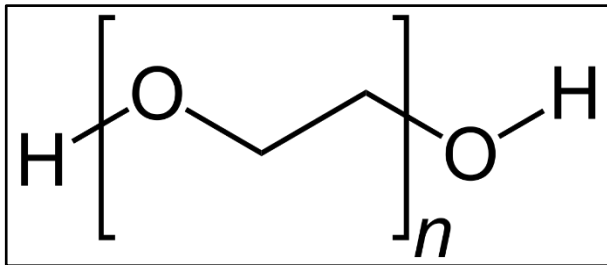
2.7 Polyethylen Glycol (PEG)

PEG (*polyethylene glycol*) atau juga di kenal sebagai *macrogols* adalah polimer solid maupun cair dengan formula umum $H(OCH_2CH_2)_n OH$. PEG dengan berat molekul yang rendah akan berbentuk cair dalam temperatur ruangan, sedangkan PEG dengan berat molekul yang lebih tinggi akan berbentuk solid (Chieng, 2013)

PEG mengacu pada polimer dari *ethylene oxide/ethylene glycol* dalam bentuk cairan maupun *wax* dengan berat molekul yang cukup rendah, *ethylene glycol* sendiri adalah cairan



higroskopik bening, tidak berbau, bervolatilitas rendah, dan berviskositas rendah hasil dari oksidasi *ethylene* dengan udara maupun oksigen. Oksida *ethylene* tadi lalu di polimerisasi oleh oksialkilasi untuk mendapatkan polimer kristalin dan termoplastik, *polyethylene oxide*, dan untuk jenis dengan berat molekul rendah hanya ada dengan gugus akhir hidroksil dan semuanya larut dalam air, rantai ikatan PEG ditunjukkan oleh Gambar 2.10 (Mihir, 1996)



Gambar 2.10 Struktur Kimia PEG (Sigma Aldrich)

2.7.1 Proses Pembuatan PEG

Polyethylene Glycol dibuat dari interaksi antara *ethylene oxide* dengan air, *ethylene glycol* atau oligomer *ethylene glycol*. Reaksinya di katalisasi dalam katalis asam maupun basa. *Ethylene glycol* dan oligomernya lebih di pilih sebagai bahan awal daripada air karena dapat membentuk polimer dengan polidispersitas (distribusi berat molekul yang rapat) dan panjang rantai polimernya tergantung rasio dari reaktan.



Tergantung dari tipe katalisnya, mekanisme polimerisasi dapat berupa anionik maupun kationik, mekanisme anionik lebih di pilih karena dengan mekanisme ini bisa di dapatkan PEG dengan polidispersitas yang rendah. Polimerisasi *ethylene oxide* adalah proses eksotermik, memanaskan atau mencampur *ethylene oxide*



dengan katalis seperti alkali atau oksida metal dapat memulai polimerisasi (Chemindustry.ru, 2000).

PEG mempunyai properti mekanik yang beragam bergantung kepada berat molekulnya serta homogenitas ukuran partikel yang dikandungnya. Pengujian mekanik dilakukan terhadap PEG dalam bentuk padatan (PEG 4000, 6000, 10000, 20000, 35000) dengan menggunakan metode *diametral compression* dan didapatkan data seperti yang ditunjukkan Tabel 2.5 dan 2.6

Tabel 2.5 Kekuatan Tarik PEG (Al-Nassasrah,1997)

| Grade | σ_o (Mpa) | Slope | RMS (%) |
|-------------|------------------|---------|---------|
| PEG - 4000 | 2.50 ± 0.11 | -0.0588 | 8.52 |
| PEG - 6000 | 1.90 ± 0.05 | -0.1151 | 59.35 |
| PEG - 10000 | 2.80 ± 0.10 | -0.1112 | 35.85 |
| PEG - 20000 | 1.50 ± 0.04 | -0.1006 | 20.75 |
| PEG - 35000 | 1.24 ± 0.37 | -0.108 | 14.18 |

Tabel 2. 6 Modulus Young PEG (Al-Nassasrah,1997)

| Grade | E_o (Mpa) | Slope | RMS (%) |
|-------------|-----------------|--------|---------|
| PEG - 4000 | 2.42 ± 0.12 | -9 | 67.6 |
| PEG - 6000 | 1.30 ± 0.04 | -8.35 | 58.6 |
| PEG - 10000 | 1.85 ± 0.15 | -12.62 | 105.5 |
| PEG - 20000 | 1.33 ± 0.10 | -11.25 | 144.3 |
| PEG - 35000 | 0.98 ± 0.03 | -7.5 | 40.2 |



2.7.2 Penggunaan PEG

PEG mempunyai toksifitas yang sangat rendah dan digunakan dalam berbagai macam produk, terutama dalam ilmu pengobatan dan biologi sebagai salah satu polimer biokompatibel yang paling banyak di gunakan seperti di tunjukkan Tabel 2.7 (Zalipsky, 1997)

Tabel 2.7 Aplikasi PEG Pada Bidang Biologi dan Obat
(Zalipsky,1997)

| Penambahan pada | Aplikasi dan Sifat yang Bermanfaat |
|-----------------|--|
| Obat-obatan | Meningkatkan olubilitas, permeabilitas yang terkontrol melalui penghalang biologis, tahan lama dalam aliran darah, dan pelepasan |
| Kofaktor | Digunakan dalam analisis makromolekul biologis, sel, dan reaktor enzim |
| Peptida | Peningkatan solubilitas, analisis konformasional, dan konjugasi biologis aktif |
| Protein | Resistensi proteolisis, reduksi imunogenesitas dan antigenesitas, tahan lama dalam aliran darah |
| Sakarida | Biomaterial pembawa obat |
| Lipida | Digunakan dalam preparasi PEG- <i>Grafted</i> liposom |
| Biomaterial | Pengurangan <i>Thrombogenicity</i> dan pengurangan <i>adherence</i> dari protein dan sel |

Selain digunakan sebagai bahan obat-obatan, PEG juga di pakai dalam aplikasi lain seperti solven, larutan anti beku dan sebagai bahan adesif, aplikasi PEG dalam berbagai bidang ditunjukkan oleh Tabel 2.8 (MEG Global,2008)

Tabel 2. 8 Aplikasi PEG Dalam Berbagai Bidang (MEG
Global, 2008)

| Properti/Karakteristik | Aplikasi/Kegunaan |
|----------------------------------|---|
| Bahan Kimia Tambahan Untuk Resin | Resin Polyester Plasticizer Resin Ester resin untuk Alkyd |
| <i>Solvent Coupler</i> | Stabilitator terhadap Pembentukan Gel |
| <i>Freezing Point Depression</i> | Fluida untuk <i>Deicing</i> Fluida untuk Transfer Panas Cairan <i>Coolant</i> dan Antifreeze Otomotif untuk Segala Cuaca Formulation Water-based untuk Cat Latex, Aspal, dll |
| Solvent | Medium untuk Suspensi Garam Konduktif dalam Kapasitor Elektron |
| Humectant | Fiber Tekstil Kertas Kulit Adesiv Lem |
| Bahan Kimia Tambahan | Solvent |



2.8 *Biodegradability*

Biodegradasi di definisikan sebagai proses degradasi dari polimer di alam yang melibatkan perubahan struktur kimia, berkurang atau hilangnya properti mekanik dan struktural, dan pada akhirnya, berubah menjadi senyawa lain seperti air, karbon dioksida, mineral, dan produk pertengahan seperti biomasa dan material humus. Lingkungan alami yang mengandung faktor kekuatan kimiawi, fisik, maupun biologis yang merusak seperti pH, banyaknya O₂ dan sebagainya yang akan menentukan kecepatan dan produk akhir dari proses biodegradasi (Zee, 2005).

2.9 *Penelitian Sebelumnya*

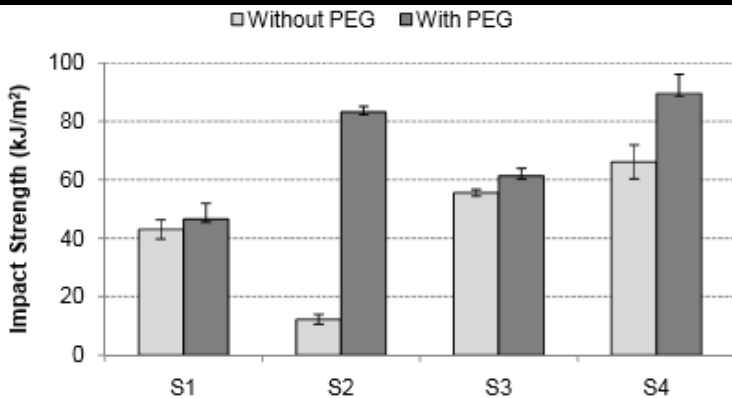
Noor Azlina (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh PEG pada kekuatan *impact* biokomposit PLA berpenguat *hybrid* serat kenaf (KF) dan *montmorillonite* (MMT). Pada penelitian ini PLA yang difungsikan sebagai matrix didapatkan dari Nature Work, serat kenaf di dapatkan dari Kenaf Natural Fiber Industries, dan MMT didapatkan dari Nanocor Inc. Amerika, dan PEG yang digunakan adalah PEG 600 dengan berat molekul 600 g/mol di beli dari Shanghai Ling Feng Chemical, Tiongkok. Pengujian dilakukan dengan membuat spesimen untuk pengujian Tarik, *impact*, dan karakterisasi, sampel di buat dengan metode *extrusion* dan *injection molding*. Sebelumnya dilakukan pengujian pengaruh PEG terhadap kekuatan mekanik komposit, dan didapatkan data bahwa dengan penambahan PEG 3 wt% menunjukkan hasil yang paling baik. Variasi komposisi pada masing-masing spesimen ditunjukkan oleh Tabel 2.9.



Tabel 2.9 Komposisi Biokomposit *Hybird* PLA (Noor Azlina, 2012)

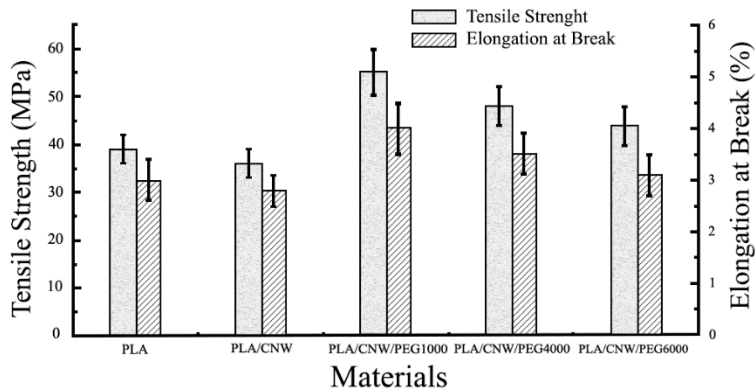
| Samples | Denotation | PLA (wt%) | KF (wt%) | OMMT (wt%) | PEG (wt%) |
|-------------------|------------|-----------|----------|------------|-----------|
| PLA | S1 | 100 | - | - | - |
| PLA-KF | S2 | 80 | 20 | - | - |
| PLA-MMT | S3 | 97 | - | 3 | - |
| PLA-KF-MMT | S4 | 77 | 20 | 3 | - |
| <i>p</i> -PLA | S1 | 97 | - | - | 3 |
| <i>p</i> -PLA-KF | S2 | 77 | 20 | - | 3 |
| <i>p</i> -PLA-MMT | S3 | 94 | - | 3 | 3 |
| <i>p</i> -PLA-KF- | S4 | 74 | 20 | 3 | 3 |

Setelah dilakukan pengujian *impact* didakan data bahwa dengan adanya penambahan PEG meningkatkan kekuatan *impact* komposit seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.11, dan menyatakan bahwa *impact strength* dapat ditingkatkan dengan penambahan PEG sebagai *plasticizer*, *plasticizer* dapat di tambahkan hingga 20 wt% tergantung dari property mekanik yang diinginkan, namun untuk aplikasi yang murah (sebagai plastik film atau pembungkus makanan) 1 sampai 3 wt% sudah mencukupi.



Gambar 2.11 Hasil Pengujian *Impact* (Azlina, 2012)

Xuang Wang (2013) melakukan penelitian tentang struktur dan sifat termal nanokomposit *Cellulose Nanowhisker/Poly (lactic acid)*, dalam penelitian ini Xuan Wang menggunakan PLA yang di dapatkan dari Yiseng Industry sebagai matrix, dan selulosa dalam bentuk *Cellulose Nano Whiskers* (CNW) yang didapatkan dengan cara ekstraksi dari *pulpboard* sebagai filler, di tambahkan juga plasticizer berupa PEG yang divariasikan dari berat molekulnya, yaitu PEG 1000, 4000, dan 6000. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian Tarik, karakterisasi termal dengan TGA, dan juga karakterisasi DSC. Dari data yang diperoleh didapatkan bahwa penambahan PEG meningkatkan kekuatan Tarik dan juga *elongation at break* dari komposit PLA/CNW seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12.



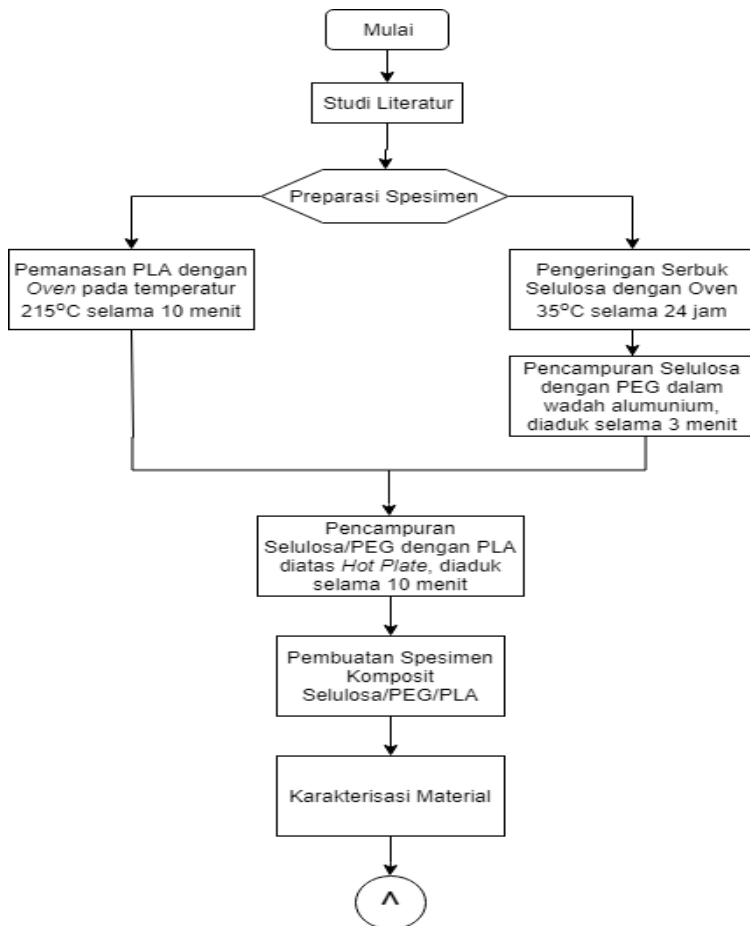
Gambar 2.12 Kekuatan Tarik dan Perpanjangan Sampel (Xuangu Wang, 2013)

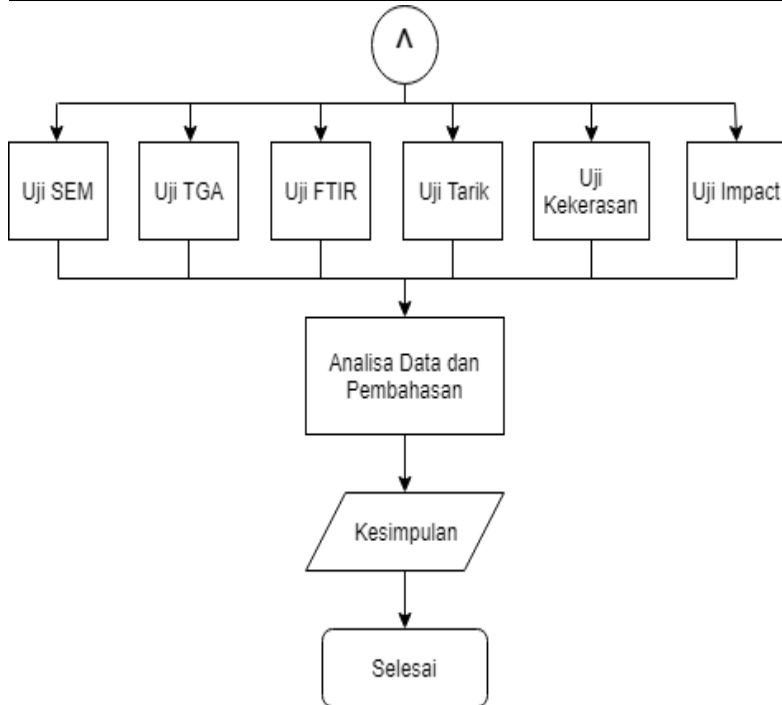
Dari penelitian itu Xuangu Wang menyatakan bahwa penambahan PEG menurunkan T_g , PEG dan CNW mempunyai kompatibilitas yang baik dengan PLA, selain itu PEG 1000 menunjukkan sifat mekanis dan termal yang paling baik diantara jenis PEG yang lain. Hasil karakterisasi AFM pada komposit juga menunjukkan dispersi CNW dalam matrix PLA terjadi secara merata dengan adanya penambahan PEG.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram perencanaan proses kerja yang sistematis. Urutan proses kerja dalam penelitian ini di jelaskan oleh Gambar 3.1 sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa bahan yang digunakan, yaitu:

1. Polylactic acid (PLA)

PLA adalah polimer termoplastik bening yang di buat dari polimerisasi monomer asam laktik yang berasal dari hasil fermentasi karbohidrat oleh bakteri. Didapatkan dari America Natureworks dalam bentuk *pellet*.. PLA ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Poly(lactic acid)*

2. Polyethylene glycol (PEG)

PEG adalah polimer dari *ethylene oxide* yang tidak berbau dan dapat berbentuk cair maupun padatan tergantung dari berat molekulnya, PEG dengan berat molekul tinggi akan berbentuk padatan putih, PEG yang digunakan adalah PEG 4000 yang berbentuk padatan. PEG 4000 ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Poly(ethylene glycol) 4000*

3. Selulosa

Selulosa adalah polimer dari D-glukosa yang berbentuk serbuk berwarna putih, tidak berbau, dan tidak berasa. Selulosa yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Microcrystalline Cellulose* (MCC) dengan ukuran partikel $<20 \mu\text{m}$ dan digunakan



as received. Selulosa yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 3.4



Gambar 3.4 *Microcrystalline Cellulose (MCC)*

3.2.2 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa alat yang digunakan, yaitu:

1. Cetakan Alumunium

Cetakan alumunium digunakan sebagai tempat pemanasan PLA dan juga sebagai tempat pencampuran bahan-bahan penelitian, cetakan alumunium di tunjukkan oleh Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Cetakan Alumunium

2. Pengaduk Kaca

Pengaduk kaca digunakan untuk membantu proses pengadukan dan menghomogenkan larutan kimia, pengaduk kaca ditunjukkan oleh Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengaduk Kaca

3. Spatula

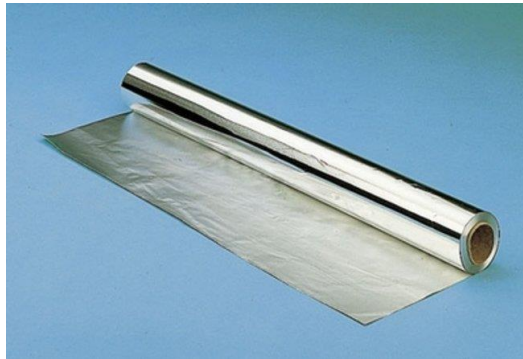
Spatula digunakan untuk membantu mengambil pahan penelitian yang berbentuk serbuk, spatula di tunjukkan oleh Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Spatula

4. *Aluminium Foil*

Aluminium Foil digunakan untuk melapisi dasar cetakan, permukaan *magnetic stirrer* dan juga cetakan spesimen, *aluminium foil* ditunjukkan oleh Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 *Aluminium Foil*

5. Sarung Tangan Tahan Api

Sarung tangan tahan api digunakan untuk memegang wadah aluminium ketika dilakukan pengadukan untuk mencampur bahan pembuatan komposit diatas *hot plate*, sarung tangan tahan api ditunjukkan oleh Gambar 3.9



Gambar 3. 9 Sarung Tangan Tahan Api

6. *Hot Plate Magnetic Stirrer*

Digunakan untuk memanaskan dan mengaduk bahan penelitian agar tercampur secara merata dan homogen, *hot plate magnetic stirrer* ditunjukkan oleh Gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Hot Plate Magnetic Stirrer*

7. *Termometer Gun*

Digunakan untuk mengukur temperatur bahan ketika dicampurkan di atas *Hot Plate*, *thermometer gun* ditunjukkan oleh Gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Thermometer Gun* (organicmeatonline.com)

8. Timbangan Digital

Digunakan untuk menentukan berat bahan-bahan penelitian, timbangan digital ditunjukkan oleh Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Timbangan Digital (Indotrading.com)

9. Oven

Oven listrik digunakan sebagai alat untuk proses pengeringan bahan penelitian maupun spesimen penelitian, oven listrik ditunjukkan oleh Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Oven

10. Mesin Uji *Impact*

Mesin uji *impact* digunakan untuk menguji dan mendapatkan data mengenai energi dan kekuatan *impact* sesuai dengan standar ASTM D256, mesin uji *impact* ditunjukkan oleh Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Mesin Uji *Impact*



11. Mesin Uji Tarik

Digunakan untuk menguji dan mendapatkan data mengenai sifat mekanis dari spesimen sesuai dengan ASTM D3039, mesin uji tarik yang digunakan adalah model DTU-900 MHA, mesin uji tarik ditunjukkan oleh Gambar 3.15.



Gambar 3.2 Mesin Uji Tarik (bestmadeinkorea.com)

12. Alat Uji Kekerasan

Digunakan untuk menguji kekuatan spesimen dalam menahan benturan sesuai dengan ASTM D2240, mesin uji kekerasan ditunjukkan oleh Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Alat Uji Kekerasan

13. Alat-alat karakterisasi

Alat karakterisasi spesimen yang digunakan ada beberapa alat, yaitu:

- a. *Fourier Transform Infrared* (FTIR), alat ini digunakan untuk mengetahui kadar unsur kimia dari bahan yang hasilnya terdiri dari unsur dan oksida, alat pengujian FTIR ditunjukkan oleh Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Mesin FTIR

- b. *Thermogravimetric Analysis (TGA)*, alat ini digunakan untuk menguji dan mengetahui pengurangan massa akibat pengaruh dari temperatur, alat uji TGA ditunjukkan oleh Gambar 3.18



Gambar 3. 18 Alat Uji TGA



- c. *Scanning Electron Microscope* (SEM), alat ini digunakan untuk mengetahui morfologi spesimen, alat SEM ditunjukkan oleh Gambar 3.19



Gambar 3.19 Mesin SEM (Inf-wiki.eecs.umich.edu)

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Persiapan Material

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses persiapan material, yaitu:

1. Menimbang dengan timbangan digital material *Poly(lactic acid)*, dibutuhkan seberat 14,5 gram untuk pembuatan spesimen uji impact, dan 27,8 gram untuk pembuatan spesimen uji tarik, *pellet* PLA yang telah di timbang kemudian di tempatkan dalam cetakan alumunium.
2. Menimbang dengan menggunakan timbangan digital *Pol(ethylene glycol)* yang dibutuhkan untuk pembuatan spesimen, yaitu sebesar 10 wt%, atau 1,45 gram untuk spesimen uji *impact* dan 2,78 gram untuk spesimen uji tarik, serbuk PEG yang telah di timbang kemudian di tempatkan dalam wadah alumunium.
3. Menimbang dengan timbangan digital serbuk selulosa (dalam bentuk MCC) dengan variasi 2, 4, 6, dan 8

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



wt% untuk masing-masing spesimen, serbuk selulosa yang telah di timbang kemudian di tempatkan dalam cetakan alumunium dan di beri label.

3.3.2 Persiapan Proses Pemanasan dan Pencampuran

1. Serbuk selulosa yang telah ditimbang lalu dikeringkan dalam oven dengan temperatur 35°C selama 24 jam seperti penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Azlina (2012).
2. Serbuk PEG 4000 (10 wt%) kemudian di campurkan ke dalam masing-masing variasi serbuk selulosa (2, 4, 6, dan 8 wt%) dalam temperatur ruangan dan diaduk dengan kecepatan pengadukan 60 rpm menggunakan pengaduk kaca selama 3 menit.

3.3.3 Proses Pemanasan dan Pencampuran

1. PLA berbentuk *pellet* yang telah dimasukkan kedalam cetakan alumunium di panaskan di dalam *oven* dengan temperatur 215°C selama 10 menit
2. Wadah alumunium berisi lelehan PLA dipindahkan ke atas *Hot Plate* dengan temperatur 215°C dan didiamkan selama 2 menit
3. Campuran serbuk PEG dan Selulosa dicampurkan ke dalam lelehan PLA dan diaduk dengan kecepatan pengadukan 100 rpm menggunakan pengaduk kaca selama 10 menit

3.3.4 Sintesis Komposit Selulosa/PEG/PLA

1. Lelehan campuran Selulosa/PEG/PLA di tuangkan ke dalam cetakan spesimen uji tarik dan *impact* dengan menggunakan spatula dalam temperatur ruangan.
2. Cetakan Spesimen yang telah terisi campuran Selulosa/PEG/PLA ditutup dan dibiarkan mengalami pendinginan dalam temperature kamar.
3. Setelah 30 menit cetakan dibuka dan komposit selulosa/PEG/PLA berbentuk spesimen uji tarik dan *impact* di keluarkan.



3.4 Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut,

3.4.1 Pengujian Sifat Mekanik

a) Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan kepada spesimen sesuai dengan ASTM D638 tipe I, dengan tebal 5 mm, lebar 13 mm, Panjang 165 mm, lebar keseluruhan (dengan *tab*) 19 mm, dan Panjang *gage* 50 mm, berbentuk seperti pada Gambar 3.20. Penghitungan *Ultimate Tensile Strength* dilakukan sesuai rumus ;

$$\sigma_U = W_{\max}/A_0$$

Dimana:

σ_U = ultimate tensile strength

W_{\max} = pembebanan maksimum sebelum patah

A_0 = luas permukaan awal

Penghitungan tegangan tarik dilakukan sesuai rumus:

$$\sigma = W/A_0$$

dimana:

σ = tegangan tarik

W = pembebanan

A_0 = luas permukaan rata-rata spesimen

Penghitungan regangan tarik dilakukan sesuai rumus

$$\epsilon = \Delta L/L_0$$

dimana:

ϵ = regangan tarik

ΔL = pertambahan panjang

L_0 = panjang awal



Penghitungan modulus elastisitas dilakukan sesuai rumus berikut:

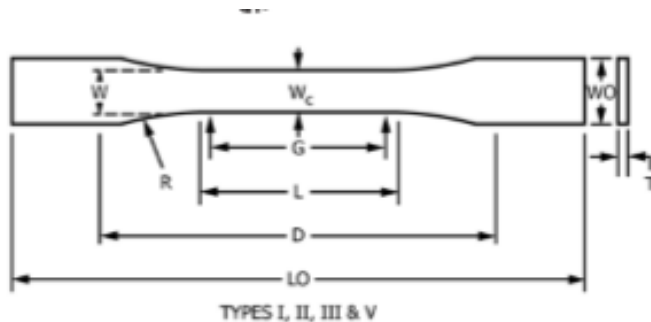
$$E = \Delta\sigma / \Delta\epsilon$$

Dimana:

E = modulus elastisitas

$\Delta\sigma$ = perbedaan antara tegangan tarik antara dua titik regangan

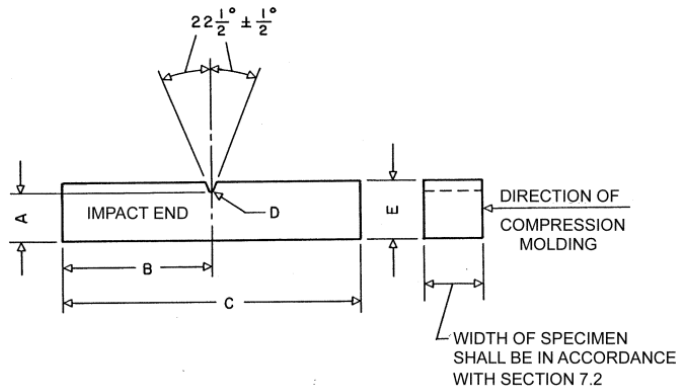
$\Delta\epsilon$ = perbedaan antara dua titik regangan



Gambar 3. 20 Dimensi Spesimen Uji Tarik (ASTM D638)

b) Pengujian *Impact*

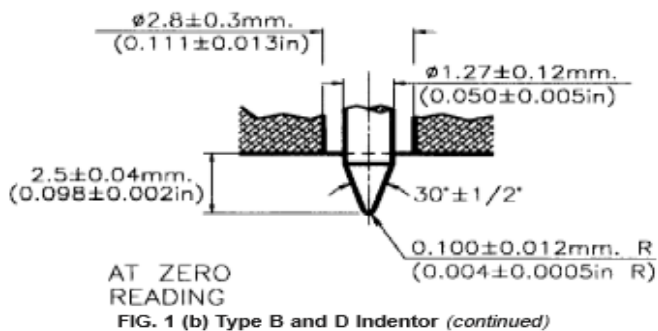
Pengujian *Impact* dilakukan dengan spesimen standar sesuai dengan ASTM D256 dengan ukuran spesimen 63,5 x (3-12,7) mm, ketebalan 12,7 mm, dan *notch* dengan kedalaman 2,54 mm dan kemiringan 22,5° berada pada 31,8 mm dari tepi spesimen, spesifikasi spesimen tersebut seperti yang di gambarkan oleh Gambar 3.21. Pengujian *impact* dilakukan dengan metode izod.



Gambar 3. 21 Ukuran Spesimen Uji *Impact* (ASTM D256)

c) Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan standar pengujian ASTM D2240 dengan ketebalan spesimen minimal 6 mm, uji kekerasan durometer yang dilakukan pada spesimen penelitian ini dilakukan dengan skala Shore-D. Bentuk indenter yang digunakan dalam uji kekerasan ini sesuai dengan ASTM D2240 ditunjukkan oleh Gambar 3.22.



Gambar 3. 22 Spesifikasi Indenter Untuk Uji Kekerasan Durometer Shore-D (ASTM D2240)



3.4.2 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*) dilakukan untuk mengetahui adanya gugus fungsi tertentu pada sepsimen uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energi dengan suatu materi. Saat spesimen uji ditembakkan dengan sinar inframerah, atom-atom dalam spesimen uji akan bergetar sebagai akibar energi dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan eksitasi electron. Besar energi vibrasi setiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada kekuatan ikatan pada molekul tersebut. Dalam FTIR, setiap frekuensi cahaya termasuk cahaya inframerah mempunyai energi tertentu. Energi radiasi inframerah berhubungan dengan energi yang terlibat dalam getaran ikatan senyawa. Terdapat dua istilah dalam analisis gugus kimia dalam analisis FTIR yakni *bond stretching* dan *bond bending*. Dua atom berikatan kaena memiliki pasangan elektron yang sama. Kedua inti dapat bervibrasi maju mundur, serta mendekat menjauh satu sama lain dalam posisi rata-rata, hal ini disebut sebagai *bond stretching*. Energi yang terlibat dalam getaran ini tergantung pada panjang ikatan, artinya setiap ikatan yang berbeda akan bervibrasi dengan cara yang berbeda termasuk jumlah energinya akan berbeda pula. Sama halnya seperti *stretching*, ikatan kimia juga dapat membengkok atau *bending*. Contohnya adalah ikatan H dan O pada molekul air, efeknya sudut antara ikatan dua atom akan berfluktuasi. Vibrasi bengkokan bergerak mengitari atom iti dan akan terus berputar, energi pada bengkokan akan berbeda-beda tia ikatan karena tiap ikatan akan menyerap frekuensi energi yang berbeda-beda.

3.4.3 Pengujian *Scanning Electron Mircsoscopy* (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi sampel uji. Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan electron ke spesimen. Elektron yang dipancarkan diperkuat oleh kumparan dan difokuskan oleh *fineprobe*. Pancaran elektron



akan terhambur ketika mengenai sampel dan hamburan akan di tangkap oleh *backscatter electron* (BSE) dan *secondary electron detector* (SE). Hasilnya kemudian diterjemahkan di layar, dengan adanya BSE maka material yang memiliki berat atom lebih berat akan terlihat lebih terang dibandingkan material dengan berat atom lebih rendah.

3.4.4 Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari hasil campuran komposit Selulosa/PEG/PLA. Prinsip pengujian TGA adalah dengan mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar hingga temperatur yang telah ditentukan. Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro di dalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam, sehingga pengurangan massa ketika temperatur di naikan akan tercatat dan ditampilkan dalam bentuk grafik.

3.5 Rancangan Pengujian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan penelitian seperti pada Tabel 3.1, dengan rincian komposisi ditunjukkan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

| Material | Pengujian | | | | | |
|---------------|-----------|-------------------|---------------|----------|---------|---------|
| | Uji Tarik | Uji <i>Impact</i> | Uji Kekerasan | Uji FTIR | Uji SEM | Uji TGA |
| 10%PEG/PLA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 3%MCC/PEG/PLA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 5%MCC/PEG/PLA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



| | | | | | | |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|
| 7%MCC/ PEG/PLA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 10%MCC /PEG/PL A | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Tabel 3.2 Rincian Komposisi Spesimen Tiap Variabel

| Material | Komposisi | | |
|---------------|--------------------------|------------------------------|----------|
| | <i>Poly(lactic acid)</i> | <i>Poly(ethylene glycol)</i> | Selulosa |
| 10%PEG/PLA | 90 wt% | 10 wt% | 0 wt% |
| 2%MCC/PEG/PLA | 88 wt% | 10 wt% | 2 wt% |
| 4%MCC/PEG/PLA | 86 wt% | 10 wt% | 4 wt% |
| 6%MCC/PEG/PLA | 84 wt% | 10 wt% | 6 wt% |
| 8%MCC/PEG/PLA | 82 wt% | 10 wt% | 8 wt% |

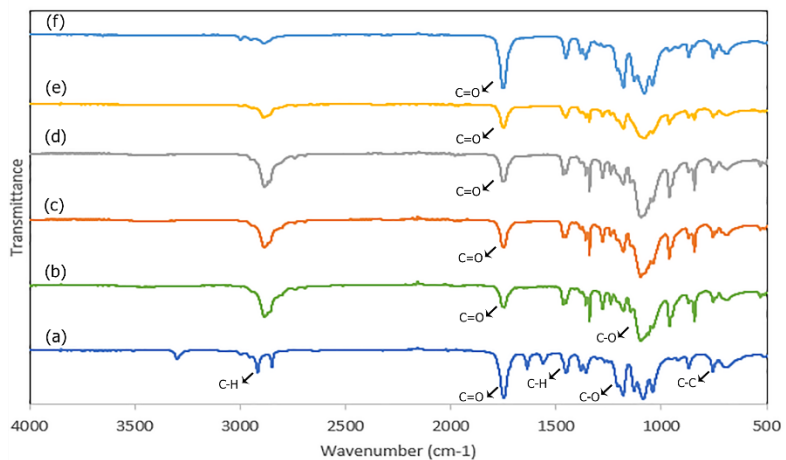
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini di buat spesimen komposit Selulosa/PEG/PLA dengan variabel 0%, 3%, 5%, 7% dan 10% penambahan Selulosa.

Berikut adalah hasil dan analisis serta pembahasan terhadap data yang didapatkan melalui serangkaian pengujian seperti yang telah di paparkan pada bab sebelumnya.

4.1 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)*

Sampel yaitu polimer *Poly(lactic acid)*, dan komposit Selulosa/PEG/PLA di karakterisasi dengan menggunakan FTIR dengan hasil pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Spektra FTIR Spesimen (a) PLA, (b) PEG/PLA, (c) 2%MCC/PEG/PLA, (d) 4%MCC/PEG/PLA, (e) 6%MCC/PEG/PLA, dan (f) 8%MCC/PEG/PLA



Peak pada Gambar 4.1 untuk masing-masing spesimen di tunjukkan oleh Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6.

Tabel 4.1 *Peak* Spektra FTIR Spesimen PLA

| Wavenumber (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|--------------------------------|--------------|
| 755 | C-C Stretch |
| 869 | C-C Stretch |
| 1085 | C-O Stretch |
| 1181 | C-O Stretch |
| 1357 | C-H Bending |
| 1382 | C-H Bending |
| 1451 | C-H Bending |
| 1747 | C=O Stretch |
| 2848 | C-H Stretch |
| 2916 | C-H Stretch |

Tabel 4.2 *Peak* Spektra FTIR Spesimen 10%PEG/PLA

| Wavenumber (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|--------------------------------|--------------|
| 842 | C-C Stretch |
| 1096 | C-O Stretch |
| 1341 | C-H Bending |
| 1466 | C-H Bending |
| 1747 | C=O Stretch |
| 2883 | C-H Stretch |

Tabel 4.3 *Peak* Spektra FTIR Spesimen 2%MCC/PEG/PLA

| Wavenumber (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|--------------------------------|--------------|
| 842 | C-C Stretch |
| 1097 | C-O Stretch |



| | |
|------|-------------|
| 1179 | C-O Stretch |
| 1341 | C-H Bending |
| 1454 | C-H Bending |
| 1747 | C=O Stretch |
| 2884 | C-H Stretch |

Tabel 4.4 Peak Spektra FTIR Spesimen 4%MCC/PEG/PLA

| Wavenumber (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|--------------------------------|--------------|
| 842 | C-C Stretch |
| 1097 | C-O Stretch |
| 1181 | C-O Stretch |
| 1341 | C-H Bending |
| 1454 | C-H Bending |
| 1747 | C=O Stretch |
| 2884 | C-H Stretch |

Tabel 4.5 Peak Spektra FTIR Spesimen 6%MCC/PEG/PLA

| Wavenumber (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|--------------------------------|--------------|
| 842 | C-C Stretch |
| 870 | C-C Stretch |
| 1080 | C-O Stretch |
| 1180 | C-O Stretch |
| 1341 | C-H Bending |
| 1454 | C-H Bending |
| 1747 | C=O Stretch |
| 2884 | C-H Stretch |

Tabel 4.6 Peak Spektra FTIR Spesimen 8%MCC/PEG/PLA

| Wavenumber (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|--------------------------------|--------------|
| 754 | C-C Stretch |



| | |
|------|-------------|
| 870 | C-C Stretch |
| 1080 | C-O Stretch |
| 1179 | C-O Stretch |
| 1359 | C-H Bending |
| 1455 | C-H Bending |
| 1747 | C=O Stretch |
| 2889 | C-H Stretch |
| 2996 | C-H Stretch |

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa spektra FTIR spesimen PLA mempunyai *peak* pada *wavenumber* 755 yang menunjukkan adanya ikatan C-C (Shameli, 2012), lalu *peak* pada 1041, 1085 dan 1185 yang menunjukkan C-O *stretching* (Chieng, 2013), *peak* pada 1357 dan 1382 adalah ikatan C-H *bending*, *peak* pada 1451 menunjukkan -CH₃ *bending* (Qu, 2013), *peak* pada 1747 menunjukkan ikatan C=O *stretching* (Chieng, 2013), *peak* pada 2848 dan 2916 menunjukkan C-H *stretching* (Yuniarto, 2016 dan Frone, 2011), pada *wavenumber* 3299 terlihat adanya *peak* gugus fungsi -NH (Kassab, 2014), amonia dalam PLA ini adalah pengotor, dimana amonia digunakan di dalam proses produksi PLA dengan metode sintesis kimia dalam bentuk garam amonium, maupun dengan metode fermentasi yang menggunakan amonium hidroksida (Ghaffar, 2014).

Spektra untuk spesimen 10% PEG/PLA menunjukkan *peak* pada *wavenumber* 1096 dan 1279 yang merupakan C-O *stretching* (Qu, 2010 dan Shameli, 2012), *wavenumber* 1341 dan 1466 menunjukkan C-H *bending* (Shameli, 2012), 1747 menunjukkan adanya C=O *stretching* (Frone, 2011) serta *peak* pada *wavenumber* 2883 yang menunjukkan C-H *stretching* (Shameli, 2012).

Spektra pada spesimen Selulosa/PEG/PLA dengan penambahan 2% MCC menunjukkan *peak* yang tidak jauh berbeda dengan spesimen *neat* PLA, dengan *peak* baru yang terlihat yaitu pada *wavenumber* 1279 yang merupakan C-O *stretching* (Shameli, 2012). Untuk penambahan 4% MCC mempunyai *peak* yang sama,

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



dan untuk spesimen dengan penambahan selulosa lebih banyak (6 dan 8 wt% MCC) menunjukkan adanya kenaikan intensitas di beberapa *peak*, kenaikan yang signifikan adalah pada *wavenumber* 688 dan 754 pada penambahan 6% MCC serta 690 dan 754 pada penambahan 8% MCC, di mana ini mengindikasikan adanya ikatan grup C-O (Shameli, 2012), lalu *wavenumber* 870 pada penambahan 6% MCC yang menunjukkan ikatan C-C *stretching* (Qu, 2010). Terjadi juga penurunan yaitu pada *wavenumber* 2886 pada penambahan 6% MCC dan 2889 untuk penambahan 8% MCC, *wavenumber* ini menunjukkan C-H *stretching* (Qu, 2010)

4.2 Pengujian Tarik

Uji Tarik dilakukan terhadap semua variabel dengan hasil berupa kekuatan tarik dan perpanjangan yang ditunjukkan Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Tarik

| Spesimen | Kekuatan Tarik (Mpa) | Perpanjangan (%) |
|---------------|-------------------------|---------------------|
| 10%PEG/PLA | 2.45 | 1.4 |
| 2%MCC/PEG/PLA | 3.65 | 0.9 |
| 4%MCC/PEG/PLA | 3.95 | 1.2 |
| 6%MCC/PEG/PLA | 4.55 | 3.8 |
| 8%MCC/PEG/PLA | 3.3 | 1.2 |

Pada Tabel 4.7 Dapat dilihat bahwa spesimen 10%PEG/PLA mempunyai kekuatan tarik 2,45 MPa, kemudian penambahan *filler* selulosa berupa MCC sebanyak 2 wt% membuat spesimen mempunyai kekuatan tarik 3,65 MPa, 4 wt% MCC mempunyai kekuatan tarik 3,95 MPa, 6 wt% MCC berkekuatan tarik 4,55 MPa dan 8 wt% MCC mempunyai kekuata tarik 3,3 MPa.

Lalu, Tabel 4.7 juga menunjukkan %regangan ketika spesimen mengalami patah, penambahan PEG mempunyai %regangan sebanyak 1,4%, lalu dengan adanya penambahan *filler*

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



selulosa dalam bentuk MCC meningkatkan %regangan dibandingkan dengan PLA murni, peningkatan terjadi seiring dengan banyaknya selulosa yang di tambahkan. Dengan penambahan 2 wt% selulosa membuat %regangan menjadi 0,9%, lalu penambahan 4 wt% selulosa %regangan menjadi 1,2%, penambahan 6 wt% selulosa mempunyai %regangan paling tinggi yaitu sebesar 3,8%, nilai %regangan ini kemudian menurun dengan penambahan 8 wt% menjadi hanya sebesar 1,2%.

Kekuatan tarik campuran PEG dengan PLA menunjukkan penurunan di bandingkan dengan PLA murni, hal ini dikarenakan PEG berfungsi sebagai *plasticizer* yang menurunkan sifat getas dari PLA (Halasz, 2012) dimana PEG dapat meningkatkan volume bebas sehingga menurunkan kekakuan material (Li, 2018).

Penambahan selulosa dalam bentuk *Microcrystalline Cellulose* (MCC) dalam Komposit Selulosa/PEG/PLA menunjukkan peningkatan kekuatan tarik di bandingkan dengan PLA murni, peningkatan kekuatan tarik ini berbanding lurus dengan jumlah selulosa yang ditambahkan Peningkatan kekuatan tarik ini dimulai dari 2 wt% selulosa kemudian meningkat pada 4 wt% selulosa, maksimal pada variabel penambahan 6 wt% selulosa dan kemudian menurun pada penambahan 8 wt% selulosa. Hal ini sesuai dengan perkiraan bahwa selulosa akan menambah kekakuan sesuai fungsinya sebagai *filler*, seperti pada biokomposit pada umumnya (Haafiz, 2013). Kekuatan tarik meningkat dengan semakin banyaknya jumlah selulosa dalam komposit, hal ini dikarenakan jumlah selulosa sebagai fasa *reinforce*, dengan meningkatnya massa selulosa maka efek penguatanyapun bertambah (Li, 2011), dengan semakin banyaknya partikel selulosa maka surface areanyapun juga semakin besar sehingga memungkinkan terjadinya adhesi yang lebih baik pada *interface* (Halasz, 2012).

Lalu penurunan pada penambahan 8 wt% selulosa, hal kemungkinan diakibatkan oleh peningkatan aglomerasi pada selulosa (Qu, 2010).

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



%regangan meningkat pada penambahan PEG maupun PEG dan selulosa mengalami peningkatan dibandingkan PLA murni, peningkatan ini dapat diakibatkan oleh beberapa hal, dimana %regangan dipengaruhi oleh fraksi volume *reinforce*, dispersi di dalam matrix, dan interaksi antara *reinforce* dengan matrix (Fortunati, 2012), peningkatan %regangan seiring penambahan *filler* selulosa pada komposit ini diakibatkan oleh semakin meratanya dispersi selulosa dalam matrix PLA, dimana dispersi fiber selulosa dalam matrix PLA yang baik meningkatkan elongasi biokomposit (Majhi, 2010).

Selain dispersi yang baik adanya PEG juga berperan dalam kenaikan %elongasi komposit Selulosa/PEG/PLA, adanya PEG yang berfungsi sebagai *plasticizer* sehingga menurunkan gaya intermolekul pada PLA dan meningkatkan mobilitas dari rantai polimer, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan deformasi plastik dari PLA (Chieng, 2013) dan *plasticizer* yang menyelubungi fiber selulosa mengakibatkan adanya *slippage* atau selip pada *interface* fiber/matrix sehingga terjadi *slipping effect* dan meningkatkan elongasi (Herrera, 2014).

Penurunan %elongasi pada penambahan 8 wt% selulosa diakibatkan oleh adanya aglomerasi, dimana penambahan konten selulosa akan mengakibatkan aglomerasi dan dispersi yang buruk dalam matrix PLA dan menurunkan sifat mekanik (Qian, 2018)

4.3 Pengujian *Impact*

Uji *Impact* dilakukan pada masing-masing variabel, yaitu sampel 10%PEG/PLA, 2%MCC/PEG/PLA, 4%MCC/PEG/PLA, 6%MCC/PEG/PLA, dan 8%MCC/PEG/PLA dengan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.8



Tabel 4.8 Hasil Pengujian *impact*

| Spesimen | Energi Impact (J) | Kekuatan Impact (J/mm ²) |
|---------------|-------------------|--------------------------------------|
| 10%PEG/PLA | 1.2 | 0.012 |
| 2%MCC/PEG/PLA | 1.8 | 0.02 |
| 4%MCC/PEG/PLA | 1.85 | 0.019 |
| 6%MCC/PEG/PLA | 2.1 | 0.025 |
| 8%MCC/PEG/PLA | 1.65 | 0.019 |

Tabel 4.8 menunjukkan energi *impact* yang dapat diserap dan kekuatan *impact* tiap-tiap variabel dengan energi sebesar 1,1 J dan kekuatan *impact* 0,012 J/mm² untuk 10%PEG/PLA, energi 1,7 J dan kekuatan 0,02 J/mm² untuk penambahan 2 wt% selulosa, energi sebesar 1,9 J dan kekuatan 0,0193 J/mm² untuk penambahan 4 wt% selulosa, penambahan 6 wt% selulosa menghasilkan penyerapan energi dan kekuatan *impact* paling besar yaitu 2,3 J dan 0,025 J/mm², lalu 8 wt% selulosa mampu menyerap 1,6 J energi *impact* dan mempunyai kekuatan *impact* sebesar 0,019 J/mm².

Dari Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa besar energi *impact* yang dapat diserap meningkat seiring dengan bertambahnya komposisi selulosa pada komposit, spesimen 10%PEG/PLA mampu menyerap energi *impact* sebesar 1.2 J, lebih besar dibandingkan PLA murni yang hanya sebesar 0,85 J, dan jumlah energi yang mampu diserap semakin bertambah dengan penambahan selulosa dimana mencapai nilai maksimum pada penambahan 6 wt% dan kemudian menurun pada penambahan 8 wt% selulosa, peningkatan nilai penyerapan energi *impact* dipengaruhi beberapa hal, diantaranya adalah dispersi partikel dalam komposit, aspek rasio, dan juga adhesi antara matrix dan *reinforce* (Azlina, 2012), kenaikan penyerapan energi *impact* seiring jumlah selulosa yang ditambahkan ke dalam komposit menunjukkan bahwa selulosa sebagai *filler* mempunyai peran yang baik dalam menyerap energi *impact*, penambahan selulosa ke dalam komposit berfungsi sebagai

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



inhibitor *crack* (Graupner, 2011) dan meningkatkan interaksi antara *reinforcement* dan matrix sehingga meningkatkan energi yang diserap ketika fraktur (Azlina, 2012). Disamping selulosa, adanya PEG dalam komposit juga meningkatkan penyerapan energi impact, dimana PEG berfungsi sebagai *compatibilizer* antara PLA yang hidropobik dengan selulosa yang bersifat hidrofilik serta berfungsi untuk mencegah aglomerasi selulosa, sehingga selulosa dapat tersebar lebih merata dalam matrix dan memperkuat PLA (Qu, 2010). Penurunan energi *impact* pada penambahan 8 wt% selulosa kemungkinan diakibatkan oleh terjadinya aglomerasi pada selulosa (Qu, 2010) sehingga luas permukaan *filler* dalam matrix berkurang.

4.4 Pengujian Kekerasan

Semua sampel diuji kekerasannya dengan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kekerasan

| Spesimen | Nilai Kekerasan Shore D (HS) |
|---------------|------------------------------|
| 10%PEG/PLA | 69 |
| 2%MCC/PEG/PLA | 68.9 |
| 4%MCC/PEG/PLA | 69.6 |
| 6%MCC/PEG/PLA | 70 |
| 8%MCC/PEG/PLA | 68.9 |

Pada Tabel 4.9 diatas kekerasan 10%PEG/PLA mempunyai kekerasan 69 HS, 2%MCC/PEG/PLA 68,5 SH, 4%MCC/PEG/PLA sebesar 69,6 HS, 6%MCC/PEG/PLA sebesar 70 SH dan 8%MCC/PEG/PLA mempunyai kekerasan 71 SH.

Penambahan *filler* selulosa ke dalam matrix PLA menunjukkan tren peningkatan meskipun masih di bawah nilai kekerasan PLA murni sebesar 77 HS, peningkatan ini dikarenakan selulosa berfungsi sebagai *filler* sehingga meningkatkan kekakuan

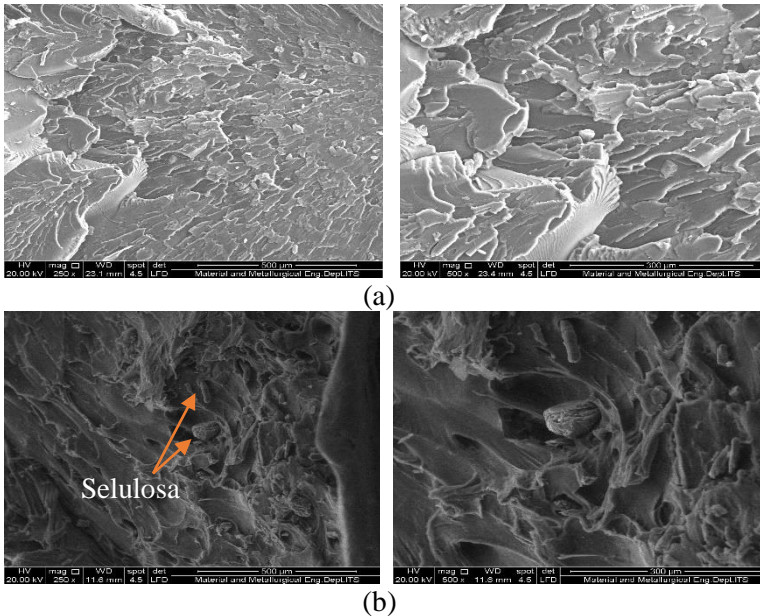
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

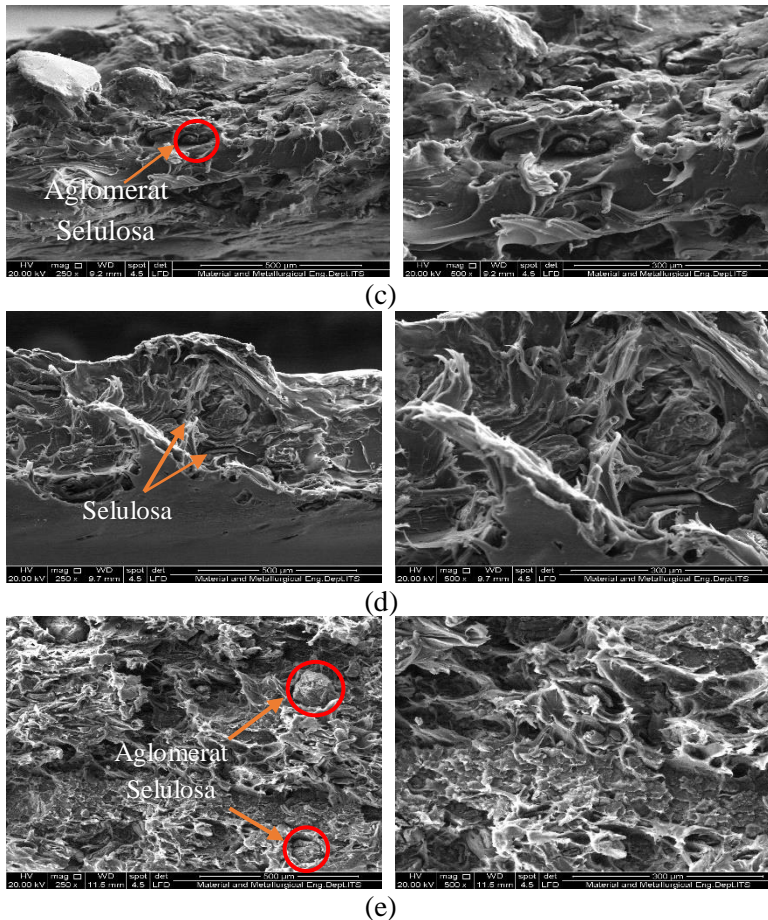


matrix (Dimzoski, 2008), namun begitu penambahan *filler* tidak mempengaruhi kekerasan secara signifikan (Spirodon, 2016), hal ini dikarenakan matrix, yaitu PLA mempunyai peran yang lebih dominan (Subyakto, 2010).

4.5 Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakterisasi dengan menggunakan SEM ditujukan untuk mengetahui morfologi antara *filler* yaitu Selulosa dengan matrix dalam komposit Selulosa/PEG/PLA. Sampel gambar SEM diambil dari patahan sampel dari setiap variabel, dan ditunjukkan oleh Gambar 4.2.





Gambar 4. 2 Hasil SEM Permukaan Patahan Spesimen (a) 10% PEG/PLA, (b) 2% MCC/PEG/PLA, (c) 4% MCC/PEG/PLA, (d) 6% MCC/PEG/PLA, dan (e) 8% MCC/PEG/PLA Dengan Perbesaran 250x dan 500x

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa spesimen PEG/PLA mempunyai permukaan patahan yang kasar, dan tidak terlihat adanya pemisahan fasa antara PEG dengan PLA yang ditandai

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

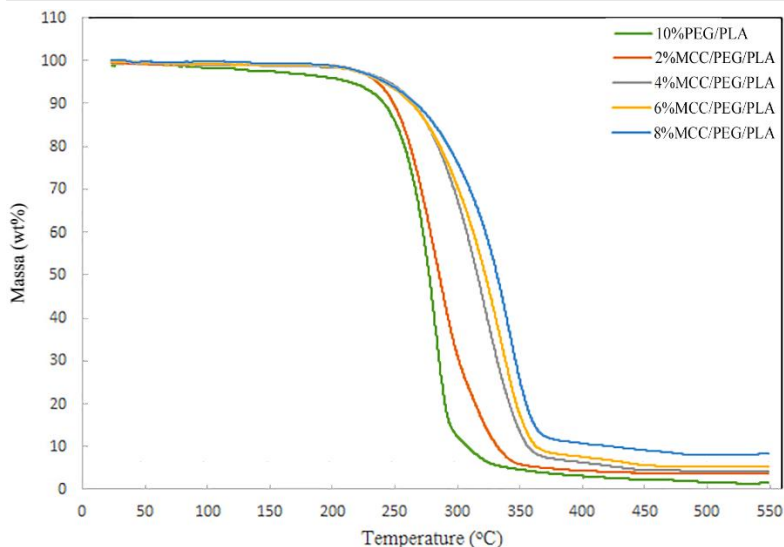


dengan adanya *droplet* dalam matrix PLA dan batas yang jelas antara PEG dan PLA (Bijarimi, 2016) dan menghasilkan *void* karena akumulasi PEG saat pemishan fasa (Sungsanit, 2011), hal ini menandakan PEG tercampur dengan baik dalam PLA.

Spesimen dengan penambahan 2 wt% Selulosa menunjukkan permukaan patahan yang lebih kasar dan tidak beraturan, seiring dengan bertambahnya jumlah selulosa yang di tambahkan (4%, 6% dan 8 wt%), permukaan patahan menjadi semakin kasar dan tidak beraturan, permukaan patahan yang tidak rata hal ini menandakan deformasi matrix yang signifikan setelah penambahan selulosa dan menunjukkan deformasi plastik (Halasz, 2012), Adhesi antara matrix dengan *filler* lemah, hal ini dapat dilihat dengan adanya beberapa fiber yang mengalami “*pull-out*” dan adanya jarak antara fiber selulosa dengan matrix (Frone, 2011). Pada hasil SEM untuk spesimen dengan penambahan 4 wt % dan 8 wt% selulosa terlihat adanya aglomerasi (ditunjukkan oleh lingkaran merah pada Gambar 4.2) hal ini dapat dipahami karena selulosa dalam bentuk MCC cenderung untuk membentuk aglomerat saat digunakan dalam konsentrasi tinggi (Reis, 2017), hal ini akan mempengaruhi konsentrasi tegangan lokal dan menurunkan nilai regangan (Haafiz, 2013).

4.6 Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

Untuk mengetahui kestabilan termal dari masing-masing variabel maka dilakukan uji TGA untuk semua variabel dengan hasil ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian TGA Spesimen 10% PEG/PLA, 2% MCC/PEG/PLA, 4% MCC/PEG/PLA, 6% MCC/PEG/PLA, dan 8% MCC/PEG/PLA

Dari grafik TGA pada Gambar 4.3 dapat diketahui temperatur dekomposisi dari 10% PEG/PLA adalah 212,6 °C , 3% MCC/PEG/PLA mempunyai temperatur dekomposisi yang di mulai pada temperatur 232,72 °C , 5% MCC/PEG/PLA pada temperatur 246,35 °C, 7% MCC/PEG/PLA temperatur 229,67 °C, dan 10% MCC/PEG/PLA pada temperatur 239,15 °C.

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa penambahan selulosa mempengaruhi temperatur dekomposisi pada komposit Selulosa/PEG/PLA, dimana temperatur dekomposisi komposit menunjukkan kenaikan pada penambahan 2 wt% dan 4 wt% selulosa, kemudian menurun pada penambahan 6 wt% selulosa, dan kembali naik pada penambahan 8 wt% selulosa. Namun, secara keseluruhan penambahan selulosa menunjukkan kenaikan temperatur dekomposisi dibandingkan dengan spesimen PEG/PLA, hal ini mengindikasikan selulosa meningkatkan kestabilan termal PLA dan memperlambat laju degradasi termal

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



komposit (Khoo, 2016), dekomposisi kemudian berahir pada temperatur antara 300-350 °C untuk spesimen 10%PEG/PLA dan 350-400 °C untuk komposit Selulosa/PEG/PLA, hal ini menunjukkan kestabilan termal yang lebih baik pada temperatur diatas 300 °C, dimana diatas temperatur 300 °C, komposit dengan fiber selulosa menunjukkan peningkatan kestabilan termal dikarenakan laju degradasi selulosa yang rendah (Liu, 2018), penambahan selulosa juga mengakibatkan penambahan jumlah residu komposit dalam temperatur tinggi (Li, 2011).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan Selulosa sebagai *filler* meningkatkan kekuatan tarik, %regangan, dan energi *impact* dari komposit Selulosa/PEG/PLA dengan peningkatan terbesar terjadi pada penambahan 6 wt% selulosa yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 4,55 MPa, %regangan sebesar 3,8%, serta energi *impact* sebesar 2,3 Joule.
2. Dilihat dari morfologi komposit Selulosa/PEG/PLA yang dihasilkan, penambahan 6 wt% selulosa mempunyai hasil yang paling baik dimana tidak terlihat adanya aglomerasi partikel selulosa pada matrix PLA sehingga mempunyai kekasaran permukaan yang tinggi, hal ini diperkuat dengan hasil uji mekanis yang menunjukkan komposit dengan penambahan 6 wt% selulosa mempunyai kekuatan tarik, %regangan, dan energi *impact* yang paling tinggi.
3. Penambahan Selulosa sebagai *filler* secara umum meningkatkan kestabilan termal komposit selulosa/PEG/PLA dengan penambahan 4 wt% selulosa mempunyai hasil yang paling baik dengan temperatur dekomposisi pada 246°C.

5.2 Saran

1. Proses pembuatan komposit partikulat sebaiknya menggunakan mesin ekstruder agar pencampuran lebih merata dan parameter penting seperti temperatur, tekanan, dan kecepatan pengadukan dapat terkontrol dengan baik
2. Melakukan studi literatur mengenai aglomerasi pada material-material serbuk.



-
3. Spesimen komposit dengan bahan campuran hidrofilik sebaiknya di simpan dalam wadah yang rapat agar tidak terpengaruh kelembapan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Adven, F. H. 2017. “*Sintesis dan Karakterisasi Material Biokomposit Polylactic Aid (PLA) Berpenguat Serbuk Tulang Sapi Sebagai Kandidat Bahan Tulang Buatan*”. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Al-Nasassrah, M. A., Podczec, F. Newton, J. M. 1997. “*The Effect of An Increase In Chain Length on The Mechanical Properties of Polyethylene Glycols*”. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 46, 31-38
- Azlina, N., Suzana, A. B. K., Kaiser, M. R., Bonnia, N. N., Surip, S. N., Razak, S. B. 2012. “*Effect of PEG on Impact Strength of PLA Hybrid Biocomposite*”. Symposium of Business, Engineering and Industrial Application, 473-547
- Bijarimi, M., Ahmad, S., Rasid, R., Khusairi, M. A., Zakir, M. 2016.”*Poly(lactic acid) / Poly(ethylene glycol) blends: Mechanical, Thermal and Morphological Properties*”. International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition (APMAS '15).
- Callister, W. D., Rethwisch, D. G. 2009.”*Material Science and Engineering: An Introduction Eight Edition*”. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Chieng, B.W., Ibrahim, N. A., Yunus, W.M.Z.W., Hussein, M.Z. 2013. “*Plasticized Poly(lactic acid) With Low Molecular Weight Poly(ethylene glycol): Mechanical, Thermal, and Morphology Properties*”. Applied Polymer Science, 4576-4580
- Choo, V. K. S. 1990 .“*Fundamentals of Composite Material*”. Delaware : Knowen Academic Press
- Dimzoski, B., Gaceva, G.B., Gentile, G., Avella, M., Ericco, M. E., Srebrenkoska, V. 2008. “*Preparation and Characterization of Poly(lactic acid)/Rice Hulls Based Biodegradable Composites*“. Journal of Polymer Engineering, 2-13

- Engelberg, I., Kohn, J. 1990. “*Physico-mechanical properties of degradable polymers used in medical applications: a comparative study*”. *Biomaterials* 1991 12, 292-304
- Fortunati, E., Armentani, I., Zhou, Q., Puglia, D., Terenzi, A., Berglund, L. A., Kenny, J. M. 2012.”*Microstructure and Nanoisothermal Cold Crystallization of PLA Composite on Silver Nanoparticles and Nanocrystalline Cellulose*”. *Polymer Degradation and Stability* 97, 2027-2036
- Frone, A. N., Berlioz, S., Chailan, J.-F., Panaitescu, D. M., Donescu, D. 2011.”*Cellulose Fiber-Reinforced Polylactic Acid*”. *Journal of Polymer Composite*, 976-985
- Geyer, R. 2017 “*Production, Use, and Fate of All Plastic Ever Made*”. *Advance Science Magazine*, 19 Juli 2017
- Ghaffar, T., Irshad, N., Anwar, Z., Aqil, T., Zulfikar, Z., Tariq, A., Kamran, M., Ehsan, N., Mehmood, S. 2014. “*Recent Trends in Lactic Acid Biotechnology: A Brief Review on Production to Purification*”. *Journal of Radiation Research and Applied Science*, 1-8
- Graupner, Nina., Mussig, Jorg. “*A Comparison of Mechanical Characteristics of Kenaf and Lyocell Fibre Reinforced With Polylactic Acid (PLA) and Poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) Composite*”. *Composites : Part A* 42, 2010 – 2019
- Haafiz, M. K. Mohammad., Hassan, A., Zakaria, Z., Inuwa I.M., Islam, M. S., Jawaid, M. 2013. “*Properties of Polylactic Acid Composite Reinforced Oil Palm Biomass Microcrystalline Cellulose*”. *Carbohydrate Polymer* 98, 139-145
- Halasz, Katalin., Csoka, L. 2012. “*Plasticized Biodegradable Poly(lactic acid) Based Composites Containing Cellulose in Micro – and Nanosize*”. *Journal of Engineering* Volume 13, 1-9
- Hastings, G., Black, Jonathan. “*Handbook of Biomaterial Properties*”. New York: Springer US.
- Herrera, N., Mathew, A. P., Oksman, K. 2014. “*Plasticized Polylactic acid/cellulose Nanocomposites Prepared Using*

- Melt-extrusion and Liquid Feeding: Mechanical, Thermal and Optical Properties*". Composites Science and Technology, 1-26
- Ho, M.P., Lau, K.T., Agustus 2014, "Enchanment of Impact Resistance of Biodegradable Polymer Using Bamboo Charcoal Paricles". Material Letters 136,122-125
- Kalia, S. 2016. "Biodegradable Green Composite". New Jersey:John Wiley and Sons
- Kassab, R., Yammine, P., Moussa, D., Safi, N. 2014. "A Comparative Sudy of Doxycycline and Tetracycline Polymeric Microspheres". International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 5, 2452-2457
- Khoo, R. Z., Ismail, H., Chow, W. S. 2016. "Thermal and Morphological Properties of Poly (lactic acid)/Nanocellulose Nanocomposite". Procedia Chemistry 19, 788-794
- Kowalczyk, M., Piorkowska, E., Kulpinski, P., Pracella, M. 2011. "Mechanical and Thermal Properties of PLA Composites With Cellulose Nanofibre and Standard Size Fibre".Composites : Part A 42, 1509-1514
- Li, Decai., Jiang Y., Shansan, L., Liu, X., Gu, J., Chen, Q., Zhang, Y. 2018. "Preparation of Plasticized Poly (lactic acid) and its Influence on The Properties of Composite Materials". PLOS ONE Journal, 1-15
- Li, Hongbo, Hueault, M. A. 2007. "Effect of Nucleation and Plasticazion on The Crystallization of PLA". Journal of Polymer 48, 6855-6866
- Li, Chunguang., Zhang, R., Li, Y., Xu, P., Wang, Y. 2011." Thermal and Mechanical Properties of Corn Stalk Microcrystalline Cellulose Reinforced PLA Composites". Advanced Material Research Volume 233-235
- Liu, Wenqiang., Dong, Y., Liu, D., Bai, Y., Lu, Xiuzhen. 2018. "Polylactic Acid (PLA)/Cellulose Nanowhiskers (CNWs) Composite Nanofibers: Microstructural and Properties Analysis". Journal of Composite Science 2, 4-12

- Majhi, S. K., Nayak, S. K., Mohanty, S., Unnikrishnan, L. 2010. “*Mechanical and Fracture Behavior of Banana Fiber Reinforced Polylactic Acid and Biocomposites*”. International Journal of Plastic Technology 14, 57-75
- Majid, J., Tehrany, E. A., Imran, M., Jacquot, M., Desobry, S. 2010.” *Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies*”. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 9, 552-571
- Mathew, A. P., Chakraborty, A., Oksman, K., Sain, M. 2006 “*The Structure and Mechanical Properties of Cellulose Nanocomposites Prepared by Twin Screw Extrusion*”. ACS Symposium:Washington DC.Amerika
- Mathew, A.P., Oksman, K., Sain, M. 2004. “*Mechanical Properties of Biodegradable Composites from Poly Lactic Acid (PLA) and Microcrystalline Cellulose (MCC)*”. Journal of Applied Polymer Science 97, 2014-2025
- Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T. 2005. “*Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposite*”. Florida:Taylor & Francais Group
- Nakagito, N., Suryanegara, L., Yano, H. 2009. “*Effect of Crystallization of PLA on The Thermal and Mechanical Properties of Microfibrillated Cellulose-Reinforced PLA Composite*”. Composite Science and Technology 69, 1187-1192
- Qian, S., Zhang, H., Yao, W., Sheng, K. 2018. “*Effect of Bamboo Cellulose Nanowhisker Content on The Morphology, Crystallization, Mechanical, and Thermal Properties of PLA Matrix Biocomposites*”. Composites Part B 133, 203-209
- Qu, Ping., Bai, L., Gao, Y., Wu, G., Zhang, L. 2011. “*Compatibilizing Effects of Poly(ethylene glycol) on PLA/ Cellulose Nanowhiskers Composites*”. Materials Science Forum Volume 675-677, 395-398
- Qu, Ping., Bai, L., Zhang, L. Li, J., Wang, D. 2010. “*New Nanocomposite Materials Dispersed with Poly(ethylene*

- glycol):The Effects of Degradation and Mechanical Characteristics*". Bio Resources 5, 1811-1832
- Ramakhrisna, S., Huang, Z. M., Kumar, G. V., Batchelor, A. W., Mayer, J. 2004."An Introduction to Biocomposite". London:Imperial Collage Press
- Rasal, R. M., Janorkar, A. V., Hirt, D. E. 2009. "*Poly(lactic acid) Modification*". Progress in Polymer Science 35, 3338-356
- Reis, O. M., Olivato, J. B., Zanela, J., Yamashita, F., Grossmann, M. V. E. 2017. "*Influence of Microcrystalline Cellulose in Thermoplastic Starch/Polyester Blown Films*". Polimeros 27, 129-135.
- Sears, J. K., Darby, R. J. 1982. "*Technology of Plasticizers*".Missouri:John Wiley & Sons
- Shameli, K.,Ahmad, M. B., Jazayeri, S. D., Sedaghat, S., Shabanzadeh, P., Jahangirian, H., Mahdavi, M., Abdollahi, Y. 2012. "*Synthesis and Characterization of Polyethylene Glycol Mediated Silver Nanoparticles by the Green Method*". International Journal of Molecular Science 13, 6639-6650
- Sheth, M., Kumar, R. A., Dave, V., Gross, R. A., Mccarthy, S. P. 1996. "*Biodegradable Polymer Blends of Poly(lactic acid) and Poly(ethylene glycol)*". Journal of Applied polymer Science 66, 1495-1505
- Spiridon, Iuliana., Darie, R. N., Kangas, H. 2016. "*Influence of fiber modifications on PLA/fiber composites. Behavior to accelerated weathering*". Composite Part B, 1-25
- Subyakto, Hermiati, E., Masruchim, N., Ismadi., Prasetyo, K. W., Kusumaningrum, W. B., Subiyanto, B. 2011. "*Injection Molded of Bio-Micro-Composites from Natural Fibers and Polylactic Acid*". Wood Research Journal Vol. 2
- Sungsanit, K., Kao, N., Bhattacharya, S. N., 2011." *Properties of Linear Poly(Lactic Acid)/Polyethylene Glycol Blends*". Polymer Engineering and Science, 108-116
- Thakur, V. K. 2015. "*Nanocellulose Polymer Nanocomposites*". New Jersey: John Wiley & Sons

- Wang, X., Qu, P., Zhang, L. 2013. “*Thermal and Structure Properties of Biobased Cellulose Nanowhiskers/Poly (lactic acid) Nanocomposites*” *Fibers and Polymers* 15, 302-306
- Xiao, L., Wang, B., Yang, G. 2012. “*Poly(Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications*”. *Biomedical Science Engineering and Technology*, 247-282
- Yuniarto, K., Purwanto, Y. A., Purwanto, S., Welt, B. A., Purwadaria, H. K., Cunarti, T. C. 2010. “*Infrared and Raman Studies on Polylactide Acid and Polyethylene Glycol-400 Blend*”. *The 3rd International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2015)*.
- Zalipsky, S., Rudolph, M. 1997. “*Hydrazide Derivatives of Poly(ethylene glycol) and Their Bioconjugates*”. *ACS Symposium* 680, 318-341
- Zee, V. D, Villaverde, S. 2005. “*Combined Anaerobic-aerobic Treatment of Azo Dyes*”. *Water Research* 39, 1425-1440

Lampiran

1. *Technical Data Sheet Pellet PLA*

Pellet yang digunakan adalah PLA komersil yang diproduksi oleh NatureWork

| Physical Properties | Metric | English | Comments |
|---------------------------|--|--|-------------------|
| Specific Gravity | 1.24 g/cc | 1.24 g/cc | ASTM D792 |
| Melt Flow | 5.0 - 7.0 g/10 min @Load 2.16 kg, Temperature 210 °C | 5.0 - 7.0 g/10 min @Load 4.76 lb, Temperature 410 °F | ASTM D1238 |
| Mechanical Properties | Metric | English | Comments |
| Tensile Strength at Break | 53.0 MPa | 7690 psi | ASTM D882 |
| Tensile Strength, Yield | 60.0 MPa | 8700 psi | ASTM D882 |
| Elongation at Break | 6.0 % | 6.0 % | ASTM D882 |
| Tensile Modulus | 3.45 GPa | 500 ksi | ASTM D882 |
| Izod Impact, Notched | 0.1281 J/cm | 0.2400 ft-lb/in | ASTM D256 |
| Optical Properties | Metric | English | Comments |
| Transmission, Visible | 90 % | 90 % | Thickness Unknown |
| Processing Properties | Metric | English | Comments |
| Feed Temperature | 180 °C | 356 °F | |
| Adapter Temperature | 200 °C | 392 °F | |
| Die Temperature | 190 °C | 374 °F | |
| Melt Temperature | 210 °C | 410 °F | |
| Drying Temperature | 90.0 °C @Time 7200 sec | 194 °F @Time 2.00 hour | |
| Moisture Content | <= 0.025 % | <= 0.025 % | |
| Dew Point | -40.0 °C | -40.0 °F | |
| Drying Air Flow Rate | >= 14.2 l/min | >= 0.500 ft ³ /min (CFM) | |
| Screw Speed | 20 - 100 rpm | 20 - 100 rpm | |

**

Materials flagged as discontinued (D) are no longer part of the manufacturer's standard product line according to our latest information. These materials may be available by special order, in distribution inventory, or reinstated as an active product. Data sheets from materials that are no longer available remain in MatWeb to assist users in finding replacement materials.

2. *Technical Data Sheet Serbuk MCC*

Serbuk MCC di produksi oleh Mingtai Chemical Co,Ltd

| Test Item | Unit | Limits | Results |
|--|-------|--------------------|----------|
| Particle Size Distributin D10 (by Laser) | µm | Not more than 30 | 20 |
| Particle Size Distributin D50 (by Laser) | µm | 45-75 | 61 |
| Particle Size Distributin D90 (by Laser) | µm | Not less than 110 | 149 |
| Degree of Polymerization | | 210-270 | 214 |
| Conductivity | µs/cm | Not more than 75 | 31.4 |
| pH | | 5.5-7 | 6.5 |
| Loss on Drying | % | Not more than 7 | 3.6 |
| Bulk Density | g/ml | 0.26-0.34 | 0.29 |
| Residue on Ignition | % | Not more than 0.05 | 0.02 |
| Water Soluble Substance | % | Not more than 0.25 | 0.13 |
| Heavy Metals | ppm | Not more than 10 | Conforms |

3. *Technical Data Sheet PEG 4000*

Serbuk PEG 4000 di produksi oleh Lotte Chemical Titan Indonesia

SAFETY DATA SHEET



EOA PEG-4000

Version 1.3

Revision Date: 2016/01/15

| | |
|---|-----------------------|
| pH | : 7 |
| Melting point/freezing point | : 56 ° C |
| Initial boiling point and boiling range | : > 300 ° C |
| Flash point | : 250 ° C |
| Upper/Lower explosion limit | |
| Vapour pressure | : < 0.01 hPa (20 ° C) |
| Solubility(ies) | |
| Water solubility | : soluble |
| Molecular weight | : ca. 4,000 g/mol |

| Physical Properties ¹ | | | | |
|----------------------------------|-------------|---------|----------------|---------|
| General Properties | Test Method | Unit | Specifications | Remarks |
| Molecular Weight | LC METHOD | - | 3,700 – 4,300 | |
| Appearance (25°C) | VISUAL | | Solid | |
| Color(50°C) | ASTM D 1209 | APHA | Max 80 | |
| pH | ISO 4316 | - | 5.5 – 7.5 | |
| Hydroxyl Value | ASTM D 4252 | mgKOH/g | 26.1 – 30.3 | |

4. Penghitungan Massa PLA Untuk Spesimen Uji Tarik dan *Impact* (Teoritis)

Diketahui

$$\rho \text{ PLA} = 1,24 \text{ g/cm}^3$$

a.) Spesimen Uji Tarik

$$\text{Volume Cetakan} = 16,5 \text{ cm} \times 1,9 \text{ cm} \times 0,7 \text{ cm} = 21,9 \sim 22 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa PLA yang di butuhkan} = V \times \rho$$

$$= 22 \times 1,24$$

$$= \pm 27,28 \text{ gram}$$

b.) Spesimen Uji *Impact*

$$\text{Volume Cetakan} = 63,5 \text{ cm} \times 13 \text{ cm} \times 13 \text{ cm} = 10,73$$

$$\text{Massa PLA yang di butuhkan} = V \times \rho$$

$$= 10,7 \times 1,24$$

$$= \pm 13,3 \text{ gram}$$

5. Massa PLA Yang Digunakan (Running)

a.) Spesimen Uji *Impact*

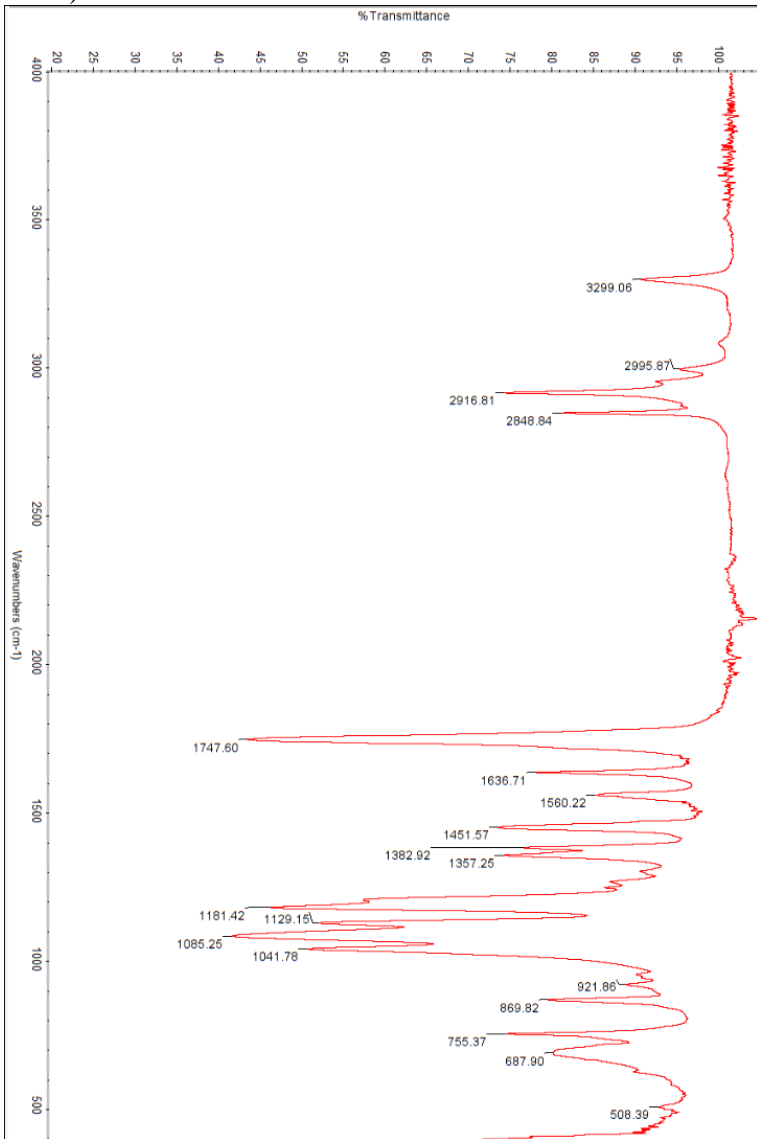
| Spesimen | Massa PLA (gram) | |
|----------------|------------------|-------|
| | Run 1 | Run 2 |
| PEG/PLA | 15 | 14,6 |
| 3%MCC/PEG/PLA | 15 | 14,7 |
| 5%MCC/PEG/PLA | 15 | 14,7 |
| 7%MCC/PEG/PLA | 15 | 14,6 |
| 10%MCC/PEG/PLA | 14,5 | 14,7 |

b.) Spesimen Uji Tensile

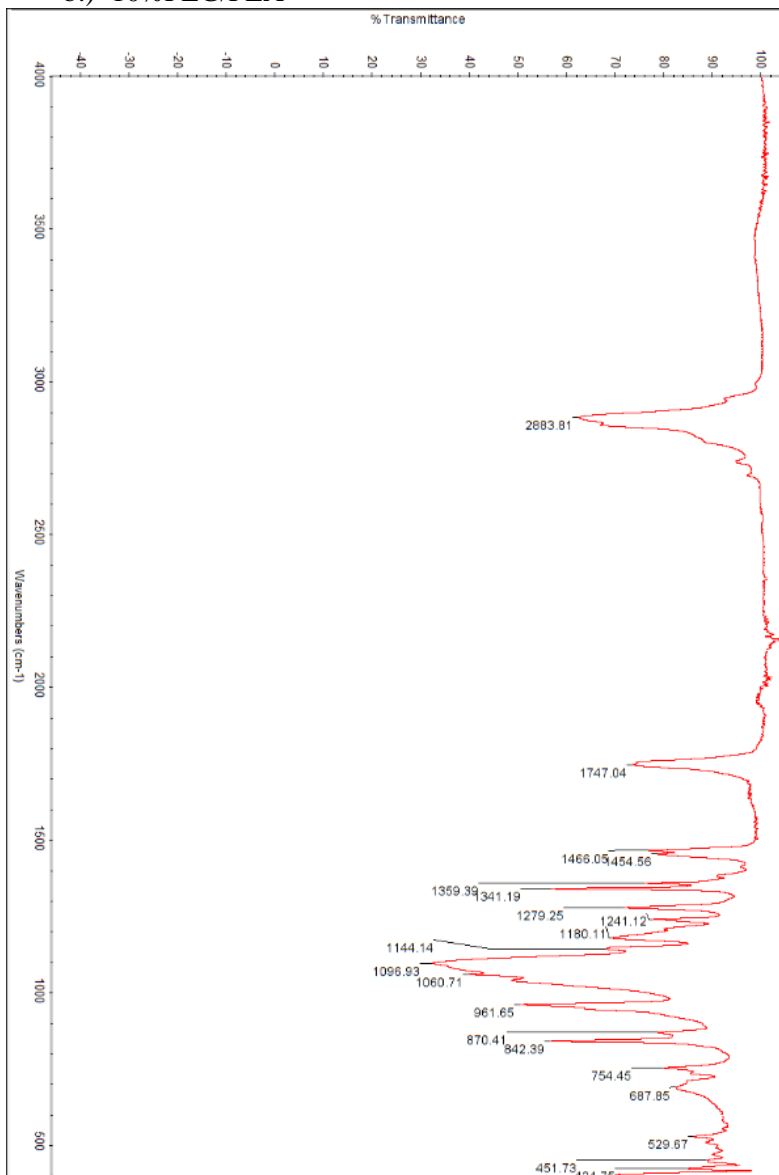
| Spesimen | Massa PLA (gram) | |
|----------------|------------------|-------|
| | Run 1 | Run 2 |
| PEG/PLA | 26,5 | 28,5 |
| 3%MCC/PEG/PLA | 26,5 | 28,5 |
| 5%MCC/PEG/PLA | 28,5 | 28,5 |
| 7%MCC/PEG/PLA | 28,5 | 27 |
| 10%MCC/PEG/PLA | 28,5 | 27 |

6. Hasil Pengujian FTIR

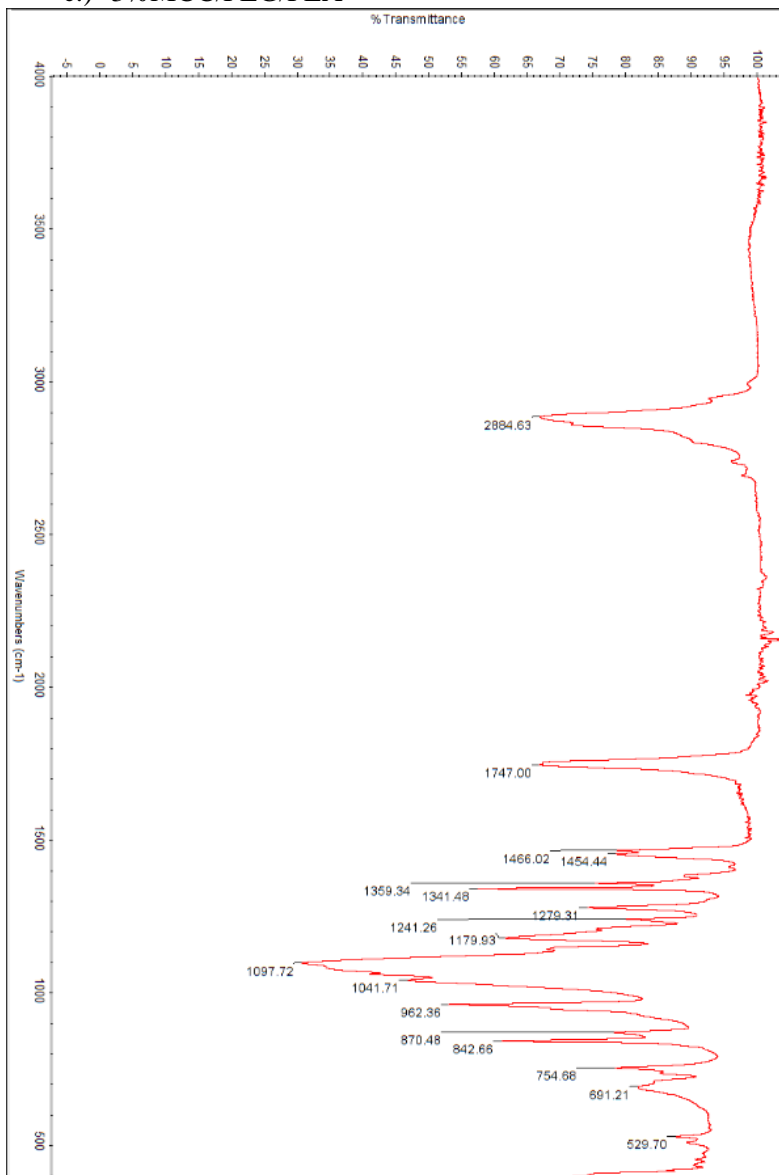
a.) PLA



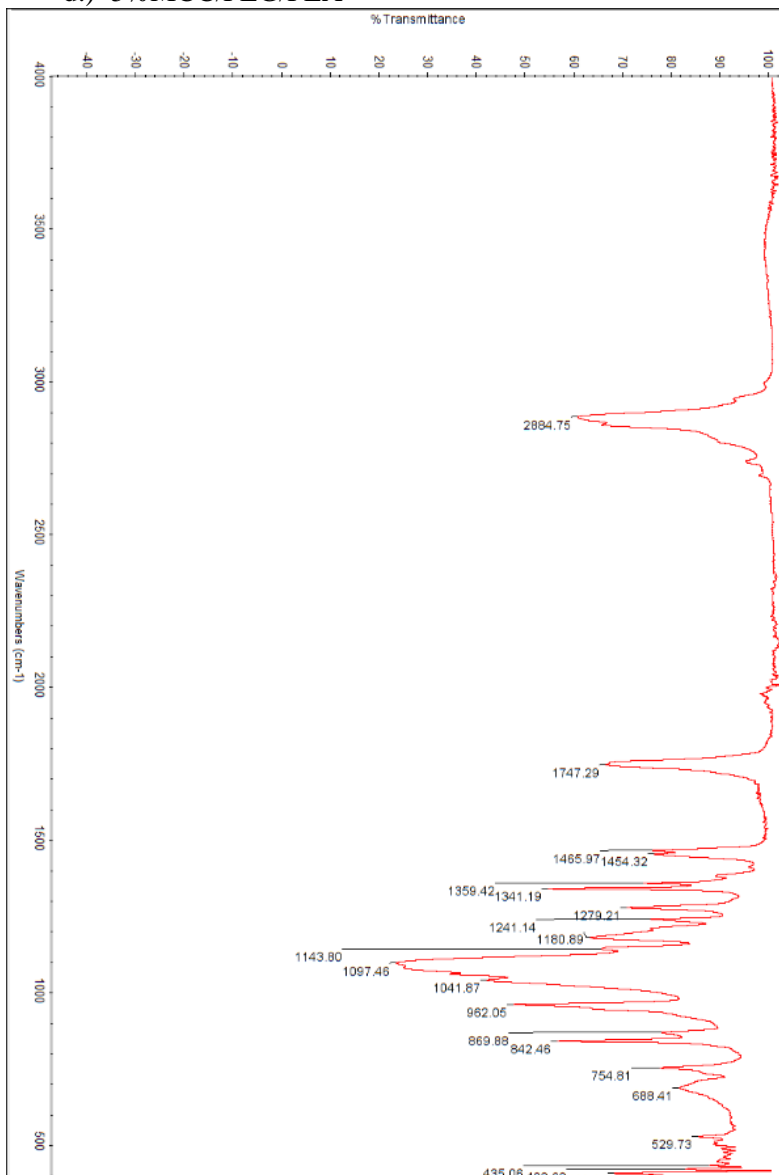
b.) 10% PEG/PLA



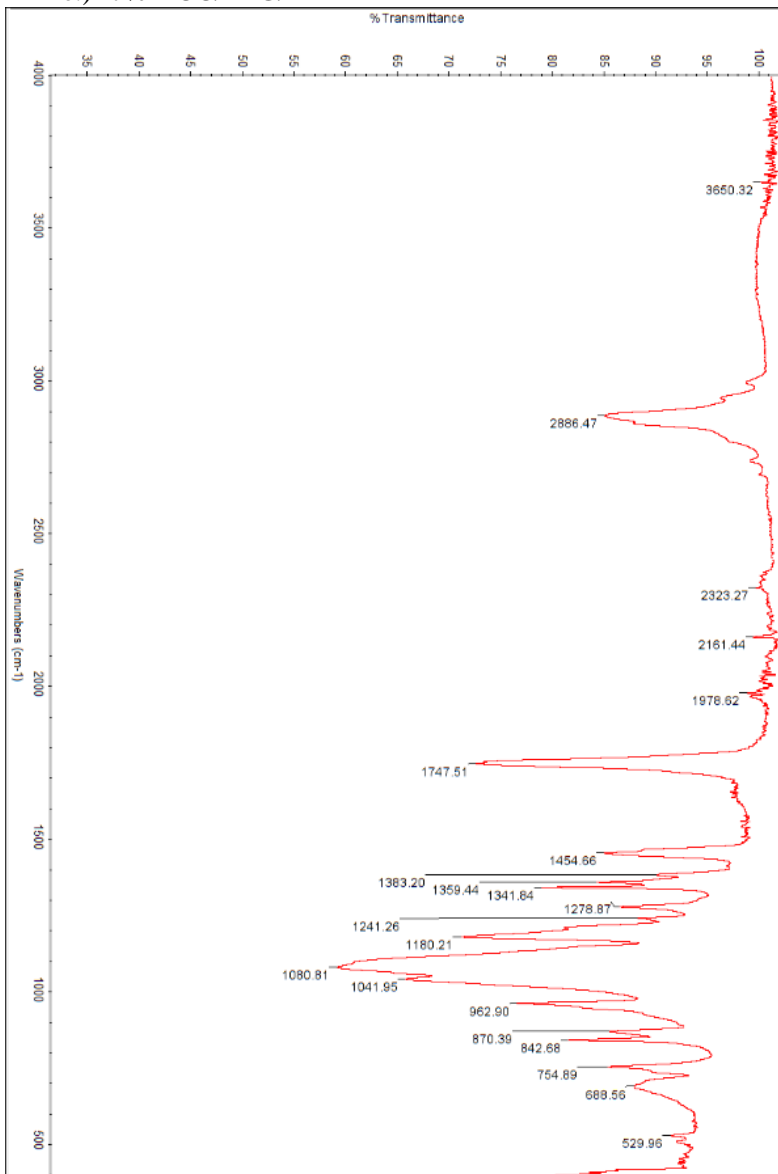
c.) 3%MCC/PEG/PLA



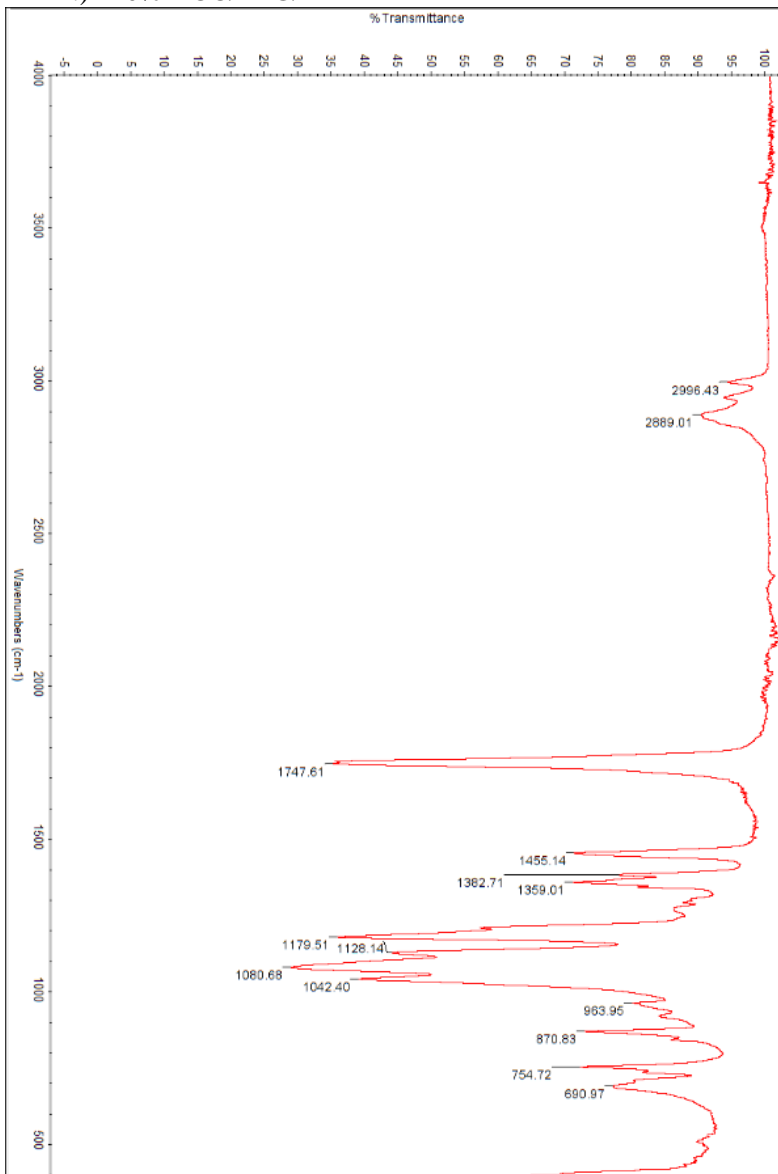
d.) 5%MCC/PEG/PLA



e.) 7%MCC/PEG/PLA



f.) 10% MCC/PEG/PLA



7. Interpolasi Temperatur Dekomposisi Dari Hasil Uji TGA

a.) 10%PEG/PLA

$$\frac{y - 210}{-5 - (-4,96)} = \frac{230 - 210}{-7,4 - (-4,96)}$$

$$y = 212,6$$

b.) 3%MCC/PEG/PLA

$$\frac{y - 210}{-0,025 - 4,15} = \frac{230 - 210}{0,476 - 4,15}$$

$$y = 232,72$$

c.) 5%MCC/PEG/PLA

$$\frac{y - 210}{-1 - 0,75} = \frac{240 - 210}{-0,694 - 0,75}$$

$$y = 246,35$$

d.) 7%MCC/PEG/PLA

$$\frac{y - 210}{0,2 - 2,39} = \frac{240 - 210}{-0,95 - 2,39}$$

$$y = 229,67$$

e.) 10%MCC/PEG/PLA

$$\frac{y - 210}{0 - 2013} = \frac{240 - 210}{-0,587 - 20,13}$$

$$y = 239,149$$

8. Hasil Uji Kekerasan

| No | Spesimen | Titik Pengukuran | | | | | | Rata-rata | St. Deviasi | Komposisi Selulosa |
|----|----------------|------------------|------|-------|------|---------------|------|-------------|-------------|--------------------|
| | | Bawah | Atas | Kanan | Kiri | Cross Section | | | | |
| 1 | Neat PLA | 78 | 74 | 77 | 78 | 78 | 77 | 1.732050808 | Murni | |
| 3 | 10%PEG/PLA | 69 | 68 | 70 | 70 | 68 | 69 | 1 | 0 | |
| 4 | 3Sel//PEG/PLA | 68 | 69 | 69 | 70 | 68.5 | 68.9 | 0.741619849 | 3 | |
| 5 | 5Sel//PEG/PLA | 68 | 71 | 72 | 68 | 69 | 69.6 | 1.816590212 | 5 | |
| 6 | 7Sel//PEG/PLA | 71 | 70 | 68 | 71 | 70 | 70 | 1.224744871 | 7 | |
| 7 | 10Sel//PEG/PLA | 68 | 68 | 68.5 | 69 | 71 | 68.9 | 1.24498996 | 10 | |

9. Hasil Uji *Impact*
 a.) Energi *Impact*

| No | Spesimen | Komposisi Selulosa (%) | Impact Energy (J) | | | Dimensi (mm) | | | St. Deviasi Energi Impact |
|----|----------------|------------------------|-------------------|------|-----------|--------------|-------|-------|---------------------------|
| | | | Run 1 | Run2 | Rata-Rata | Panjang | Lebar | Tebal | |
| 1 | Neat PLA | Murni | 0.9 | 0.8 | 0.85 | 64 | 10.04 | 9.06 | 0.070710678 |
| 2 | 10%PEG/PLA | 0 | 1.3 | 1.1 | 1.2 | 63.19 | 10.59 | 8.79 | 0.144421356 |
| 3 | 3%MCC/PEG/PLA | 3 | 1.9 | 1.7 | 1.8 | 63.7 | 10.1 | 8.87 | 0.144421356 |
| 4 | 5%MCC/PEG/PLA | 5 | 1.8 | 1.9 | 1.85 | 63.09 | 10.42 | 9.18 | 0.070710678 |
| 5 | 7%MCC/PEG/PLA | 7 | 1.9 | 2.3 | 2.1 | 63.03 | 10.16 | 8.22 | 0.282842712 |
| 6 | 10%MCC/PEG/PLA | 10 | 1.7 | 1.6 | 1.65 | 63.68 | 10.53 | 8.17 | 0.070710678 |

b.) Kekuatan *impact*

| No | Spesimen | Komposisi Selulosa (%) | Area (mm ²) | Kekuatan Impact (J/mm ²) | | | St. Deviasi Kekuatan Impact |
|----|----------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| | | | | Run 1 | Run 2 | Rata-rata | |
| 1 | Neat PLA | Murni | 90.9624 | 0.0098942 | 0.008794843 | 0.00934452 | 0.000777362 |
| 2 | 10%PEG/PLA | 0 | 93.0861 | 0.01396557 | 0.011817017 | 0.012891291 | 0.001519253 |
| 3 | 33%MCC/PEG/PLA | 3 | 89.587 | 0.02120843 | 0.018975967 | 0.020092201 | 0.001578592 |
| 4 | 5%MCC/PEG/PLA | 5 | 95.6556 | 0.01881751 | 0.019862925 | 0.019340216 | 0.000739222 |
| 5 | 7%MCC/PEG/PLA | 7 | 83.5152 | 0.02275035 | 0.027539897 | 0.025145123 | 0.003386721 |
| 6 | 10%MCC/PEG/PLA | 10 | 86.0301 | 0.01976053 | 0.018598142 | 0.019179334 | 0.00082193 |

10. Hasil Uji Tarik



**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARISASI INDUSTRI SURABAYA
LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA**

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480
<http://baristandsurabaya.kemenerperin.go.id/>

Nomor Analisa : P. 4219 – P. 4232
Jenis Sampel : Komposit
Merk(Kode) : Terlampir
Ukuran : -

| No | Parameter Uji | Satuan | P. 4219 | | P. 4220 | | P. 4221 | | P. 4222 | | P. 4223 | |
|----|----------------|-----------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | | | Cu 55 % | | Cu 50% | | Cu 45% | | 10% PEG | | 3% MCC | |
| | | | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II |
| 1 | Tebal | mm | 5,4 | 4,8 | 6,2 | 5,5 | 6,4 | 7,1 | 6,8 | 6,1 | 6,6 | 6,6 |
| 2 | Lebar | mm | 12,9 | 12,7 | 13,0 | 12,5 | 12,6 | 13,0 | 14,1 | 13,8 | 14,1 | 15,6 |
| 3 | Luas Penampang | mm ² | 69,7 | 61,0 | 80,6 | 68,8 | 80,6 | 92,3 | 95,9 | 84,2 | 93,1 | 103,0 |
| 4 | Beban Maksimum | N | 2077 | 1611 | 2796 | 1799 | 2308 | 3217 | 933 | 437 | 337,3 | 383,4 |
| 5 | Kuat Tarik | Mpa | 29,8 | 26,4 | 34,7 | 26,2 | 28,6 | 34,9 | 2,7 | 2,2 | 3,6 | 3,7 |

| No | Parameter Uji | Satuan | P. 4224 | | P. 4225 | | P. 4226 | | P. 4227 | | P. 4228 | |
|----|----------------|-----------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|-------------|--------|----------|--------|
| | | | 5% MCC | | 7% MCC | | 10% MCC | | Pla+Sel 10% | | Pla+Chit | |
| | | | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II |
| 1 | Tebal | mm | 7,0 | 6,3 | 6,5 | 7,4 | 6,6 | 6,5 | 9,0 | 8,5 | 9,5 | 9,1 |
| 2 | Lebar | mm | 14,0 | 13,8 | 16,0 | 14,8 | 14,0 | 13,5 | 14,0 | 13,5 | 13,7 | 13,5 |
| 3 | Luas Penampang | mm ² | 98,0 | 86,9 | 104,0 | 109,5 | 92,4 | 87,8 | 126,0 | 114,8 | 130,2 | 122,9 |
| 4 | Beban Maksimum | N | 460 | 275 | 422 | 549 | 338 | 253 | 942 | 321 | 226 | 177 |
| 5 | Kuat Tarik | Mpa | 4,7 | 3,2 | 4,1 | 5,0 | 3,7 | 2,9 | 7,5 | 2,8 | 1,7 | 1,4 |

| No | Parameter Uji | Satuan | P. 4229 | | P. 4230 | | P. 4231 | | P. 4232 | |
|----|----------------|-----------------|----------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|---------|--------|
| | | | Pla+Starch 10% | | Pla+Sor 10% | | Pla+Gly 10% | | Pla | |
| | | | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II | Uji I | Uji II |
| 1 | Tebal | mm | 9,4 | 8,2 | 9,3 | 9,1 | 9,2 | 9,2 | 8,9 | 8,9 |
| 2 | Lebar | mm | 13,9 | 13,2 | 14,2 | 14,0 | 13,8 | 14,6 | 13,6 | 14,3 |
| 3 | Luas Penampang | mm ² | 130,7 | 108,2 | 132,1 | 127,4 | 127,0 | 134,3 | 121,0 | 127,3 |
| 4 | Beban Maksimum | N | 683 | 279 | 321 | 226 | 198 | 259 | 386 | 418 |
| 5 | Kuat Tarik | Mpa | 5,2 | 2,6 | 2,4 | 1,8 | 1,6 | 1,9 | 3,2 | 3,3 |

Catatan :

- Ukuran sampel berupa tebal dan lebar tidak homogen



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Magelang 29 Agustus 1995, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dari pasangan Agus Suhendro dan Ngabdi Amanah. Penulis memiliki hobi naik gunung, *snorkling*, dan menjelajah alam. Penulis telah menempuh pendidikan formal SD Al-Kautsar Temanggung, SMPN 2 Temanggung dan SMAN 1 Magelang. Saat ini penulis melanjutkan studinya melalui jalur SNMPTN di Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 2714100006. Di Departemen Teknik Material penulis aktif dalam organisasi intra departemen dengan menjadi Sekretaris Umum BSO MB HMMT FTI-ITS, di samping itu penulis juga terlibat dalam beberapa acara, diantaranya adalah SC Metalgear XI, panitia pemilu HMMT FTI-ITS dan panitia TMT. Penulis melakukan penelitian Tugas Akhir bidang studi material inovatif, “**Studi Pengaruh Penambahan Selulosa Sebagai *Filler* Terhadap Sifat Mekanik, Morfologi, dan Kestabilan Termal Komposit Selulosa/Poly(ethylnene glycol)/Poly(lactic acid)**” dengan harapan studi ini akan memberikan kontribusi pada penelitian plastik ramah lingkungan dan dapat mendorong terciptanya lingkungan yang lebih lestari.. Nomor telepon penulis yang dapat dihubungi 089505346506 dengan alamat email baktisantosa@yahoo.com, dan akun instagram @baktis.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)