

Skripsi

**MODIFIKASI POLIETILEN SEBAGAI PLASTIK BIODEGRADABEL
DARI CAMPURAN POLIETILEN DENSITAS RENDAH (LDPE)
DAN PATI SAGU DENGAN PENAMBAHAN
ASAM POLI AKRILAT (PAA)**

**ASRAR RAHMAN S
H 311 10 910**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2016**

**MODIFIKASI POLIETILEN SEBAGAI PLASTIK BIODEGRADABEL
DARI CAMPURAN POLIETILEN DENSITAS RENDAH (LDPE)
DAN PATI SAGU DENGAN PENAMBAHAN
ASAM POLI AKRILAT (PAA)**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana sains*

Oleh

**Asrar Rahman S
H311 10 910**



**MAKASSAR
2016**

SKRIPSI

**MODIFIKASI POLIETILEN SEBAGAI PLASTIK BIODEGRADABEL
DARI CAMPURAN POLIETILEN DENSITAS RENDAH (LDPE)
DAN PATI SAGU DENGAN PENAMBAHAN
ASAM POLIAKRILAT (PAA)**

Disusun dan diajukan oleh

**ASRAR RAHMAN S
H311 10 910**

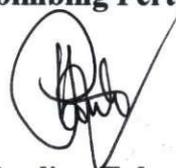
Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Utama



Dr. Firdaus, MS.
NIP. 19600909 198810 1 001

Pembimbing Pertama



Dr. Paulina Taba, M.Phil.
NIP. 19571115 198810 2 001

KATA PENGANTAR

Seni dan Karya

Cogito Ergo Sum, aku berpikir maka aku ada. Keagungan terbesar manusia adalah pada pemikirannya. Namun entah kenapa, terkadang kita sering menciptakan penjara kita sendiri. Penjara imajiner yang membatasi ide-ide dan pemikiran kita, seolah, penjara itulah yang membuat kita berpikir rasional. Dunia menuntut kita untuk berpikir realistis dan logis. Berpikir dengan dasar-dasar ilmiah dan segala macamnya. Namun apa itu ilmiah? Pada prakteknya seringkali ilmiah justru membelenggu pemikiran kita. Inilah tantangan terbesar bagi seorang yang seringkali ingin berkarya.

Ada berapa banyak orang dunia ini? Jawabannya adalah tentu sebanyak manusia yang menghuninya. Manusia dianugerahi akal oleh Allah SWT untuk memahami, dan pemahaman ini berbeda-beda. Tidak ada pemahaman seseorang pun yang akan sama persis. Maka manusia akan menciptakan dunia-dunia mereka sendiri. Dunia versi mereka dengan diri mereka sebagai tokoh utama dalam drama epik kehidupan. Dunia dengan segala manis pahitnya dan kisah-kisah heroik serta romantisme yang terdapat di dalamnya. Penulis merasa tidak bisa menggambar atau membuat karya dengan bagus, tidak pula memiliki suara emas, gerakan payah tidak bisa menari, dan sebagainya. Tidak bisa menciptakan satu pun karya seni sindah mungkin. Maka ini semua bukan tentang itu. Seni adalah tentang memaknai. Memaknai lukisan, memaknai suatu karya, memaknai hidup. Hanya satu hal yang perlukan untuk menciptakan seni yaitu memberi makna.

Seluruh hidup, gerak gerik, tingkah laku, pemikiran, akan menjadi sebuah seni ketika memaknainya. Maka akan menjadi indah ketika memaknai hidup dan menjadi seorang seniman atau pencipta suatu karya. Kita dianugerahkan akal untuk berpikir dan hati untuk memahami. Mendobrak batasan-batasan semu yang telah kita ciptakan sendiri. Menjadi manusia yang sesungguhnya, manusia yang memaknai dan bermakna bagi kehidupan. Seperti halnya dengan tugas akhir ini, hasil riset atas beragam teori yang ada dan mengalami seleksi hingga menurut saya, karya ini bisa menjadi rujukan. Saya tidak akan mengatakan bahwa ini teori saya, namun hanya sekedar berbagi cara pandang melalui hasil riset yang mungkin akan menambah ragam pendekatan dalam memahami fenomena yang ada.

Manusia yang selaras memahami hakekat dan esensi dari setiap tujuan hidupnya hingga bisa diturunkan dalam bentuk perilaku dan menciptakan suatu hasil yang diharapkan.

Ucapan Terimakasih

Alhamdulillah rabbil alamiin, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkah dan karuniah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Modifikasi Polietilen Sebagai Komposit Biodegradabel Dari Campuran Polietilen Densitas Rendah dan Pati Sagu Dengan Penambahan Asam Poliakrilat”** sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Tak ada gading yang tak retak, begitupun dengan pengerjaan skripsi ini yang menemui pelbagai macam kendala dalam pengerjaan secara tertulis maupun pengerjaan skala

laboratorium. Seiring dengan munculnya pelbagai macam kendala, usaha selalu ada untuk mencapai hasil kerja semaksimal mungkin.

Dunia ini tidak hanya dihuni oleh penulis. Namun siapa penulis yang tidak mengenali diri sendiri. Penulis pun tidak bisa urus diri sendiri tetapi penulis juga harus memikirkan tentang kamu, dia, dia, dia dan mereka. Tugas ini tidak akan selesai tanpa adanya dukungan dan bantuan dari pelbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang setinggi tingginya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda, **Abd. Rahman** dan **Salehah**, atas segala perhatian, kasih sayang yang selalu tercurahkan, dan selalu menjadi motivator di atas roda kehidupan ini. Untuk seorang **kakak** yang menjadi kebanggaan tersendiri bagi penulis: **Sulaiman Rahman S, St. Amina Rahman S, Yusran Rahman S,** dan **adik, Rukmana Rahman S**, yang mendukung dalam do'a dan menjadi penyemangat dalam setiap pengerjaan tugas ini.
2. Terkhusus dan terspesial Sahabat, teman kost saya yang terlebihdulu telah berpulang ke Rahmatullah (**ALMARHUM IWAN**) prodi BDP PERIKANAN. Semoga amal ibadahmu diterima di Sisi-Nya AAmin yaa rabbal aalamiin.
3. Bapak **Dr. Firdaus Zenta, MS**. Selaku pembimbing utama, serta Ibu **Dr. Paulina Taba, M.Phil** selaku pembimbing pertama, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan fikiran untuk selalu memberikan masukan dan mengarahkan penulis mulai dari penyusunan proposal, pengerjaan penelitian, hingga penyusunan skripsi ini. Tanpa beliau, penulis tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini.

4. Ketua Jurusan Kimia, Ibu **Dr Indah Raya, M. Si**, merupakan dosen yang sangat saya idolakan pada matakuliahnya yang penuh dengan proyek mimpi. Dosen-dosen Jurusan Kimia FMIPA Unhas yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan studi, serta seluruh analis laboratorium dan staf Jurusan Kimia FMIPA Unhas. Terimakasih atas bantuan dan kerjasamanya terutama pada saat penulis melakukan penelitian. **Pihak Dekanat**, terimakasih atas segala bentuk kerjasamanya.
5. Pembimbing akademik (PA), **Dr. Syahrudin Kasim, S.Si, M.Si**, yang telah mengarahkan dalam setiap matakuliah yang saya programkan.
6. Teman-teman SMA saya yang tak bisa disebutkan 1 demi 1. Masa yang begitu indah selalu ada bersama kalian. Kalian tak tergantikan.
7. Tema-teman **Chemistry'10**, Arham, Sukma, Yani, Maidah, Fitri, Nhenk, Eky. Khususnya teman seperjuangan, sepengaderan Chemistry "**SIKLIK 2010**" Wano, Rian, Oji, Agung, Kris, Ikky, Romy, Salam, Masdir, Ririn, Sinta, Nia Aziz, Rina, Waode, Putri, Ismi, Fera, Miska, Nesti, Feby Rut, Feby Kebs, Amel, Sulis, Rasty, Teman seperjuangan di pengurusan **BEM FMIPA Unhas**, Ade (**ketua angkatan SIKLIK**) yang sangat gokil, Ikal, Filu, Iwa', Ono, Perempuan-perempuan handal, Lina, Wiwik, Afmi, Ibt, Mini, Amhy, Fia, Tuti, Nia Nanas, Umi. Kalian Semua Luar biasa. **Mantap Luar Biasa Assyyyik sekali.**
8. Badan Pengurus Pusat Ikatan Himpunan Mahasiswa Kimia Indonesia (**BPP IKAHIMKI 2012-2014**), Ade (Sekjen), Muti (Bendahara), Ririn (Kepala Biro Administrasi), dan terhusus buat mas Eji Sulisty. **Jayalah IKAHIMKI.**

9. **“Chem Friends”** Romy, Arham, Ikky. Salut dengan kalian, thank you so much, very much. Tanpa Kalian Ngga’ Rame Rasanya.
10. Kakak Angkat **“Muh. Syarif Aqa’id, S. Si”**, terimakasih atas bimbingan dan kasi sayangnya yang sangat luar biasa. Saudara Angkat **“Iwa’, Ono”**. ammaizing.
11. KMK FMIPA Unhas, khususnya pengurus himpunan di saat saya pertama kali menginjakan kaki masuk HMK (**kk’ Periodik 2008**). Angkatan **2009, 2007, 2006, 2005 dan seluruh alumni** yang senantiasa memberikan dukungan selama jenjang pengaderan dan kuliah. Terimakasih banyak, sungguh jasa yang takan terlupa. Adik-adik **Konformasi 2011, Mesomeri 2012** (terutama Edar “adik angkat saya”), **Titiasi 2013, Prekusros 2014, Polihedra 2015**, dan **KPL OZONE** (utamanya angkatan III), **HMK tempat kita dibina, HMK tempat kita ditempa**.
12. **“MIPA 2010”** dan terkhusus pengurus **BEM FMIPA Unhas Periode 2013-2014**, Fahry (ketua BEM), Robin (Sekertaris), Afmi (Bendahara), Ifpank (Koord. Pengkaderan) Takim (Sekbid), As’ad (Koord. Akademik) Penulis (Sekbid), Rijal (Koord. Sekret) Filu (Sekbid), Fitrah (Koord. Eksternal), Difar (Koord. Riset dan Edukasi) Iman (Sekbid), (Koord. Rohis) (Sekbid), Dayat Ltc. Dayat Mamuju, Phia, Nunung, Dj, Riska, Dila, Naje’, DLL, **SEPERTI MEREKA, SATU HATI UNTUK MIPA. Use Your Mind Be The Best.**
13. **“MAPERWA FMIPA Unhas Periode 2014-2015”**, Ono (Ketua), As’ad (Sekertaris), Dayat Ltc, Tanto, Filu, Jun, Resky, Alam dodo, Iman, Fahry, Ijal.

14. **Kanda-kanda MIPA 07 (PENGURUS BEM) (Kanda Ramat Januar Noor, S. Si)** selaku ketua BEM periodenya yang pertamakali menerima saya diprosesi tingkat fakultas. Terimakasih atas segalanya. Dari kalianlah saya mulai **berproses dan mengenal kultur** yang ada di KM FMIPA Unhas.
15. **“Keluarga Besar Mahasiswa FMIPA Unhas”**, rumah dan keluarga setelah saya meniggalkan rumah di tanah Mandar. Suatu kebanggaan yang sangat besar bisa bertemu dan menjadi bagian dari keluarga ini dengan penuh kesederhanaan dan menjunjung tinggi nilai-nilai kekeluargaan. **Salam Use Your Mind Be The Best**
16. **MIPA 2013**, disini sangat banyak canda, tawa, kesal. Mereka adalah supporter terbaik. Sejak mereka masuk kampus, setiap hari mereka selalu ada bersama, dan tak pernah luput dari pandangan karena mereka adalah mahasiswa baru yang kami terima saat menjabat sebagai pengurus BEM periode 2013/2014. Terlebih lagi, saya adalah asisten mereka di laboratorium kimia dasar. Saya mungkin kejam menurut mereka ketika praktikum, tapi diluar praktikum, saya adalah teman dalam canda dan tawa. Untuk adik-adik 2013, jangan pernah lupakan MIPA 2010, karena mereka yang pertamakali menerima kalian di KM FMIPA Unhas.
17. **MIPA 2012**, ragam tawa bersama kalian, serasa seperti 1 angkatan yang tak memiliki sekat.
18. **The Miracle Of Science Community**, Salam berkompetisi, tetap berprestasi. Sukses selalu.
19. Teman seperjuangan, ketua Komisariat di Himpunan Mahasiswa Islam Cab. Makassar Timur (**HmI**), terkhusus HmI Komisaria MIPA Unhas. Kawan

seperjuangan KETUM FAPERTA (Arman), ISIPOL (Ilang), KEHUTANAN (Irlan), FIKP (Talib). YAKUSA, Ilmu Iman Amal Padu Mengabdi.

20. Kanda Icca' STIMIK DIPA, K' Fhiyal Sastra Inggris UNM, K' Rahmadi dan Ancha' FIKP Unhas, K' Mail Farmasi Unhas, adinda Wa'yu FISIP Unhas, Riah Riri Farmasi UIT dan Muslih Farmasi UMI, terimakasih atas segala supportnya dari awal pendaftaran masuk Unhas sampai penulisan skripsi ini.
21. Kanda, Teman, dan Adik-adik seperjuangan di **ORGANDA IPPMIMM** Terkhusus Asrul Alimuddin Unismuh, **KABUTLIMA, BUTTU PAMBOANG, Kec PAMBOANG**, serta **Pecinta Seni Madatte Arts Polewali Mandar**
22. **KKN Gelombang 87, Desa Barugae, Kec Lamuru, Kab. Bone**, Neny **Sastra Francis** (Sekretaris), Ian **Ekonomi** (Bendahara), Saldy **Teknik Elektro**, Nusul **Ilmu Hama** Pertanian, Alfi **Ekonomi**, Irdi **Perikanan**.
23. Teman-teman **Bidikmisi Unhas 2010**, beragam pengalaman dan cerita bersama kalian di Asrama Mahasiswa Unhas (**RAMSIS**). Utamanya sahabat saya **Sabili Rasyad** dan **Risal** Perikanan,
24. **ISLT LK2 @FKM**, Uci', Annisa, Lilis, Idhe, Irwan, Arman, Agus, Pais, Nhenk, Lilis, Fadel, Farid, Uni, k' Fahrul, Kanda Maslia, Salman, Sabran, Jai, Awal, Bayu, Irlan. Tetap proteksi dan Terkoneksi meski berbeda angkatan, beda jurusan, dan beda fakultas.
25. Adik-adik **Ilmu Gizi FKM 2012 dan 2014, Kedokteran Hewan 2015 utamanya** Nursulalatin, **FIKP 2015** utamanya Niirma, terimakasih atas supportnya yang begitu besar.

26. Kanda-Kanda, adik-adik dan teman-teman pendakian Bawakaraeng-Lompobattang. Semoga tetap Berjaya dalam pendakian. Salam **EXPEDISI BAWAKARAENG-LOMPOBATTANG.**
27. **PETERNAKAN'14**, Gusti, Cido', Syair, Ical, adil, Irsyad, Idam, Zul. Terimakasih atas kebersamaannya, supportnya. Terimakasih atas tumpangan istirahat di kostnya. Serta adik2 **Peternakan 2015** khususnya Anggi, gut danke.
28. **TEKNOLOGI PERTANIAN 2013** Arhy', Lukman, Eno', Fadly, Fahrul, Ical, Faisal, Mamat, Suyuti, dan Arfan. **TEKPER 2015**, Ichsan, Dochi', Farham, Dina, Dita, Karima, Rahmi, Tifani, dkk, banyak tawa bersama kalian. Dan Terkhusus buat IKSAN yang selalu mensupport. **TEKPER 2016**, utamanya Dino Kanino yang rewel. Thanks so much.
29. Ika, Inpus, Vuvu, Dian, Albar, Seto, Deva, Fadil, Gafur, Raka, Bayu Utamanya yang menamakan KMR (Aris, JR, Hafis, Amming, Aksa, Vitra, Rian, Ashadi), bangga punya adik seperti kalian.
30. Nuge', Arkal, Adnan, Ian, Fajri, terimakasih atas kebersamaan dan persaudaraannya. Smoga tetap bisa berkumpul. Jaya di puncaknya.
31. **Praktikan Kimia Dasar I 2016**, dimana saya sebagai kooordinator golongan, terimakasih banyak adik-adik yang telah memberikan support, memberikan tawa dan kesal. Apapun itu kalian super. Terutama untuk Hilda cerewet, Aisyiah, Cica, Sri, Dirayanti, Nugrah, Wandu, Wahyuni, Renaldi, Faiz, Iksan, Arfandi, dan banyak lagi, 1 kata TIRORI.
32. Tak terlupakan Tiens sekeluarga di Toraja Utara. Syianto Alam Mulyoto, Yaumil Falakh, Reenaldi, Aswan, Ogi Bangsawan, Crisyharyadi. **Thanks all**

Edited by Foxit PDF Editor
Copyright (c) by Foxit Corporation, 2003 - 2010
For Evaluation Only.

**MODIFIKASI POLIETILEN SEBAGA
DARI CAMPURAN POLIETILEN DENSITA
DENGAN PENAMBAHAN ASA**

Asrar Rahman S¹., Dr. Firdaus, M.S¹., Dr. Paulina Taba, M.Phil¹.

¹Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Hasanuddin Makassar, Sulawesi Selatan 90245

Abstrak: Penelitian dan pengembangan teknologi bahan kemasan yang mudah terurai dalam tanah melalui modifikasi plastik jenis polietilen densitas rendah (LDPE) dan pati sagu, dengan perbandingan 9:1 dan 1,5:1 (b/b) telah dilakukan. Pembuatan film plastik bertujuan untuk menghasilkan plastik yang mudah terurai dengan sifat mekanik yang baik. Metode yang digunakan adalah pembuatan poliblen kering dari LDPE dan pati sagu, pembuatan film plastik menggunakan *compression molding*, uji kekuatan tarik dan elongasi menggunakan mesin instron ASTM-D638, uji terhadap suhu (metode oven), uji densitas (metode piknometer), uji biodegradasi dalam tanah selama 30 hari, dan analisis orde, kinetika degradasi, serta FTIR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik untuk perbandingan 9:1 sebesar 5,24 kgf/mm², persen elongasi sebesar 25,71 %, sedangkan perbandingan 1,5:1 sebesar 3,73 kgf/mm², persen elongasi sebesar 20 %. Berdasarkan uji degradasi, diperoleh suhu degradasi termal untuk perbandingan 9:1 sebesar 135-140 °C, perbandingan 1,5:1 sebesar 130-140 °C. Uji biodegradasi selama 30 hari dalam tanah diperoleh rata-rata laju biodegradasi perbandingan 9:1 sebesar 0,0192 g, persentase biodegradasi sebesar 12,60 %, sedangkan perbandingan 1,5:1 diperoleh rata-rata laju biodegradasi sebesar 0,0244 g, persentase biodegradasi sebesar 18,59 %. Analisis kinetika untuk menentukan orde dan konstanta biodegradasi dilakukan, diperoleh data bahwa perbandingan 9:1 merupakan orde 1 dengan konstanta biodegradasi sebesar 0,006 g, sedangkan perbandingan 1,5:1 merupakan orde 1 dengan konstanta sebesar 0,010 g. Berdasarkan analisis konstanta laju biodegradasi, diperoleh waktu yang dibutuhkan oleh sampel untuk habis terurai dalam tanah atau tersisa 1 %, perbandingan 9:1 sebesar 307,65 hari (± 11 bulan), sedangkan perbandingan 1,5:1 sebesar 201,13 hari (± 7 bulan). Densitas yang diperoleh yaitu 1,18 g/cm³.

Kata kunci: Biodegradasi, LDPE, Pati sagu, ASTM-D638.

Abstract: Based on facts and scientific studies there, the research and development of biodegradable packaging materials technologies through the modification of plastics low density polyethylene (LDPE) and sago starch comparised 9:1 and 1,5:1 (w/w), has do. Manufacture of plastic films aim to produce biodegradable plastics with good mechanical properties. The method used is the manufacture poliblen dry of LDPE and sago starch, the manufacture of plastic films using the compression molding, testing the tensile strength and elongation using machine Instron ASTM-D638, test the temperature (oven method), density test (method pycnometer), biodegradation test in land for 30 days, and analysis of the reaction order, kinetics of degradation, and FTIR.. The results of the research showed that the tensile strength for a ratio of 9: 1 at 5.24 kgf/mm², percent elongation of 25.71 %, while the ratio of 1.5:1 at 3.73 kgf/mm², percent elongation of 20 %. Based on the degradation test, obtained by thermal degradation temperature for the ratio of 9:1 at 135-140 °C, for a ratio of 1.5:1 at 130-140 °C. Biodegradation test for 30 days in soil gained an average rate of biodegradation ratio of 9:1 at 0.0192 g, biodegradation percentage of 12.60 %, while the ratio of 1.5:1 gained an average rate of biodegradation of 0.0244 g , the percentage of biodegradation of 18.59 %. Analysis of the kinetics to determine the order and constant of biodegradation done, and obtained that the ratio of 9: 1 is the order 1 with biodegradation constant 0.006 g, while the ratio of 1.5: 1 is the order 1 with constant 0,010 g. Based on the analysis of the biodegradation rate constant, the time needed by the sample to be depleted biodegrade in soil or the remaining 1%, ratio of 9: 1 for 307.65 days (±11 months), while the ratio of 1.5: 1 for 201.13 days (±7 months). The density of film plastic is 1,18 g/cm³.

Keywords: Biodegradation, LDPE, Sago starch, ASTM-D638

Ich bin nicht jemand ohne euch. Zusammen wie euch fühle ich mich Trauer, dass nicht jeder diese fühlen kann. Wenn mein Herz weich ist, wird dann mein Herz nie weggehen. zusammen bleiben.

GLAUB AND MICH

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| Lembar Pengesahan | iii |
| Kata Pengantar | iv |
| Daftar Isi | xii |
| Daftar Tabel | xv |
| Daftar Gambar | xvi |
| Daftar Lampiran | xvii |
| Daftar Simbol dan Singkatan | xviii |
| Abstrak | xix |
| Abstract | xx |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 7 |
| 1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian | 7 |
| 1.3.1 Maksud Penelitian | 7 |
| 1.3.2 Tujuan Penelitian | 7 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 8 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 9 |
| 2.1 Plastik Terbiodegradasi | 9 |
| 2.2 Polietilen | 14 |
| 2.3 Radikalisasi dan Pembentukan Polimer Baru | 17 |
| 2.4 Asam Poliakrilat | 20 |
| 2.5 Pati/ Selulosa Sagu | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 2.6 Gliserol | 23 |
| 2.7 Sifat Fisiko Kimia Bioplastik | 26 |
| 2.8 Tingkat Keamanan Bioplastik | 28 |
| 2.9 Jumlah Polutan yang Dilepaskan | 29 |
| 2.10 Analisa Gugus Fungsi Polimer | 30 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 31 |
| 3.1 Bahan Penelitian | 31 |
| 3.2 Alat Penelitian | 31 |
| 3.3 Waktu danTempat Penelitian | 31 |
| 3.4 Prosedur Penelitian | 32 |
| 3.4.1 Preparasi Pati Sagu | 32 |
| 3.4.2 Preparasi Alat Cetak Film | 32 |
| 3.4.3 Pembuatan Film Plastik | 32 |
| 3.4.4 Pencetakan Film Plastik | 32 |
| 3.4.5 Karakterisasi | 33 |
| 3.4.5.1 Uji SifatMekanik | 33 |
| 3.4.5.2 Uji Degradasi Termal..... | 33 |
| 3.4.5.3 Uji Biodegradasi Dalam Tanah..... | 33 |
| 3.4.5.4 Uji Laju Transmisi Air (Penyerapan)..... | 34 |
| 3.4.5.5 Uji Densitas..... | 34 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 35 |
| 4.1 Pembuatan Poliblen | 35 |
| 4.2 Pencetakan Film Plastik..... | 38 |
| 4.3 Karakterisasi Menggunakan FTIR..... | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3.1 Spektrum FTIR LDPE..... | 39 |
| 4.3.2 Spektrum FTIR Sebelum dan Setelah Modifikasi..... | 39 |
| 4.4 Uji Sifat Mekanik..... | 42 |
| 4.5 Uji Degradasi..... | 44 |
| 4.5.1 Uji Degradasi Termal..... | 45 |
| 4.5.2 Uji Biodegradasi..... | 46 |
| 4.6 Kinetika Biodegradasi dalam Tanah..... | 51 |
| 4.7 Hubungan Antara Sifat Mekanik dan Laju Biodegradasi..... | 53 |
| 4.8 Uji Laju Transmisi Air..... | 54 |
| 4.9 Uji Densitas (Kerapatan)..... | 57 |
| BAB V PENUTUP..... | 58 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 59 |
| 5.2 Saran..... | 58 |
| DAFTAR PUSTAKA | 60 |
| LAMPIRAN..... | 65 |
| AUTOBIOGRAFI PENULIS..... | 82 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|----------------|
| Tabel 1. Perbedaan Antara Plastik Konvensional, Campuran, Dan Plastik Terbiodegradasi | 13 |
| Tabel 2. Perbandingan Sifat LLDPE, LDPE, MDPE, dan HDPE | 16 |
| Tabel 3. Komposisi Sagu Per 100 gram..... | 22 |
| Tabel 4. Perbandingan Tingkat Keamanan Plastik Terbiodegradasi Dan Plastik Tidak Terbiodegradasi..... | 29 |
| Tabel 5. Hasil Uji Kekuatan Tarik dan Kemuluran..... | 43 |
| Tabel 6. Hasil Uji Degradasi Termal..... | 45 |
| Tabel 7. Hasil Uji Biodegradasi Dalam Tanah..... | 48 |
| Tabel 8. Hubungan Antara Sifat Mekanik dan Laju Biodegradasi | 54 |
| Tabel 9. Hasil Uji Laju Transmisi..... | 56 |
| Tabel 10. Karakteristik Polietilen Densitas Rendah (LDPE) Standar ASTM... | 75 |
| Tabel 11. Kode Jenis Penggunaan Jenis Plastik yang Lazim pada Makanan..... | 76 |
| Tabel 12. Total Sampah Indonesia Tahun 2013-2014 | 77 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|----------------|
| Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Radikal Bebas | 18 |
| Gambar 2. Mekanisme Propagasi | 19 |
| Gambar 3. Pembentukan Polimer Baru (Terminasi) | 20 |
| Gambar 4. Struktur Asam Akrilat dan Asam Poliakrilat | 21 |
| Gambar 5. Struktur Amilopektin dan Amilosa | 20 |
| Gambar 6. Struktur Molekul Selulosa | 22 |
| Gambar 7. Skema Reaksi Pembentukan Radikal Bebas (Inisiasi)..... | 36 |
| Gambar 8. Skema Reaksi Pembentukan Radikal Bebas Pada PAA..... | 36 |
| Gambar 9. Skema Reaksi Propagasi Antara LDPE dan PAA..... | 37 |
| Gambar 10. Reaksi Polimer Baru, Gliserol sebaga Penutup (Terminasi).... | 38 |
| Gambar 11. Spektrum FTIR LDPE | 39 |
| Gambar 12. Spektrum FTIR Sebelum dan Setelah Modifikasi..... | 40 |
| Gambar 13. Grafik Penurunan Berat Sampel Setelah 30 Hari Dalam Tanah... | 48 |
| Gambar 14. Morfologi Film Plastik Sebelum dan Setelah Penguburan | 50 |
| Gambar 15. Penentuan Orde Reaksi Dengan Metode Differensial..... | 51 |
| Gambar 17 Penentuan Konstanta Laju Biodegradasi dengan Metode Intergral.. | 52 |
| Gambar 18 Grafik Perbandingan Pengukuran Laju Transmisi..... | 56 |

DAFTAR LAMPIRAN

| Lampiran | Halaman |
|--|----------------|
| 1. Bagan Kerja Penelitian..... | 65 |
| a. Preparasi Pati Sagu..... | 65 |
| b. Pembuatan Film Plastik | 65 |
| c. Pencetakan Film Plastik | 65 |
| d. Uji Sifat Mekanik | 66 |
| e. Uji Biodegradasi Dalam Tanah | 66 |
| f. Uji Laju Transmisi Air (Penyerapan)..... | 66 |
| g. Uji Densitas..... | 67 |
| 2. Pengolahan Data..... | 68 |
| 3. Kemungkinan Reaksi yang Terjadi | 74 |
| 4. Karakterisasi Material Polimer Berdasarkan Standar ASTM..... | 75 |
| 5. Jenis-Jenis Polimer dan Kode Penggunaannya | 76 |
| 6. Total Sampah Indonesia Tahun 2013-2014..... | 77 |
| 7. Dokumentasi Penelitian..... | 80 |

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

PE = Polietilen

LDPE = *Low Density Polythilene*

LLDPE = *Linier Low Density Polythilene*

MDPE = *Medium Density Polythilene*

HDPE = *High Density Polythilene*

PAA = *Poli Acrylic Acid*

BPO = Benzoil peroksida

FTIR = *Fourier Transform infrared*

ASTM = *American Standard Testing Methode*

ISO = Internasional Standar Organisasi

INAPlas = Industri Plastik dan Olevin Indonesia

BPOM = Badan Pengawasan Obat dan Makanan

PET = Polietilen tereftalat

PP = Polipropilen

PS = Polistirena

PHB = Polihidroksi Butirat

PVC = *Polivinil clorida*

Tg = Transisi gelas

UV = Ultraviolet

**MODIFIKASI POLIETILEN SEBAGAI PLASTIK BIODEGRADABEL
DARI CAMPURAN POLIETILEN DENSITAS RENDAH (LDPE)
DAN PATI SAGU DENGAN PENAMBAHAN
ASAM POLI AKRILAT (PAA)**

ABSTRAK

Polimer plastik yang tidak mudah terurai secara alami mengakibatkan terjadinya penumpukan limbah dan menjadi penyebab pencemaran. Kondisi demikian menyebabkan bahan kemasan plastik tidak dapat dipergunakan secara meluas. Berdasarkan fakta dan kajian ilmiah yang ada, maka penelitian dan pengembangan teknologi bahan kemasan yang mudah terurai dalam tanah melalui modifikasi plastik jenis polietilen densitas rendah (LDPE) dan pati sagu dilakukan. Untuk meningkatkan kualitas kemasan, dilakukan penambahan asam poliakrilat 1 %, dan gliserol 30 %. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik (kekuatan tarik, persen elongasi), dan degradasi plastik. Bahan komposit ini dibuat dengan mencampurkan LDPE dan pati dengan perbandingan 9:1 dan 1,5:1 b/b (gram) menggunakan pelarut xilena, dan inisiator H₂O₂ dalam wadah refluks pada suhu 90 °C. Film plastik dicetak dan dipotong sesuai dengan ukuran sampel, dan diuji menggunakan mesin instron standard ASTM-D638. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik untuk perbandingan 9:1 sebesar 5,24 kgf/mm², persen elongasi sebesar 25,71 %, sedangkan perbandingan 1,5:1 sebesar 3,73 kgf/mm², persen elongasi sebesar 20 %. Berdasarkan uji degradasi, diperoleh suhu degradasi termal untuk perbandingan 9:1 sebesar 135-140 °C, perbandingan 1,5:1 sebesar 130-140 °C. Uji biodegradasi selama 30 hari dalam tanah diperoleh rata-rata laju biodegradasi perbandingan 9:1 sebesar 0,0192 g, persentase biodegradasi sebesar 12,60 %, sedangkan perbandingan 1,5:1 diperoleh rata-rata laju biodegradasi sebesar 0,0244 g, persentase biodegradasi sebesar 18,59 %. Analisis kinetika untuk menentukan orde dan konstanta biodegradasi dilakukan, diperoleh data bahwa perbandingan 9:1 merupakan orde 1 dengan konstanta biodegradasi sebesar 0,006 g, sedangkan perbandingan 1,5:1 merupakan orde 1 dengan konstanta sebesar 0,010 g. Berdasarkan analisis konstanta laju biodegradasi, diperoleh waktu yang dibutuhkan oleh sampel untuk habis terurai dalam tanah atau tersisa 1 %, perbandingan 9:1 sebesar 307,65 hari (± 11 bulan), sedangkan perbandingan 1,5:1 sebesar 201,13 hari (± 7 bulan).

Kata Kunci: LDPE, Pati Sagu, FTIR, ASTM-D638, Biodegradasi,

BIODEGRADABLE PLASTICS POLYETHYLENE MODIFICATIONS AS OF MIXED LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) AND SAGO STARCH WITH ADDITION POLI ACRYLIC ACID (PAA)

ABSTRACT

Plastic polymers that are not easy to biodegradabed resulting in the accumulation of waste and cause pollution. These conditions cause the plastic packaging materials can not be used widely. Based on facts and scientific studies there, the research and development of biodegradable packaging materials technologies through the modification of plastics low density polyethylene (LDPE) and sago starch do. To improve the quality of biodegradable packaging, the addition of polyacrylic acid 1 %, and 30 % glycerol. The purpose of this study was to determine the mechanical properties (tensile strength, percent elongation), and degradation of plastic. This composite material is made by mixing LDPE and starch with a ratio of 9:1 and 1.5:1 w/w (g) using xylene solvent, and initiator H_2O_2 in reflux container at a temperature of 90 °C. Plastic film printed and cutted according to the size of the sample, and tested using standard instron machine ASTM-D638. The results of the research showed that the tensile strength for a ratio of 9: 1 at 5.24 kgf/mm², percent elongation of 25.71 %, while the ratio of 1.5:1 at 3.73 kgf/mm², percent elongation of 20 %. Based on the degradation test, obtained by thermal degradation temperature for the ratio of 9:1 at 135-140 °C, for a ratio of 1.5:1 at 130-140 °C. Biodegradation test for 30 days in soil gained an average rate of biodegradation ratio of 9:1 at 0.0192 g, biodegradation percentage of 12.60 %, while the ratio of 1.5:1 gained an average rate of biodegradation of 0.0244 g , the percentage of biodegradation of 18.59 %. Analysis of the kinetics to determine the order and constant of biodegradation done, and obtained that the ratio of 9: 1 is the order 1 with biodegradation constant 0.006 g, while the ratio of 1.5: 1 is the order 1 with constant 0,010 g. Based on the analysis of the biodegradation rate constant, the time needed by the sample to be depleted biodegrade in soil or the remaining 1%, ratio of 9: 1 for 307.65 days (± 11 months), while the ratio of 1.5: 1 for 201.13 days (± 7 months).

Keywords: LDPE, Sago Starch, FTIR, ASTM-D638, Biodegradation,

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu permasalahan lingkungan dunia pada umumnya, dan Indonesia pada khususnya adalah limbah plastik. Plastik sebagai bahan polimer banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan manusia, mulai dari keperluan rumah tangga hingga industri. Salah satu pemanfaatan plastik dalam bidang industri adalah sebagai kemasan pangan. Plastik digunakan mulai dari proses pengolahan pangan hingga pangan siap saji.

Penggunaan plastik sebagai bahan kemasan semakin meningkat seiring dengan perkembangan industri plastik. Berbagai peluang, dan dampak negatif yang ditimbulkan oleh penggunaan plastik merupakan tantangan bagi penguasa teknologi polimer. Menurut Anonim a (2015), sampah plastik merupakan persoalan besar yang perlu ditangani secara serius implementasi kebijakan dan strategi nasional. Jumlah peningkatan timbulan sampah di Indonesia telah mencapai 175.000 ton/hari atau setara 64 juta ton/tahun. Tantangan terbesar pengelolaan sampah adalah penanganan sampah plastik yang tidak ramah lingkungan. Berdasarkan hasil studi yang dilakukan di beberapa kota tahun 2012, pola pengelolaan sampah di Indonesia sebagai berikut: diangkut dan ditimbun di TPA (69 %), dikubur (10 %), dikompos dan didaur ulang (7 %), dibakar (5 %), dan sisanya tidak terkelola (7 %). Pada tahun 2013, jumlah rata-rata sampah yang tidak tertangani di Indonesia sebesar 76,31 %. Peningkatan terjadi pada tahun 2014 dengan peningkatan sebesar 81,16 %.

Provinsi di Indonesia yang memberikan kontribusi besar dalam pengurangan limbah adalah Provinsi Sulawesi Selatan. Menurut Anonim a (2015), pada tahun 2013, rata-rata limbah di Provinsi Sulawesi Selatan yang tidak tertangani sebesar 71,43 %. Nilai ini menurun pada tahun 2014 yaitu sebesar 68,11 %. Hasil ini merupakan penurunan yang sangat baik, namun limbah masyarakat harus tetap jadi perhatian, terutama pengolahan limbah plastik yang merupakan penyumbang sampah terbesar di Sulawesi Selatan. Anonim b (2015), menyatakan bahwa jumlah timbulan sampah per orang per hari untuk kota besar 0.6 kg/jiwa/hari dengan jumlah penduduk =>1.000.0000 orang, untuk kota sedang dengan jumlah penduduk 500.000-1.000.000 orang, jumlah timbulan sampah sebesar 0.55 kg/jiwa/hari, sedangkan untuk kota kecil dengan penduduk kurang dari 500.000 orang diperkirakan menghasilkan sampah sebesar 0.52 kg/jiwa/hari. Berdasarkan koefisien tersebut maka dapat terlihat, perkiraan terbesar berada pada kota besar, dalam hal ini adalah Kota Makassar sebagai ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan. Volume timbulan sampah di Kota Makassar pada tahun 2014 mencapai 4.057,28 m³/hari, dengan komposisi sampah yaitu 82,19 % merupakan sampah organik, dan sisanya yaitu 17,81 % merupakan sampah anorganik seperti plastik, besi, aluminium, karet dan kaca. Sampah yang ditimbulkan umumnya merupakan sampah rumah tangga, sebesar 1.847,47 m³/hari atau 45,53 % dari total timbulan sampah Kota Makassar. Volume timbulan sampah yang dapat terangkut ke TPA sebesar 3.642,56 m³/hari atau 89,78 % dari total timbulan sampah, sedangkan sisanya 414,72 m³/hari atau 10,22 % dikelola sendiri oleh masyarakat, dibakar, atau dibuang secara sembarangan (dibuang ke sungai ataupun ke lahan kosong). Dengan demikian,

timbulan sampah, terutama sampah plastik menjadi masalah utama dalam pengolahan limbah.

Plastik yang paling bermasalah dalam pengelolaannya adalah plastik jenis polietilen (PE). Salah satu jenis polietilen yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah jenis polietilen densitas rendah (LDPE). Polietilen merupakan plastik yang sangat tahan terhadap mikroba. Plastik jenis polietilen jika diradiasi dengan sinar UV selama 26 hari, hanya kehilangan 0,5 % berat karbon setelah 10 tahun di tanam dalam tanah. Polietilen yang ditimbun dalam tanah tanpa proses radiasi sebelumnya hanya mengakibatkan kehilangan 0,2 % karbon setelah 12 tahun. Hal ini tentu berakibat pada penumpukan sampah plastik meskipun melalui proses penimbunan (Leja dan Lewandowicz, 2010). Oleh karena itu, sistem yang ramah lingkungan diperlukan untuk pembuatan, penggunaan, dan penanganan plastik.

Pemecahkan masalah plastik dilakukan beberapa pendekatan seperti daur ulang, teknologi pengolahan sampah plastik, dan pengembangan plastik baru yang mudah hancur, dan terurai dalam lingkungan yang disebut dengan plastik biodegradabel. Alternatif lain dari pengolahan plastik untuk meningkatkan kualitasnya yaitu melalui proses modifikasi. Modifikasi plastik dapat dilakukan melalui metode blending dengan penambahan komponen berupa pati yang berasal dari umbi-umbian atau dari berbagai jenis tanaman yang memiliki selulosa. Penambahan komponen tersebut dianggap sebagai alternatif terbarukan dalam berbagai proses produksi plastik, karena komponen ini bisa menjadi pakan dari bakteri penghancur dalam tanah sehingga sampah plastik yang dibuat berdasarkan campuran pati akan lebih cepat terdegradasi apabila dibuang ke lingkungan.

Deswita *et al.* (2007), menyatakan bahwa plastik terbiodegradasi dapat dihasilkan melalui modifikasi plastik berbahan dasar pati. Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah tepung tapioka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit polimer mulai terdegradasi dalam tanah setelah 2 minggu. Pemendaman komposit polimer selama 2 minggu dengan konsentrasi tapioka lebih besar 60 % memiliki tingkat biodegradasi yang paling tinggi. Hasil penelitian ini belum memberikan manfaat produk yang cukup baik karena pada penggunaan tepung tapioka dengan konsentrasi lebih besar 60 % tidak menghasilkan plastik dengan sifat mekanik yang baik saat dilakukan uji kekuatan luluh dan uji kekuatan tarik.

Pada tahun 2011, Susilawati *et al.* melakukan penelitian tentang produksi plastik dengan menggunakan pati ubi kayu, dan penambahan asam akrilat. Tetapi penelitian ini masih belum memberikan hasil yang cukup baik karena semakin banyak konsentrasi pati yang digunakan, sifat mekaniknya semakin menurun. Penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik optimum plastik sebesar (0,71 Kgf/mm²) diperoleh pada perbandingan komposisi LDPE dan pati ubi kayu 9:1 (w/w), tetapi biodegradabilitas komposit ini sangat rendah. Biodegradabilitas komposit LDPE dan pati ubi kayu optimum (59,26 %) pada perbandingan 6:4 (w/w) selama pemendaman 2 bulan dalam tanah, dengan kekuatan tarik sebesar 0.38 Kgf/mm². Dari hasil penelitian ini, jelas terlihat bahwa semakin banyak penambahan pati maka semakin tinggi tingkat biodegradasinya, namun sifat mekaniknya semakin menurun. Oleh karena itu untuk menghasilkan film plastik yang kompatibel, pengembangan plastik berbahan dasar pati perlu dikembangkan,

misalnya penggunaan pati sagu dengan penambahan elastisizer, yaitu suatu bahan yang dapat membrikan sifat lentur pada film plstik.

Sebagai bahan pangan, sagu merupakan tanaman yang sangat banyak ditemui di Indonesia utamanya bagian timur seperti Sulawesi, Maluku, dan Papua. Satu batang pohon sagu yang dipanen bisa menghasilkan banyak pati sagu untuk dikonsumsi tiap harinya. Menurut Jading *et al.* (2011), kelebihan dari pati sagu yang memungkinkan untuk dijadikan sebagai bahan modifikasi komposit polimer dapat dilihat dari sifat fisikokimia yang dimilikinya. Sifat fisika dari pati sagu yaitu memiliki daya serap air sebesar 51,34 % serta suhu glatinasi sebesar 65,0 sampai 75,1 °C. Dari komposisi tersebut dapat diperkirakan bahwa komposit plastic terbiodegradasi dapat diproduksi melalui modifikasi pati sagu dengan polietilen.

Meskipun pati mampu memicu proses biodegradasi dalam tanah, tinjauan khusus diperlukan untuk memperoleh ketahanan plastik yang baik dari campuran polimer dengan pati apabila digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini diperlukan karena pati bersifat kaku, yang akan menurunkan kekuatan dari plastik yang dihasilkan sehingga tidak maksimal dalam penggunaannya. Oleh karena itu berbagai komponen lain diperlukan untuk menunjang ketahanan dari plastik yang dihasilkan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa, penambahan plastisizer diperlukan untuk menurunkan kerapuhan plastik berbahan dasar pati. Menurut Rodrigues *et al.* (2006), gliserol merupakan plastisizer yang cocok untuk pembentukan film plastik yang bersifat hidrofilik seperti pati. Hal ini disebabkan gliserol bersifat hidrofilik, sehingga memiliki kemampuan untuk meningkatkan penyerapan air. Gliserol berperan dalam peningkatan fleksibilitas film plastik.

Menurut Rianto *et al.* (2011), penggunaan gliserol pada konsentrasi 5 % dapat meningkatkan kekuatan bending (50,58 MPa) pada film plastik berbahan dasar pati.

Pada tahun 2010, Widyasari melaporkan penggunaan gliserol sebagai plastisizer polimer LDPE. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada perbandingan (%/%) LDPE: onggok termoplastis (60:40) dengan konsentrasi gliserol 30 % menghasilkan plastik komposit terbaik dengan nilai elongasi 16,59 %, *tensile stress at yield* 69,39 kg/cm² dan *tensile stress at break* 66,79 kg/cm². Penelitian lebih lanjut tentang penggunaan gliserol sebagai pemlastis yaitu oleh Harsojuwono (2011), Pradipta dan Maharani (2012). Kedua penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan gliserol berkisar 1 sampai 2 gram akan menghasilkan plastik yang kompatibel.

Menurut Susilawati *et al.* (2011), selain penggunaan plastisizer, komponen yang lain juga diperlukan untuk memperoleh plastik yang kompatibel, salah satunya yaitu penambahan asam akrilat dengan tujuan meningkatkan interaksi antara polimer LDPE dengan pati. Hal ini disebabkan asam akrilat memiliki gugus polar dan non polar yang berfungsi sebagai jembatan penghubung antara kedua fasa polimer yang saling campur. Untuk meningkatkan interaksi antara campuran pati dengan polimer LDPE, modifikasi lebih lanjut diperlukan, misalnya dengan menggunakan asam poliakrilat yang tentunya memiliki gugus polar dan non polar yang lebih banyak jika dibandingkan dengan asam akrilat. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi polietilen sebagai komposit terbiodegradasi dari campuran polietilen densitas rendah (LDPE) dan pati sagu dengan penambahan asam poliakrilat (PAA).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapakah perbandingan komposisi LDPE dan pati sagu pada kuantitas asam poliakrilat yang tetap untuk memperoleh kekuatan tarik optimum dan persen elongasi (%) dari plastik yang dihasilkan?
2. Bagaimanakah hasil karakterisasi campuran polietilen densitas rendah dengan pati sagu menggunakan FTIR?
3. Berapakah persentase biodegradasi dari plastik yang dihasilkan?
4. Berapakah jangka waktu yang diperlukan film plastik untuk habis terurai dalam tanah melalui analisis orde dan konstanta degradasi?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk memodifikasi polietilen sebagai plastik biodegradabel dari campuran polietilen densitas rendah dan pati sagu dengan penambahan asam poliakrilat.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai mekanik (keuatan tarik dan persen elongasi) plastik dari campuran LDPE dan pati sagu dengan perbandingan (b/b) 1,5:1 dan 9:1 pada kuantitas asam poliakrilat yang tetap.
2. Mengkarakterisasi campuran LDPE dan pati sagu dengan menggunakan FTIR.
3. Menentukan persentase biodegradasi plastik dari campuran LDPE dan pati sagu.

4. Menentukan jangka waktu yang diperlukan film plastik untuk habis terurai dalam tanah melalui analisis orde dan konstanta degradasi

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan informasi tentang potensi penggunaan pati sagu dalam pembuatan plastik terbiodegradasi yang dimodifikasi dengan polietilen densitas rendah, jika dibandingkan dengan pati dari berbagai jenis umbi-umbian yang ada. Selain itu, diharapkan agar plastik yang dihasilkan memiliki sifat mekanik, dan biodegradabilitas yang lebih tinggi dalam tanah sehingga mengurangi pencemaran lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik Terbiodegradasi

Sampah plastik rata-rata memiliki porsi sekitar 10 % dari total volume sampah. Dari jumlah tersebut sangat sedikit yang bisa di daur ulang. Bahan dasar plastik tersebut merupakan polimer sintetik yang tidak mudah untuk mengalami proses dekomposisi atau terurai secara sempurna apabila dibuang ke lingkungan. Untuk mengalami proses dekomposisi, dibutuhkan waktu sekitar 300-500 tahun bagi suatu polimer untuk terdekomposisi atau mengalami proses biodegradasi secara sempurna (Akbar, *et al.*, 2013).

Istilah terbiodegradasi sering diartikan sebagai kemampuan suatu komponen-komponen molekuler dari suatu material untuk dipecah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil oleh mikroorganisme hidup. Dengan demikian zat karbon yang terkandung dalam suatu material akan kembali ke dalam bentuk tanah. Secara umum kemasam terbiodegradasi diartikan sebagai film plastik yang memiliki potensi untuk didaur ulang, dan juga dapat dihancurkan secara alami dengan melibatkan mikroorganisme dalam tanah (Widyasari, 2010).

Menurut Chandra *et al.* (1998), secara khusus beberapa lembaga yang memiliki otoritas telah mengeluarkan defenisi mengenai plastik terbiodegradasi, sebagai berikut:

- a. ISO 472: 1998: Plastik terbiodegradasi adalah suatu jenis plastik yang dibuat agar struktur kimiawinya dapat mengalami perubahan yang signifikan dalam suatu kondisi lingkungan tertentu yang diukur dengan metode yang sudah

distandarisasi. Perubahan struktur kimiawi tersebut terjadi secara alamiah oleh mikrobakteri.

- b. *ASTM sub-committee D20.96*: Plastik terbiodegradasi adalah plastik yang mengalami pemutusan ikatan pada rantai utamanya melalui proses kimiawi, biologi dan/atau fisika yang terjadi di lingkungan dan mengakibatkan plastik tersebut menjadi hancur.
- c. *Japanese Biodegradable Plastic Society*: Plastik biodegradabel adalah suatu jenis polimer yang bisa diubah menjadi senyawa yang memiliki berat molekul lebih rendah, dan melalui tahapan proses degradasi dalam waktu relatif singkat yang terjadi secara alamiah oleh mikroorganisme.

Biodegradasi polimer terjadi akibat serangan secara mikrobiologi terhadap material polimer. Mikroorganisme mempunyai kemampuan untuk memproduksi berbagai enzim yang dapat bereaksi dengan polimer. Mikroorganisme menggunakan polimer sebagai sumber nutrisi untuk proses regenerasi. Hal ini memperlihatkan sebuah fenomena bahwa proses biodegradasi terjadi dalam siklus makanan di alam, baik itu secara langsung maupun tidak, cepat maupun berangsur-angsur yang memperlihatkan bahwa material yang ada telah berkurang (Rohaeti, 2009).

Berdasarkan bahan baku yang digunakan, plastik terbiodegradasi dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama, yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia. Kelompok ini merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (*non-renewable resources*). Sedangkan kelompok yang kedua, yaitu kelompok dengan bahan baku produk tanaman seperti pati dan selulosa.

Kelompok ini merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable resources*) (Widyasari, 2010).

Banyak polimer disebut sebagai polimer terbiodegradasi. Untuk memungkinkan terjadinya proses degradasi, polimer harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu mengandung salah satu dari jenis ikatan asetal, amida, ester, memiliki berat molekul yang rendah, dan derajat kristalinitas rendah, serta hidrofilitas yang tinggi. Spesifikasi plastik yang beredar saat ini tidak sesuai dengan kriteria tersebut. Oleh karena itu, optimalisasi terhadap pengaruh berat, kristalinitas, dan hidrofilitas terhadap sifat mekanik, serta peningkatan sifat biodegradabilitas plastik perlu dilakukan, sehingga menjadi produksi ramah lingkungan (Widyasari, 2010).

Menurut Huda dan Firdaus (2007), *Japan Biodegradable Plastic Society* memberikan proyeksi bahwa pada tahun 2010 produksi plastik terbiodegradasi hanya mencapai 1.200.000 ton atau 1/10 dari total produksi plastik yang ada. Sementara berdasarkan data dari Industri Plastik dan Olevin Indonesia (INAPlas), pada tahun 2004, industri plastik sintetik Indonesia mencapai 2,3 juta ton. Tentu pada tahun 2014, produksi dan penggunaan plastik sintetik semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan pemasaran. Hal ini memberikan informasi bahwa plastik yang diproduksi tidak sebanding dengan jumlah produksi plastik terbiodegradasi yang ada saat ini. Oleh karena itu, dengan potensi alam Indonesia yang sangat besar, diharapkan agar industri plastik terbiodegradasi berkembang menjadi industri yang besar di masa yang akan datang.

Menurut Widyasari (2010), film kemasan terbiodegradasi menggunakan tiga kelompok biopolimer sebagai bahan dasar yaitu campuran biopolimer dengan polimer sintesis, polimer mikrobiologi, dan polimer pertanian.

- a. Campuran biopolimer dengan polimer sintetis: Polimer ini terbuat dari campuran granula pati (5-20 %) dan polimer sintetis serta bahan tambahan (prooksidan dan autooksidan). Nilai biodegradabilitas dengan bahan dasar seperti ini terhitung rendah dengan biofragmentasi yang sangat terbatas.
- b. Polimer mikrobiologi (*polyester*): mikroba genus *Alcaligenes* menjadi bahan utama untuk pembuatan biopolimer secara bioteknologi atau fermentasi. Biopolimer jenis ini diantaranya yaitu polihidroksi butirat (PHB), polihidroksi valerat (PHV), asam polilaktat, dan asam poligliserat. Bakteri, jamur dan alga mampu membuat bahan ini untuk terdegradasi secara sempurna. Namun harga kemasan terbiodegradasi terhitung mahal karena proses produksi bahan dasar terhitung rumit.
- c. Polimer pertanian: biopolimer jenis ini diperoleh secara murni dari hasil pertanian. Polimer jenis ini termasuk selulosa (bagian dari dinding sel tanaman), *cellophane*, *celluloacetat*, *chitin* (pada kulit *Crustaceae*), pullulan (hasil fermentasi pati oleh *Pullularia pullulans*). Sifat termoplastik yang dimiliki oleh polimer pertanian menjadi potensi untuk pembuatan film kemasan. Polimer jenis ini menjadi unggul karena tersedia sepanjang tahun (*renewable*) serta mudah hancur secara alami (terbiodegradasi). Kelemahan dari polimer jenis ini yaitu dalam hal penyerapan air yang sangat tinggi dan tidak dapat dilelehkan tanpa bantuan zat aditif.

Menurut Widyasai (2010), Indonesia merupakan Negara yang kaya akan sumber serat alami, oleh karena itu plastik terbiodegradasi berbahan baku serat perlu dikembangkan karena ketersediaannya yang melimpah, harga yang relatif murah, dan tingkat biodegradabilitas yang tinggi. Vilpoux dan Averous (2006), melaporkan bahwa potensi penggunaan pati sebagai plastik terbiodegradasi sangat besar yaitu sekitar 80-95 % dari produksi plastik terbiodegradasi yang ada jika dibandingkan dengan plastik konvensional. Menurut Lim (1999), perbedaan antara plastik konvensional, plastik campuran, dan plastik terbiodegradasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan antara plastik konvensional, plastik campuran, dan plastik terbiodegradasi

| Pengamatan | Plastik Konvensional | Plastik Campuran | Plastik Terbiodegradasi |
|--------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| Komposisi | Polimer sintetik | Polimer sintetik dan polimer alam | Polimer alam |
| Sifat dan bahan baku | Tidak dapat diperbaharui | Sebahagian dapat diperbaharui | Dapat diperbaharui |
| Sifat mekanik dan fisik | Sangat baik dan bervariasi | Bervariasai | Baik dan bervariasi |
| Biodegradabilitas | Tidak ada | Rendah | Tinggi |
| Kompostabilitas | Tidak ada | Rendah | Tinggi |
| Hasil pembakaran | Stabil | Agak stabil | Kurang stabil |
| Contoh | Polipropilena, Polietilena, Polistirena | PE +Pati PE + Selulosa | <ul style="list-style-type: none"> • Poli asam alaktat (PLA) • Polikaprolakton (PCL) • Polihidroksi alkanoat (PHA) • Polihidroksi butir-at-valerat (PHB-V) |

Sumber: Lim (1999)

2.2 Polietilen (PE)

Plastik dibagi menjadi dua klasifikasi utama berdasarkan pertimbangan ekonomis dan kegunaannya, yakni plastik komoditi dan plastik teknik. Plastik komoditi pada prinsipnya terdiri atas empat jenis polimer yakni polipropilen (PP), Polietilen (PE), polivinil klorida (PVC), dan polistirena (PS). Plastik dalam aplikasinya bersaing dengan logam, keramik, dan gelas (Stevens, 2007).

Polietilen merupakan suatu polimer yang terbentuk dari unit-unit berulang dari monomer etilena. Polietilena disebut juga polietena, politena atau etena homopolimer. Polietilena memiliki berat molekul 1500-100.000 dengan perbandingan C (karbon) 85,7 % dan H (hidrogen) 14,3 %, dapat dibuat melalui proses polimerisasi gas etilena pada tekanan 1500-50.000 psi, pada suhu 350 °C menggunakan inisiator peroksida yang menghasilkan polimer *amorf*, dan rantai panjang (Hamid, 2008).

Polietilen termasuk salah satu dari jenis poliolefin yang memiliki sifat-sifat yang sangat bermanfaat antara lain mudah dicetak, ringan, dan harga yang murah. Hal ini mengakibatkan polimer jenis polietilen banyak digunakan secara komersial (Suka, 2006). Menurut Deswita *et al.* (2007) polietilen merupakan termoplastik yang kuat, ringan dan bersifat semi kristalin yang banyak digunakan sebagai bahan dasar pada industri plastik.

Polietilen digolongkan menjadi empat jenis berdasarkan tekanannya yaitu tinggi, medium, dan rendah, yang menghasilkan produk yang berbeda densitasnya yaitu *High Density Polyethylene* (HDPE), *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE), *Low Density Polyethylene* (LDPE), dan *Medium Density Polyethylene* (MDPE). Penggunaan polietilen bergantung pada jenisnya, baik itu dalam kesehatan maupun dalam bidang plastik kemasan. Akan tetapi penggunaan

tersebut masih menjadi kendala utama dalam pengolahannya sebagai sampah masyarakat (Widyasari, 2010).

Menurut Ebewele (2000), jenis polietilen yang paling sering digunakan adalah jenis LDPE. Mayoritas LDPE digunakan sebagai film tipis untuk kemasan. Kegunaan lain yaitu termasuk kawat dan isolasi kabel, pelapis, dan produk injeksi. Berat molekul LDPE biasanya berkisar antara 6000 dan 40.000. Indeks lelehan digunakan sebagai ukuran yang tepat untuk berat molekul rata-rata. Lelehan indeks menunjukkan berat dalam gram dari polimer yang didekstruksi melalui kapiler standard pada suhu 190 °C selama 10 menit.

Sifat fisik LDPE bergantung pada tiga faktor struktural yaitu derajat kristalinitas, berat molekul, dan distribusi berat molekul. Kepadatan polietilen ditentukan oleh jumlah percabangan rantai pendek. Sifat kekakuan, kekuatan tarik, kekuatan sobek, dan ketahanan kimia yang bergantung pada kristalinitas meningkat dengan meningkatnya kepadatan molekul. LDPE dapat dilarutkan dengan menggunakan pelarut seperti klorobenzena. Sedangkan untuk pembentukan radikal bebas dapat digunakan oksigen atau peroksida misalnya benzoil atau dietil. Untuk proses inisiasi rantai polimer dapat digunakan inisiator berupa azo atau hidrogen peroksida. Pembentukan radikal bebas dan inisiasi rantai polimer sangat penting untuk meningkatkan sifat fisik dari polimer yang dihasilkan utamanya jika LDPE dibuat dengan campuran pati (Ebewele, 2000). Peroksida yang paling umum digunakan adalah benzoil peroksida yang mengalami homolisis termal untuk membentuk radikal-radikal benzoiloksi. Dua jenis inisitaor umum lainnya adalah diaetil peroksida, dan di-*t*-butil peroksida (Stevens, 2007).

Menurut Cowd (1991), polietilen jenis LDPE bersifat lentur, ketahanan listrik yang baik, kedap air, lunak, dan bersifat absorpsi. Polietilen densitas rendah merupakan jenis polietilen yang bersifat elastis, hal ini dikarenakan kristalinitasnya yang rendah. Karena sifat-sifat tersebut, LDPE banyak digunakan sebagai polimer komposit. Surdia dan Saito (1985), menyatakan bahwa beberapa sifat dasar dari turunan polietilen dapat dilihat berdasarkan data yang diperlihatkan oleh Table 2.

Tabel 2. Perbandingan Sifat LLDPE, LDPE, MDPE, dan HDPE.

| Sifat | LLDPE | LDPE | MDPE | HDPE | SATUAN |
|-----------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|
| Massa Jenis | 0.92 | 0.92 | 0.93-0.94 | 0.95-0.96 | g/cm ³ |
| Kristalinitas | 35-60 | 65 | 75 | 85-95 | % |
| Titik Cair | 120-160 | 105 | 118 | 124-127 | °C |
| Kekuatan Tarik | 61-194 | 144 | 175 | 245-235 | Kgf/cm ² |
| Elongasi | 500 | 500 | 300 | 100 | % |
| Kekuatan Impak | <i>No break</i> | 42 | 21 | 17 | <i>Izod ditactic</i> |

Leja dan Lewandowicz (2010), serta Surdia dan Saito (1985), menyatakan bahwa polietilen memiliki sifat mekanik yang baik, akan tetapi sifat biodegradasi sangat rendah, bahkan hampir tidak ada. Menurut Deswita *et al.* (2007), pengembangan melalui proses modifikasi polietilen diperlukan sebagai polimer komposit terbiodegradasi untuk bahan kemasan.

Matel *et al.* (2006), menemukan bahwa komposit LDPE yang diperkuat dengan modifikasi serat rumput dengan 1 % peroksida telah meningkatkan kekuatan tarik dan modulus young dari komposit tersebut. Dengan jumlah pengisi lebih dari 60 % dalam komposit LDPE tersebut maka sifat-sifat mekaniknya juga akan meningkat secara signifikan. Penemuan lain telah dilakukan oleh Habibi *et al.* (2008), yang mengemukakan bahwa komposit LDPE yang diperkuat

dengan serat-serat selulosa berukuran 60 mesh telah meningkatkan derajat kristalinitas komposit dengan penambahan asam stearat sebagai bahan pengisi. Pada tahun 2011, Susilawati *et al.* melakukan penelitian tentang pembuatan plastik terbiodegradasi berbahan dasar pati dengan menggunakan benzoil peroksida dan asam akrilat. Penambahan Benzoil peroksida bertujuan untuk pembentukan radikal bebas pada polietilen. Penelitian lain yang menggunakan benzoil peroksida sebagai inisiator dalam pembentukan radikal bebas yaitu penelitian yang telah dilakukan oleh Supri (2003), dan Siregar (2009). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, diperoleh bahwa semakin banyak benzoil peroksida yang ditambahkan, maka semakin kecil viskositas intrinsik, berat molekul, dan titik leleh dari polimer.

2.3 Radikalisasi dan Pembentukan Polimer Baru

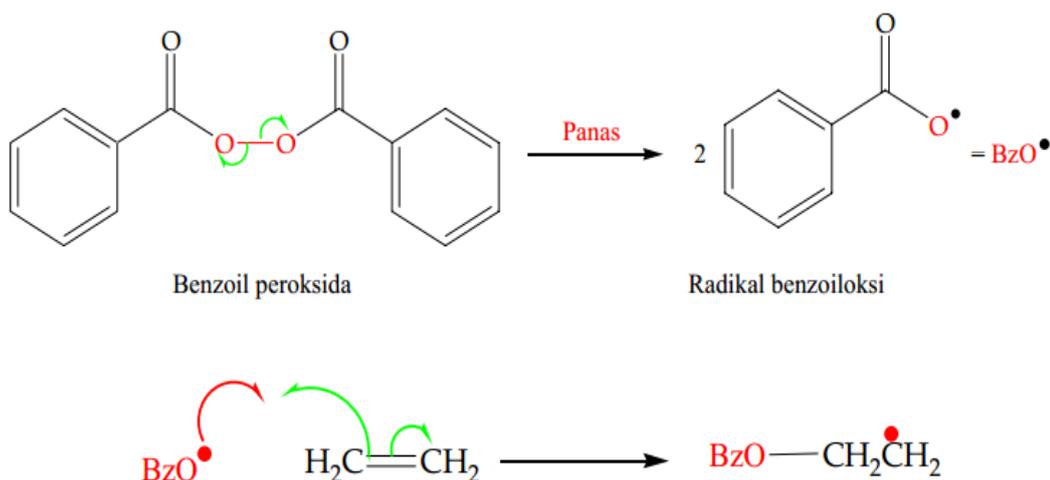
Suatu polimer baru terbentuk melalui radikalisasi polimer. Polimerisasi radikal bebas adalah metode polimerisasi dimana suatu polimer terbentuk dari penambahan berturut-turut radikal bebas atau atom-atom membentuk molekul. Radikal bebas dapat dibentuk melalui sejumlah mekanisme yang berbeda, biasanya melibatkan molekul inisiator terpisah. Setelah terbentuknya radikal bebas monomer unit, rantai polimer tumbuh pesat dengan penambahan polimer lain ke dalam komponen yang membentuk radikal bebas (proses sintesis) sehingga terbentuk rantau polimer yang baru (Kriheldorf *et al.* 2005).

Menurut Supri (2013), sintesis polimer melalui reaksi polimerisasi bertujuan untuk menciptakan polimer baru dengan struktur rantai tertentu, sehingga menghasilkan bahan polimer dengan karakteristik tertentu sesuai dengan yang diinginkan. Untuk menyatakan hubungan antara struktur dan sifat mekanis

serta membakukan mutu bahan polimer diperlukan teknik analisis dan karakterisasi yang cermat dan teliti. Proses polimerisasi melibatkan beberapa tahap, yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi.

1. Inisiasi

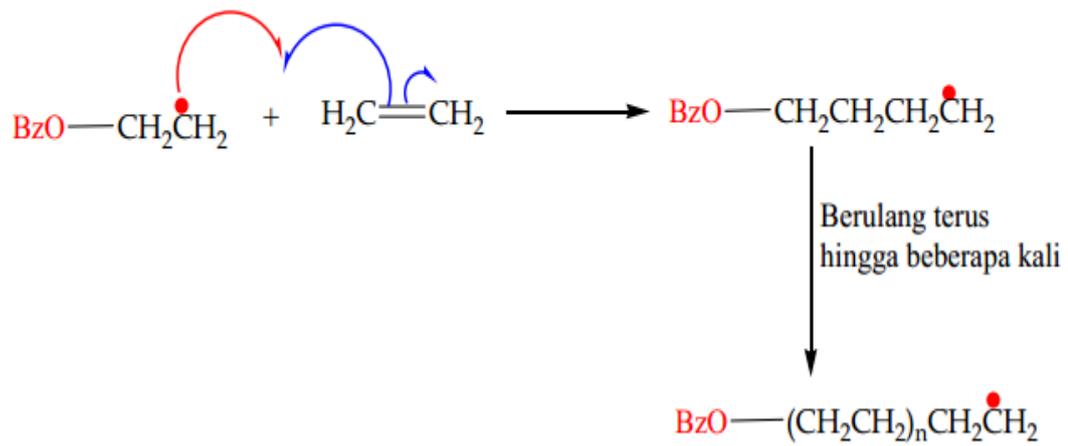
Inisiasi merupakan proses pemutusan ikatan pada suatu polimer untuk membentuk radikal bebas. Beberapa inisiator yang sering digunakan yaitu golongan peroksida seperti dikumil peroksida, benzoil peroksida, maupun hidrogen peroksida. Pada tahap ini, reaksi dimulai ketika radikal dibentuk dari katalis. Contohnya, benzoil peroksida digunakan sebagai inisiator, ikatan O-O dipecah secara homolitik dengan pemanasan membentuk radikal benzoiloksi. Radikal benzoiloksi ini kemudian menyerang ikatan rangkap pada etilen menghasilkan radikal karbon. Satu elektron dari ikatan karbon-karbon digunakan untuk berpasangan dengan elektron pada radikal benzoiloksi untuk membentuk ikatan C-O, dan satu elektron lainnya tetap tinggal pada karbon.



Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Radikal Bebas

2. Propagasi

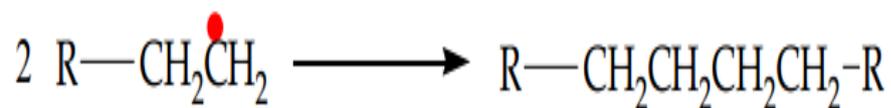
Propagasi merupakan tahap penggabungan suatu polimer. Polimerisasi terjadi ketika radikal karbon yang terbentuk dari tahap inisiasi bergabung dengan polimer yang lain dan membentuk radikal baru. Pengulangan proses ini terus berlangsung hingga ratusan bahkan ribuan kali dan membentuk rantai polimer baru.



Gambar 2. Mekanisme Propagasi

3. Terminasi

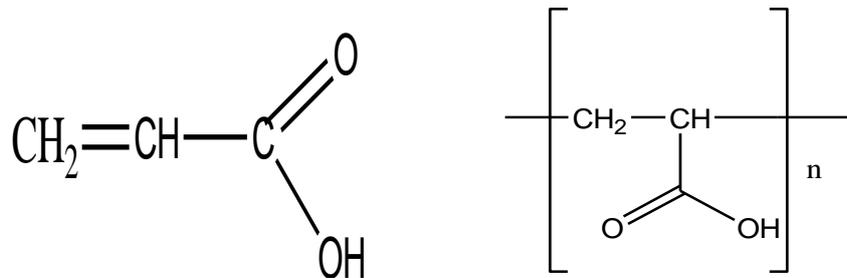
Terminasi merupakan tahap terakhir dalam pembentukan suatu polimer baru. Reaksi terhenti ketika dua radikal bergabung satu sama lain. Polimer dibentuk melalui penggabungan berulang dari molekul-molekul kecil yang disebut monomer. Di alam banyak sekali terdapat polimer, misalnya selulosa yang merupakan penggabungan molekul-molekul gula.



Gambar 3. Pembentukan Polimer Baru (Tahap Akhir/Terminasi)

2.4 Asam Poliakrilat (PAA)

Asam poliakrilat merupakan salah satu turunan dari asam akrilat. Menurut Susilawati (2011), asam akrilat berfungsi sebagai jembatan penghubung karena memiliki gugus polar dan nonpolar. Asam akrilat mampu meningkatkan interaksi antara LDPE dan pati sehingga menghasilkan plastik yang kompatibel. Data tersebut dapat dijadikan acuan untuk penggunaan asam poliakrilat karena memiliki gugus polar dan nonpolar yang lebih banyak dibanding dengan asam akrilat. Perbandingan struktur asam akrilat dan asam poliakrilat dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. (a) Struktur Asam Akrilat, (b) Asam Poliakrilat, (Ebewele, 2000)

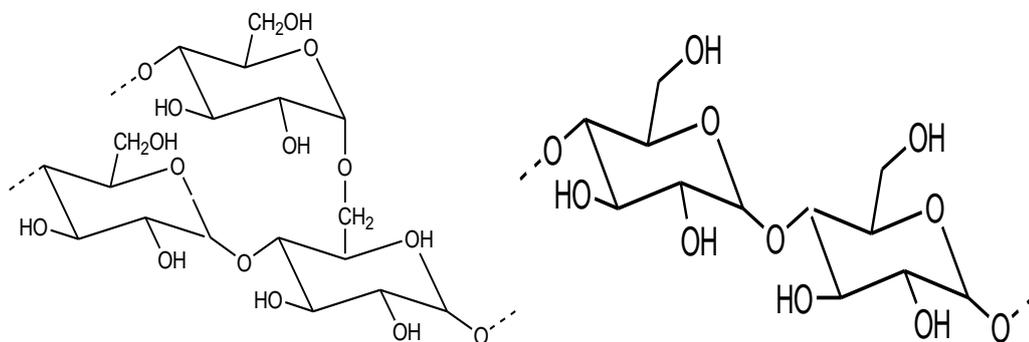
Menurut Ebewele (2000), kelarutan asam poliakrilat dalam minyak dan hidrokarbon meningkat dengan meningkatnya panjang gugus samping. Poliakrilat telah digunakan dalam produksi tekstil, dan produksi perekat. Poliakrilat memberikan kekerasan, dan kekuatan yang diperlukan.

2.5 Pati/ Selulosa Sagu

Pati (amilum) mempunyai rumus molekul (C₆H₁₀O₅)₁₀ banyak ditemukan dalam tanaman, seperti biji, umbi, akar, dan jaringan pada tanaman (Pasaribu, 2009). Komponen-komponen yang menyusun pati adalah amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan komponen pati yang dapat larut dalam air. Amilosa terdiri atas satuan glukosa yang tergabung melalui ikatan

α -(1,4)-D-glukosa. Amilosa memberikan sifat keras, dan memiliki berat molekul rata-rata 10.000-60.000. Sedangkan amilopektin merupakan komponen pati yang tidak larut dalam air dingin. Amilopektin memiliki sifat lengket, dan mempunyai berat molekul 60.000-100.000 (Zulfa, 2011). Amilopektin terdiri dari satuan glukosa yang bergabung melalui ikatan α -(1,4)-D-glukosa dan α -(1,6)-D-glukosa (Ben, 2007). Struktur molekul amilosa dan amilopektin ditunjukkan dalam

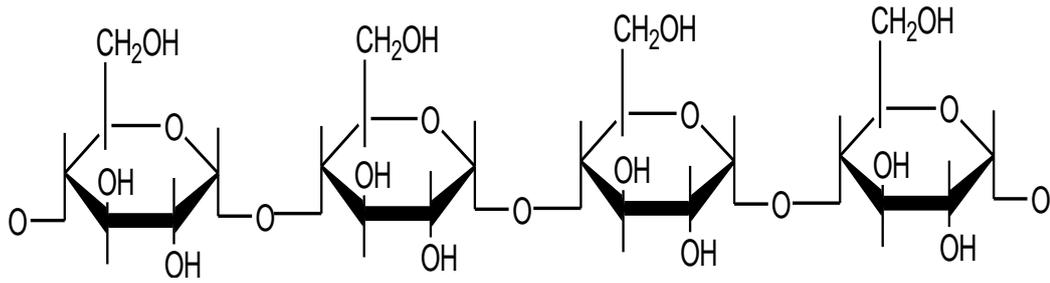
Gambar 5.



Gambar 5. (a) Struktur Amilopektin, (b) Asam Amilosa (Marbun, 2012)

Menurut Wahyuntas (1992), konsentrasi amilosa yang tinggi sangat penting dalam pembentukan gel, serta dapat menghasilkan lapisan tipis (film) yang baik dari pada amilopektin. Ditambahkan oleh Tharanathan (2003), Kandungan amilosa merupakan komponen yang paling berperan dalam menentukan sifat film yang dihasilkan, walaupun karakteristik akhir dari film juga dapat dipengaruhi oleh interkasi amilopektin dan plastisizer.

Pada dasarnya pati ataupun tanaman mengandung selulosa. Menurut Hamid (2008), selulosa adalah polimer kondensasi linier yang terdiri dari unit-unit D-anhidroglukopiranosida dan terikat bersama dengan β -1,4-glikosida seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Struktur Molekul dari selulosa (Hamid, 2008).

Pati sagu berperan penting dalam bidang polimer. Menurut Jading, *et al.* (2011), komposisi sagu per 100 gram dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Sagu Per 100 gram

| Komponen | Pati Sagu Basah | Pati Sagu Kering dengan alat pengering CFFB Surya Biomassa | Pati Sagu Kering Secara Konvensional |
|---------------------------|------------------------|---|---|
| Kadar air (% b.b) | 42.51 | 13.42 | 13.69 |
| Kadar abu (% b.k) | 0.20 | 0.24 | 0.20 |
| Kadar Lemak (% b.k) | 0.63 | 0.52 | 0.76 |
| Kadar Protein (% b.k) | 0.45 | 0.48 | 0.46 |
| Kadar Karbohidrat (% b.k) | 56.22 | 85.35 | 84.89 |
| Enrgi (kkal/100 g) | 232.31 | 347.96 | 348.28 |

Beberapa peneliti telah berhasil menciptakan plastik berbahan dasar pati. Pada tahun 2007, Karmila melakukan penelitian tentang pembuatan bioplastik dari pati sagu dan khitosan dengan pemlastis berupa gliserol. Penelitian ini belum memberikan hasil yang cukup baik. Hal ini karena, kekatan tarik yang dihasilkan tidak memberikan pengaruh yang begitu besar untuk standar bioplastik. Penelitian lain yang menggunakan pati sagu telah dilakukan oleh Wiguna (2009), dengan kombinasi pati sagu dan sawit. Selain sagu, berbagai penelitian tentang bioplastik berbahan pati banyak dilakukan, dimana plastik yang digunakan berbahan dasar singkong-ubi jalar (Huda dan Firdaus, 2007). Penelitian tentang pati sebagai

bioplastik rata-rata belum memberikan hasil yang memuaskan. Bioplastik yang baik tidak hanya dilihat dari sudut pandang kemampuan untuk terdegradasi dengan waktu yang relatif singkat dalam tanah, akan tetapi, dilihat dari sifat mekaniknya seperti kekuatan tarik, ketahanan suhu, dan berbagai sifat fisika lainnya.

2.6 Gliserol

Gliserol atau 1,2,3-propanteriol merupakan salah satu senyawa organik yang tidak berwarna, tidak berbau, dan higroskopis dengan rumus kimia $\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$. Gliserol dapat larut dalam air dan etanol. Sifat dari gliserol yang mudah menyerap air dan kandungan energi yang dimilikinya membuat gliserol banyak digunakan pada bidang industri (Afrozi, 2010).

Pada pembuatan biokomposit, gliserol memiliki peranan yang cukup penting. Pati merupakan polimer alam dalam bentuk butiran yang tidak dapat diproses menjadi material termoplastik karena kuatnya ikatan hidrogen intramolekul. Namun dengan adanya penambahan air, dan plastisizer (misalnya gliserol) maka ikatan hidrogen tersebut dapat diputuskan, sehingga pati dapat diolah menjadi polimer terbiodegradasi. Plastisizer memacu proses pencetakan, dan meningkatkan fleksibilitas produk. Selain itu, pencampuran sempurna diperlukan untuk memperoleh distribusi yang homogen (Tjong, 2006). Menurut Susilawati *et al.* (2011), penambahan plastisizer berguna untuk menurunkan sifat kaku dari pati. Plastisizer adalah cairan yang mempunyai titik didih tinggi, sehingga ketika dicampurkan dengan suatu polimer akan memberikan sifat yang lembut dan fleksibel. Menurut Bader dan Goritz (1997), dalam Susilawati *et al.* (2011), penambahan plastisizer material pada material berbahan

dasar pati dapat menurunkan kerapuhan oleh kekuatan intramolekular yang tinggi, mencegah keretakan material selama penanganan dan penyimpanan.

Gliserol dengan polimer berbasis pati memiliki hubungan yang kuat. Kadar gliserol dibawah 10 % wt, menyebabkan polimer yang terbentuk memiliki struktur yang sangat rapuh. Namun pada kadar lebih daripada 20 % wt, amilopektin pada film menunjukkan sifat yang tidak kuat dan tidak fleksibel (Myllarinen, 2001).

Gliserol berperan dalam pembentukan sifat mekanik. Sifat mekanik suatu material berupa kuat tarik dan elongasi menunjukkan kekuatan material. Penggunaan suatu material di dalam industri maupun kehidupan sehari-hari sangat bergantung pada sifat mekanik material. Sifat mekanik meliputi kuat tarik yang tinggi dan elastisitas yang baik (Muthawali, 2011).

Rodriguez *et al.* (2006) menambahkan bahwa gliserol merupakan plastisizer yang bersifat hidrofilik, sehingga cocok untuk bahan pembentuk film yang bersifat hidrofilik seperti pati. Gliserol dapat meningkatkan sorpsi molekul polar seperti air. Selain itu gliserol memiliki kemampuan dalam meningkatkan fleksibilitas film. Menurut Susilawati *et al.* (2011), gliserol mengandung gugus -OH yang mampu tersubstitusi ke dalam pati, dengan kata lain gliserol mampu membentuk interaksi ikatan hidrogen sehingga perubahan struktur ini dapat memperbaiki sifat poliblen yang dihasilkan. Selain itu, Menurut Syamsu *et al.* (2008), pemlastis tidak hanya berpengaruh pada proses pembuatan film plastik berbahan dasar pati. Hidrofilik akan meningkatkan laju biodegradasi, dan penambahan konsentrasi pemlastis hirofilik akan meningkatkan laju degradasi enzimatik. Penambahan pemlastis yang semakin banyak akan meningkatkan

jumlah gugus polar (OH) pada sampel, dan mengakibatkan adanya interaksi antara gugus polar dengan molekul air pada proses hidrolisis, proses yang menyebabkan terjadinya interaksi antara gugus polar yang terdapat pada pemlastis dengan molekul air, menyebabkan mikroorganisme pendegradasi yang terdapat pada media akan lebih mudah berinteraksi dengan permukaan polimer, dan memiliki akses yang lebih besar untuk melekat pada permukaan polimer, sehingga proses biodegradasi dapat berjalan lebih cepat.

Bahan pemlastis memiliki peranan penting dalam pembuatan plastik berbahan dasar pati. Pemlastis adalah bahan organik dengan bobot molekul rendah yang digunakan untuk menurunkan kekuatan dari polimer sekaligus meningkatkan fleksibilitas dan ekstensibilitas polimer (Julianti dan Nurmah, 2006). Pada umumnya bahan yang bersifat kaku karena suhu transisi gelas (T_g) di atas suhu ruang, dan struktur molekul bahan yang sangat kristalin. Efek penambahan pemlastis dapat mengurangi kristalinitas polimer, dan menurunkan suhu transisi gelas. Namun demikian adanya penambahan pemlastis dapat berpengaruh negatif terhadap sifat mekanik plastik, yakni memberikan sifat *soft* dan *weak* (Kalambur, 2006).

Molekul pemlastis akan mengganggu kekompakan pati, sehingga menurunkan interaksi intermolekuler dan meningkatkan mobilitas polimer. Selanjutnya mengakibatkan peningkatan *elongation* dan penurunan *tensile strength* seiring dengan peningkatan konsentrasi gliserol. Penurunan interaksi intermolekuler dan peningkatan mobilitas molekul akan memfasilitasi migrasi molekul uap air (Rodriguez, *et al.*, 2006).

2.7 Sifat Fisiko-Kimia Plastik Terbiodegradasi

a. Ketebalan *film*

Sifat fisik dan mekanik dari suatu edibel film sangat dipengaruhi oleh ketebalan dari edibel film itu sendiri. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi ketebalan edibel film adalah konsentrasi padatan terlarut pada larutan pembentuk film dan ukuran pelat pencetak. Semakin tinggi konsentrasi padatan terlarut, maka ketebalan film akan meningkat. Sebagai kemasan, semakin tebal edibel film maka kemampuan penahannya semakin besar, sehingga umur simpan produk akan semakin panjang (Hugh, *et al.*, 1993).

Menurut Zhang dan Han (2006), beberapa penelitian dengan menggunakan monosakarida dan poliols sebagai plastisizer memperlihatkan bahwa ketebalan film meningkat sesuai dengan meningkatnya plastisizer dari 4,34-10,87 mmol/g dan berat plastisizer dari 92,09-182,2. Edibel film dengan gliserol sebagai plastisizer mempunyai ketebalan paling tipis jika dibandingkan dengan yang lainnya. Hal ini dapat terjadi karena gliserol memiliki berat molekul yang paling kecil, dan juga konsentrasi padatan terlarut paling rendah.

Edibel film yang terlalu tebal dapat memberikan efek yang merugikan jika digunakan sebagai plastik kemasan. Hal ini karena pelapis yang tebal dapat membatasi pertukaran gas hasil respirasi, hal ini menyebabkan terjadinya akumulasi etanol yang cukup tinggi, sehingga penurunan kualitas makanan juga semakin cepat (Howard dan Dewi, 1995).

b. *Tensile strength* (MPa) / Kekuatan Renggang Putus (%), dan Elongasi (%)

Untuk mengukur kekuatan film secara spesifik (*tensile strength*), kekuatan tarik maksimum yang dapat dicapai sampai film tetap bertahan sebelum

putus/sobek dilakukan. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya yang diperlukan untuk mencapai tarikan maksimum pada setiap luas area film. Sifat *tensile strength* bergantung pada konsentrasi dan jenis bahan penyusun edibel film terutama sifat kohesi struktural. Kohesi struktural adalah kemampuan polimer untuk menentukan kuat atau tidak suatu ikatan antar rantai molekul dalam polimer itu sendiri (Krochta dan Mulder, 1997).

Xu *et al.* (2005), menyatakan bahwa film dengan bahan dasar pati bersifat rapuh dengan adanya amilosa, sehingga semakin tinggi konsentrasi pati akan menurunkan fleksibilitas film yang dihasilkan. Sifat ini dapat dihilangkan dengan menggunakan plastisizer yang dapat meningkatkan elastisitas edibel film dengan bahan dasar pati.

c. Daya Larut

Daya larut merupakan salah satu sifat fisik edibel film yang menunjukkan persentase berat kering terlarut setelah dicelupkan dalam air selama 24 jam. Daya larut film sangat ditentukan oleh sumber bahan dasar pembuatan film. Edibel film berbahan dasar pati tingkat kelarutannya dipengaruhi oleh ikatan gugus hidroksi pati. Makin lemah ikatan gugus hidroksil pati, makin tinggi kelarutan film. Edibel film dengan daya larut yang tinggi menunjukkan film tersebut mudah dikonsumsi (Krisna, 2011).

Kadang-kadang pati mengalami masalah terhadap kelarutannya, dalam hal ini setelah mengalami gelatinisasi. Kelarutan edibel film juga dipengaruhi oleh gliserol, selain sebagai plastisizer. Seperti yang dinyatakan oleh Mehyar dan Han (2004), bahwa kelarutan pati beras dan pati kacang masing-masing sebesar 44 % dan 32 %, yang disebabkan kacang merah

penggabungan komponen terlarut dengan gliserol. Sedangkan Flores *et al.* (2007), menyatakan bahwa kelarutan film adalah sama pada semua cara (metode) pembuatan film, tetapi kelarutan meningkat secara signifikan jika menggunakan kalium sorbat dalam film berbahan dasar pati tapioka.

2.8 Tingkat Keamanan Plastik Terbiodegradasi

Teknologi kemasan plastik terbiodegradasi adalah salah satu upaya yang dilakukan untuk keluar dari permasalahan penggunaan kemasan plastik yang non-degradabel (plastik konvensional), karena semakin berkurangnya cadangan minyak bumi, kesadaran dan kepedulian terhadap lingkungan serta resiko kesehatan. Indonesia sebagai negara yang kaya sumber daya alam (hasil pertanian), potensial menghasilkan berbagai bahan biopolimer, sehingga teknologi kemasan plastik terbiodegradasi mempunyai prospek yang baik (Darni, *et al.*, 2008).

Tingkat keamanan bioplastik terhadap pangan jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan plastik non-degradabel, karena bahan bakunya yang alami, dan diambil dari senyawa-senyawa dalam tanaman misalnya pati, selulosa, dan lignin serta pada hewan seperti kasein, protein dan lipid. Sedangkan pada plastik *non-degradable* memiliki sifat karsinogenik dikarenakan adanya migrasi residu monomer yang masuk ke dalam makanan sehingga berbahaya bagi kesehatan. Selain itu, kelebihan lain yang dimiliki oleh plastik terbiodegradasi yaitu tingkat permeabilitas penguapan O₂ dan uap air yang lebih besar dibanding plastik non-degradabel, sehingga dapat menjaga kesegaran buah, dan sayuran kemasan tiga hari lebih lama. Kelebihan lain dari penggunaan plastik terbiodegradasi adalah dalam hal kemampuan untuk mereduksi gas buang CO₂

sebesar 50 % (Gumanti, 2011). Tabel 4 menunjukkan perbandingan tingkat keamanan plastik terbiodegradasi dan plastik non-terbiodegradasi.

Tabel 4. Perbandingan tingkat keamanan plastik terbiodegradasi dan plastik non-terbiodegradasi.

| Tingkat Keamanan | Plastik non-terbiodegradasi | Plastik Terbiodegradasi |
|-------------------------------|--|---|
| Waktu penguraian secara alami | 500-1000 tahun | 8-12 minggu |
| Terhadap panas | Untuk kode plastik 1, 2, 3, 4, 6, 7 dapat melepaskan zat kimia yang bersifat karsinogenik (65-80 °C). Sedangkan kode 5, aman bagi makanan dan tahan pada suhu relatif tinggi (hingga 140 °C). (BPOM, 2008) | Tidak mengeluarkan zat karsinogenik karena bahan dasarnya yang terbuat dari pati/selulosa (tahan hingga 121,91-130,04 °C). (Zhang <i>et al.</i> 2006) |
| Bahan baku pembuatan | Polimer sintetik, misalnya: polipropilen (PP), polietilen (PE), polivinil klorida (PVC), polistiren (PS), dan polietilen tereftalat (PET). (Gumanti, 2011) | Senyawa-senyawa dalam tanaman misalnya pati, selulosa, dan lignin serta pada hewan seperti kasein, protein, dan lipid. (Gumanti, 2011) |

2.9 Jumlah Polutan Yang Dilepaskan

Plastik Terbiodegradasi adalah plastik yang akan terurai di alam dengan bantuan mikroorganisme. Biodegradasi dari plastik dapat dicapai dengan mengaktifkan mikroorganisme di lingkungan untuk metabolisme struktur molekul film plastik. Plastik berbahan dasar tepung aman bagi lingkungan. Sebagai perbandingan, plastik tradisional membutuhkan waktu sekitar 50 tahun agar dapat terdekomposisi secara alamiah, sementara plastik terbiodegradasi dapat terdekomposisi 1 hingga 20 kali lebih cepat. Hasil degradasi plastik ini dapat digunakan sebagai makanan hewan ternak atau sebagai pupuk kompos. Berbeda dengan plastik konvensional, plastik biodegradable yang terbakar tidak menghasilkan senyawa kimia berbahaya. Kualitas tanah akan meningkat

dengan adanya plastik terbiodegradasi, karena hasil penguraian mikroorganisme meningkatkan unsur hara dalam tanah (Sanjaya, *et al.*, 2012). Menurut Yuki dan Sakamoto (2012), kandungan karbon pada plastik konvensional paling besar (sekitar 92 %) sedangkan biodegradable plastik lainnya hanya sekitar 55 %.

2.10 Analisa Gugus Fungsi Polimer dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Jika seberkas cahaya inframerah dilewatkan pada suatu sampel polimer, maka beberapa frekuensinya akan diabsorpsi oleh molekul, sedangkan frekuensi lainnya ditransmisikan. Transisi yang terlibat pada absorpsi IR berhubungan dengan perubahan vibrasi yang terjadi pada molekul. Jenis ikatan yang ada pada molekul polimer yaitu C-C, C=C, C-O, C=O, memiliki frekuensi vibrasi yang berbeda-beda. Adanya ikatan tersebut dalam molekul polimer dapat diketahui melalui identifikasi frekuensi karakteristik sebagai puncak absorpsi dalam spectrum IR (Rohaeti, 2005). Menurut Thermo (2001), spektrum inframerah berupa vibrasi dari suatu sampel menunjukkan puncak absorpsi yang sesuai dengan frekuensi dari getaran yang dihasilkan antar atom dari sampel.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kantong plastik jenis polietilen densitas rendah (LDPE), pati sagu, ksilena p.a, asam poliakrilat (PAA), Hidrogen peroksida (H_2O_2), gliserol, akuades, dan tanah kompos.

3.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas yang umum digunakan di laboratorium, refluks leher tiga, magnetik stirrer, termometer, ayakan 100 mesh, oven, neraca digital, mikrometer sekrup, FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), *compression molding* (alat cetak tekan) dan alat uji sifat mekanik (mesin instron standar ASTM-D638).

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Maret 2016 sampai bulan Juni 2016 di Laboratorium Kimia Organik, Laboratorium Kimia Terpadu Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, dan Laboratorium Fisika Mekanik Balai Industri dan Hasil Perkebunan Makassar.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Pati Sagu

Serbuk pati sagu kering dan kasar dihaluskan dengan mortal, dan selanjutnya diayak dengan menggunakan ayakan 100 mesh.

3.4.2 Preparasi Alat Cetak Film

Pelat seng dipotong sebanyak 2 buah dengan ukuran 10 cm x 10 cm. Selanjutnya, 1 buah pelat dilakban pada garis pinggirnya. Kemudian 1 buah pelat lainnya digunakan sebagai penutup.

3.4.3 Pembuatan Film Plastik

Ditimbang LDPE sebanyak 9 gram, sampel tersebut dimasukkan ke dalam alat refluks, dan ditambahkan pelarut ksilena sebanyak 100 mL. Setelah itu, campuran dipanaskan pada suhu 90 °C sampai semua polietilena larut. Kemudian ke dalam campuran ditambahkan hidrogen peroksida sebanyak 3 mL, setelah ±1 menit asam poliakrilat sebanyak 3 mL ditambahkan. Selanjutnya sebanyak 1 gram pati sagu dimasukkan, dan 3 mL gliserol ditambahkan, kemudian campuran dihomogen. Selanjutnya, campuran dituang ke dalam gelas kimia 250 mL, dan dimasukkan ke dalam lemari asam sampai semua pelarutnya menuap. Kemudian, campuran dimasukkan ke dalam oven untuk menguapkan pelarut yang tersisa. Hasil yang diperoleh berupa poliblen kering. Prosedur yang sama dilakukan dengan mengubah variasi perbandingan (b/b) LDPE: pati sagu sebanyak 1,5:1.

3.4.4 Pencetakan Film Plastik

Langkah selanjutnya pencetakan film plastik dilakukan. Larutan yang telah terbentuk dicetak dengan menggunakan mesin press (*compression molding*)

sampai diperoleh ketebalan 0,1 mm. Film plastik yang dihasilkan kemudian dipotong sesuai dengan standard ASTM-D638. Perlakuan ini sama untuk semua perbandingan komposisi LDPE dan pati sagu. Hasil yang diperoleh dikarakterisasi dengan dengan alat uji mekanik dan uji biodegradasi. Hasil uji tarik yang optimum dikarakterisasi dengan FTIR.

3.4.5 Karakterisasi

3.4.5.1 Uji Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik bahan polimer (film plastik) dilakukan dengan menggunakan mesin *instron* standar ASTM-D638. Informasi yang diperoleh yaitu kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kemuluran (*elongation*). Pada pengujian ini, kedua ujung dari film plastik yang dibentuk dijepit dengan alat uji mekanis, kemudian ditarik hingga putus, diamati kekuatan tarik (Kgf/mm^2), dan persen *elongasi* (%). Rumus uji sifat mekanik terdapat pada **Lampiran 3.a**.

3.4.5.2 Uji Degradasi Termal

Sifat termoplastik sampel dapat diketahui melalui suhu dekomposisi (degradasi termal). Metode yang digunakan yaitu metode oven. Sampel plastik dimasukkan ke dalam oven. Suhu yang digunakan dimulai dari 100 °C. Jika tidak terjadi perubahan sampel pada suhu 100 °C selama 1 jam, maka suhu dinaikkan pada tingkat 110 °C. Perlakuan ini diulang sampai terjadi perubahan fisik pada sampel.

3.4.5.3 Uji Biodegradabilitas dalam tanah

Film plastik dengan ukuran 2 x 3 cm dibuat sebanyak 5 sampel (nomor 1 sampai 5), dan ditimbang menggunakan neraca analitik. Selanjutnya ditanam dalam tanah berisi sampah dengan kedalaman 10 cm. Sampel nomor 1 diambil

dari dalam tanah setelah 15 hari. Sampel nomor 2 diambil setelah 20 hari, sampel nomor 3 diambil setelah 25 hari, dan sampel ke 4 diambil setelah 30 hari perendaman, sehingga diperoleh persentasi dan waktu yang diperlukan untuk biodegradasi. Rumus laju biodegradasi terdapat pada **Lampiran 3.b.**

4.4.5.4 Uji Laju Transmisi Air

Film plastik dipotong dengan ukuran 2 x 3 cm, ditimbang dan direndam dalam air pada suhu ruang. Setelah 24 jam, film diangkat dari air, dan kemudian laju penyerapan dihitung. Kecepatan penyerapan juga dihitung untuk mengetahui banyaknya pelarut yang terserap tiap waktu yang telah ditentukan. Rumus terdapat pada **lampiran 3.c.**

4.4.5.5 Uji Densitas

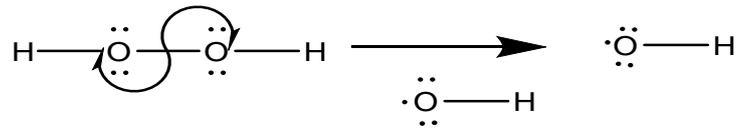
Film plastik ditimbang sebanyak 1 gram, dan selanjutnya dimasukkan ke dalam piknometer yang berisi larutan ksilena 50 mL. Dibiarkan selama 24 jam, dan kemudian diamati kenaikan volume dalam piknometer. Dihitung densitas film plastik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Poliblen

Proses pembuatan poliblen menggunakan metode blending yaitu proses pencampuran dua polimer atau lebih dalam fasa larutan. Pada penelitian ini, digunakan perbandingan antara (b/b) LDPE dan pati sagu yaitu 9:1 dan 1,5:1 masing-masing dalam satuan gram. LDPE yang bersifat nonpolar dilarutkan dalam 100 mL ksilena yang merupakan pelarut organik bersifat nonpolar dengan titik didih sebesar 137-143 °C. Proses pencampuran tersebut berlangsung selama 7 jam dengan suhu refluks 95 °C. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Susilawati *et al* (2007), digunakan suhu 80 °C selama proses pencampuran. Namun pada penelitian kali ini, suhu tetap dipertahankan pada 95 °C karena pada suhu 85 °C kedua campuran memadat, sehingga membutuhkan waktu yang lebih untuk tetap menjaga kondisi blending agar kedua komponen tetap berada dalam kondisi larutan. Setelah semua LDPE larut, dilakukan penambahan 2 mL hydrogen peroksida dengan tujuan untuk menginisiasi rantai polimer sehingga membentuk radikal bebas. Pencampuran tersebut dibiarkan berlangsung selama 2 menit, hal ini dilakukan karena pembentukan radikal bebas membutuhkan waktu yang cukup singkat dengan penggunaan suhu yang cukup tinggi untuk dekomposisi suatu polimer sesuai. Reaksi inisiasi dimulai dengan pembentukan dua OH radikal bebas. Radikal bebas tersebut akan menyerang salah satu atom H pada CH₂ sehingga elektron yang mengikat antara atom H dan CH akan masuk ke dalam atom C dan membentuk C radikal seperti reaksi terdapat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Skema reaksi pembentukan radikal bebas (tahap inisiasi)

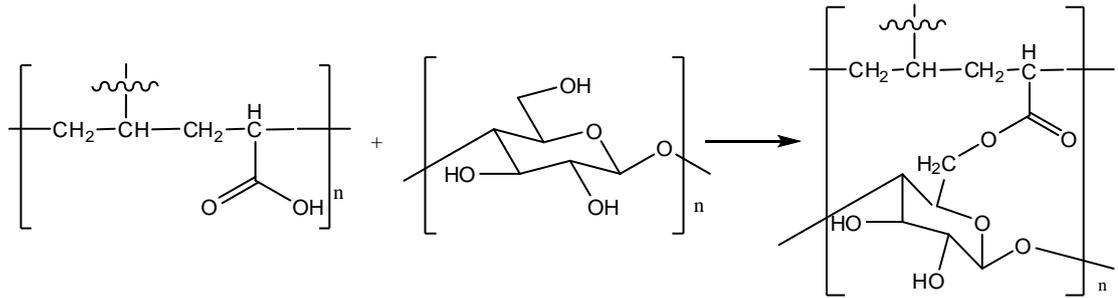
Dengan terbentuknya radikal bebas pada LDPE, asam poliakrilat kemudian ditambahkan. Asam poliakrilat memiliki gugus polar dan nonpolar yang berfungsi sebagai jembatan penghubung yang dapat meningkatkan interaksi antara LDPE dan pati sagu sehingga dapat menghasilkan poliblen yang kompatibel. Asam poliakrilat bereaksi dengan OH radikal yang terbentuk dari pemecahan hidrogen peroksida menjadi dua radikal OH. Satu OH radikal digunakan pada tahap inisiasi LDPE, sedangkan OH radikal yang lainnya digunakan untuk bereaksi dengan asam poliakrilat dan membentuk radikal bebas pada atom C yang terdapat pada asam poliakrilat, dengan demikian radikal bebas yang terbentuk pada LDPE akan bereaksi dengan radikal yang terbentuk pada asam poliakrilat seperti reaksi yang terdapat pada **Gambar 8** dan **9**.

Gambar 8. Skema Pembentukan radikal bebas pada asam poliakrilat

Gambar 9. Skema reaksi antara LDPE dan asam poliakrilat

Setelah itu pati sagu kemudian ditambahkan, hasil reaksi dari radikal LDPE dan radikal asam poliakrilat akan langsung berinteraksi dengan gugus hidroksil yang terdapat pada pati sagu. Tahap ini disebut sebagai tahap propagasi yaitu terjadinya reaksi antara radikal polimer yang sedang tumbuh dengan radikal mula-mula yang terbentuk dari inisiator, atau antara radikal polimer yang sedang tumbuh dengan radikal polimer lainnya sehingga membentuk polimer baru.

Penambahan pati sagu mampu memicu terjadinya proses biodegradasi, karena pati merupakan polimer alam yang mudah dicerna oleh mikroba. Pada umumnya pati memiliki sifat yang kaku dan rapuh. Untuk menurunkan sifat-sifat tersebut, dilakukan penambahan pemlastis berupa cairan dengan titik didih yang tinggi, sehingga memberikan sifat yang lembut dan fleksibel ketika dicampurkan dengan polimer lain. Oleh karena itu penambahan 2 mL gliserol dilakukan. Selain berfungsi pemlastis, gliserol juga berfungsi sebagai reaksi penutup pada proses pembuatan polimer. Reaksi ini terjadi melalui substitusi gugus hidroksil antara pati sagu dengan gugus hidroksil pada gliserol (melalui ikatan hidrogen), seperti yang terlihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Tahap reaksi antara polimer baru dengan gliserol (reaksi penutup)
Setelah penambahan gliserol dilakukan, hasil campuran kemudian dituang kedalam gelas kimia, dan dibiarkan selama 24 jam untuk menguapkan pelarutnya. Untuk menghilangkan sisa pelarut yang masih bercampur dengan polimer baru, maka campuran dipanaskan dalam oven pada suhu 40 °C sampai terbentuk poliblen kering.

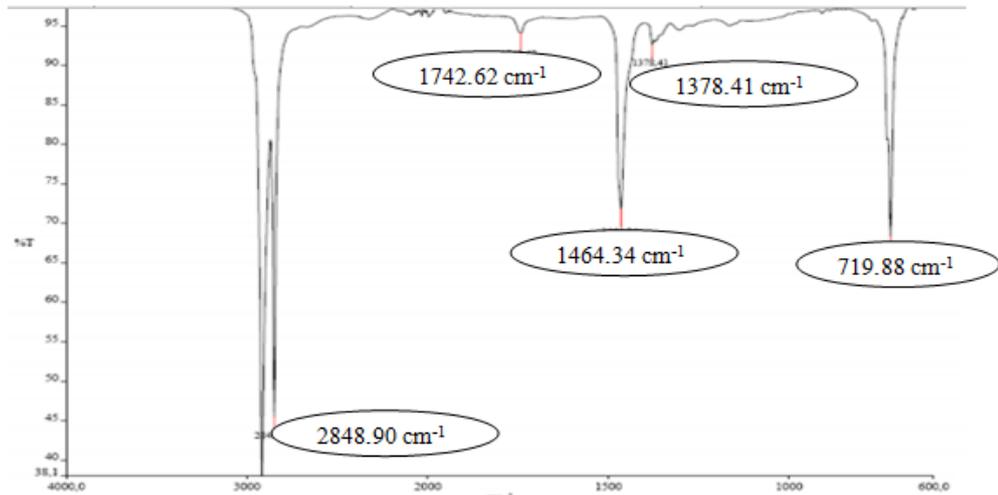
4.2 Pencetakan Film Plastik

Film plastik dicetak dengan menggunakan alat metalurgi berupa *tension and compression testing machine*. Poliblen kering hasil refluks dicetak sampai terbentuk film plastik dengan beban cetak yaitu 39.000 ribu ton. Hasil yang diperoleh adalah lembaran tipis sebesar 0,18 cm untuk perbandingan LDPE:pati sagu (1,5:1), sedangkan untuk perbandingan 9:1, diperoleh ketebalan sebesar 0,26 cm. Pada tahap ini, proses pencetakan dilakukan beberapakali, karena poliblen kering sangat sulit untuk dicetak sampai membentuk lembaran tipis (film plastik). Proses juga menyebabkan perbedaan ketebalan plastik. Proses ini seharusnya dilakukan dengan *compression molding*, atau dicetak tekan dalam keadaan panas, namun alat metalurgi yang digunakan mengalami kerusakan mesin panas, sehingga yang digunakan hanyalah press dingin dengan tekanan yang sangat tinggi.

4.3 Karakterisasi Menggunakan FTIR

4.3.1 Spektrum FTIR LDPE

Spektrum FTIR dari LDPE diperlihatkan pada Gambar 10.



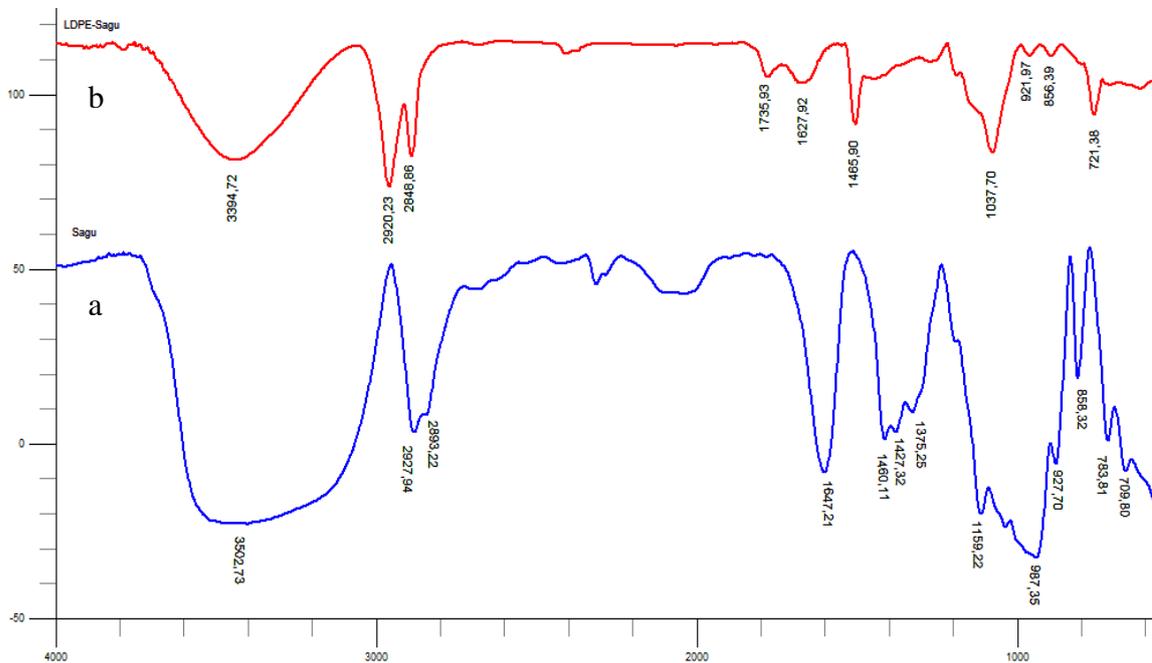
Gambar 11. Spektrum FTIR LDPE (Sumber: Peltzer dan Simoneau 2013).

Daerah pada bilangan gelombang 2927 dan 2848 cm^{-1} merupakan getaran utama polietilen. Modulus lentur utama polietilen yaitu pada daerah 1475 cm^{-1} , 1463 cm^{-1} yang merupakan ikatan $-\text{CH}_2$ asimetris. Untuk LDPE, modulus lentur CH_2 terdapat pada daerah 1464 cm^{-1} . Serapan pada bilangan gelombang 1400-1300 cm^{-1} merupakan wilayah LDPE (Peltzer dan Simoneau, 2013).

4.3.2 Spektrum FTIR Sebelum dan Setelah Modifikasi

Spektrum FTIR pada Gambar 12 (a) merupakan gugus yang khas (karakteristik) dari pati. Spektrum FTIR sagu dicirikan oleh serapan vibrasi ulur $-\text{OH}$ pada bilangan gelombang 3502,75 cm^{-1} , serapan vibrasi ulur $\text{C}-\text{H}$ pada daerah dengan bilangan gelombang 2927,95-2893,22 cm^{-1} . Serapan pada daerah 1647 ditunjukkan oleh adanya gugus $\text{C}=\text{O}$. Bilangan gelombang dengan serapan pada daerah 1460,11-1427,25 cm^{-1} merupakan gugus metilen ($-\text{CH}_2-$), sedangkan pada daerah dengan serapan bilangan gelombang 1375,25 cm^{-1} merupakan gugus metil

(-CH₃). Menurut Creswell *et al.* (2005), pita serapan tajam pada daerah bilangan gelombang 1648 cm⁻¹ (pada penelitian diperoleh serapan pada daerah 1647, 21 cm⁻¹) berasal dari glukosa penyusun pati. Daerah sidik jari dengan serapan bilangan gelombang 1300-1000 cm⁻¹ merupakan ikatan tunggal karbon oksigen (C-O), ikatan yang terjadi pada daerah tersebut adalah ikatan glikosida (C-O-C) antara gugus amilosa maupun amilopektin, dan ikatan C-O-H pada rantai piranosal.



Gambar 12. Spektrum FTIR, a) Sagu Sebelum dan b) Setelah Modifikasi Antara LDPE dan Pati Sagu

Spektrum FTIR, (a) sebelum dan (b) setelah modifikasi memperlihatkan perubahan pita serapan dengan terjadinya pemecahan ikatan maupun pergeseran vibrasi. Menurut Syaefuddin (2011), pergeseran vibrasi atau hilangnya beberapa puncak yang disertai dengan munculnya puncak baru mengindikasikan terjadinya reaksi antara kedua campuran. Reaksi tersebut menghasilkan ikatan baru yang kemudian menyerap spektrum inframerah. Terjadinya pergeseran dalam serapan

FTIR utamanya disebabkan oleh perbedaan kekuatan ikatan tarik dalam monomer dan polimer untuk gugus fungsi sama, akan menyebabkan terjadinya perubahan frekuensi serapan. Dari hasil modifikasi terjadi vibrasi atau pergeseran bilangan gelombang dari puncak-puncak yang diperlihatkan oleh hasil FTIR pati sagu berupa berkurangnya bilangan gelombang dan hilangnya beberapa puncak.

Dalam spektrum hasil modifikasi, pita serapan pada daerah $1735,93\text{ cm}^{-1}$ memperlihatkan adanya gugus -C=O regang dari karonil yang didukung oleh serapan gugus C=O tekuk pada daerah $1234,44\text{ cm}^{-1}$. Serapan gugus O-H regang dan O-H tekuk masing-masing teramati pada daerah $3394,72\text{ cm}^{-1}$ dan $1037,70\text{ cm}^{-1}$. Pita serapan oleh gugus CH ditunjukkan oleh serapan pada daerah bilangan gelombang $2638,62\text{ cm}^{-1}$. Serapan pada daerah $1149,57\text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus C-O .

Spektrum pati memperlihatkan adanya gugus OH dan C-O pada bilangan gelombang $3394,72\text{ cm}^{-1}$ dan $1159,57\text{ cm}^{-1}$, sedangkan serapan khas untuk LDPE memperlihatkan gugus fungsi C-H pada bilangan $2848,86\text{-}2920,23\text{ cm}^{-1}$ yang didukung oleh adanya tekuk asimetris CH_2 pada daerah dengan bilangan gelombang $1465,90\text{ cm}^{-1}$. Serapan khas dari gugus aromatik teramati pada daerah $1627,92\text{ cm}^{-1}$. Hal ini membuktikan bahwa pati sagu mampu berpolimerisasi dengan LDPE. Sesuai dengan teori bahwa kandungan pati berupa amilosa, amilum, dan amilopektin merupakan polimer gula, sehingga memungkinkan bagi pati untuk berpolimerisasi ketika direaksikan dengan polimer lain. Data ini didukung oleh munculnya substituen pada posisi cis dengan serapan bilangan gelombang $758\text{-}721,38\text{ cm}^{-1}$, dan juga substituen pada posisi trans dengan daerah serapan bilangan gelombang $921,97\text{ cm}^{-1}$. Substituen pada posisi cis dan trans

menunjukkan bahwa reaksi polimerisasi yang terjadi adalah reaksi monosubstitusi. Dengan adanya gugus hidroksida (OH), dan gugus ester (C-O) maka plastik dapat terdegradasi.

Hasil FTIR tidak hanya menunjukkan serapan-serapan bilangan gelombang pada daerah tertentu. Bentuk Kristal suatu polimer dapat teramati melalui serapan tersebut. Menurut Lee (2010), pita serapan pada daerah $1473-1464\text{cm}^{-1}$ dan $732-720\text{cm}^{-1}$ memberikan informasi tentang jenis kristal yang telah terbentuk. Jenis bentuk kristalin pada daerah 1473 dan 732cm^{-1} merupakan bentuk amorf, sedangkan pada daerah 1464cm^{-1} dan 720cm^{-1} merupakan bentuk kristal dari polietilen. Hal yang sama dijumpai pada FTIR hasil modifikasi antara LDPE dan pati sagu. Puncak pada daerah 1465cm^{-1} dan 721cm^{-1} menandakan bahwa hasil modifikasi berbentuk amorf. Bentuk kristalin pada polimer dapat ditentukan berdasarkan inisiator yang digunakan. Pada penelitian ini, digunakan inisiator peroksida. Hal ini sesuai dengan Hamid (2008), bahwa penggunaan inisiator peroksida akan menghasilkan polimer amorf. Bentuk kristalin sangat berperan penting dalam menentukan sifat polimer. Yuniarti *et al* (2014), menyatakan bahwa susunan rantai polimer yang semakin tidak teratur (amorf) menyebabkan sifat polimer semakin elastis.

4.4 Uji Sifat Mekanik

Spesimen plastik dikarakterisasi menggunakan mesin instron standar ASTM D638. Informasi yang diperoleh dari kurva tegangan-regangan (*stress strain*) tersebut adalah kekuatan tarik spesimen (*tensile strength*) dan kemuluran (*elongation*). Nilai kekuatan tarik ini perlu untuk mengetahui kekuatan kemasan bila diberi tekanan. Semakin tinggi kemampuan suatu bahan kemasan untuk

menerima suatu tekanan yang diberikan, maka semakin tinggi mutu suatu kemasan itu di dalam melindungi produk dari tekanan yang terjadi selama penyimpanan atau transportasi, sehingga kerusakan mekanis yang akan terjadi pada produk akan bisa dikurangi. Hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Uji Kekuatan Tarik dan Kemuluran

| No | Perbandingan | | Δ (Kekuatan Tarik) kgf/mm ² | ϵ (Kemuluran) % |
|----|--------------|----------------------|--|--------------------------------|
| | LDPE | pati sagu (b/b) gram | | |
| 1 | 9 | 1 | 5,24 | 25,71 |
| 2 | 1,5 | 1 | 3,73 | 20 |

Perbandingan 9:1 dan 1,5:1 dipilih karena berdasarkan penelitian Susilawati (2011), 9:1 merupakan perbandingan paling baik untuk memperoleh kekuatan tarik, namun biodegradasi rendah. Sedangkan perbandingan 6:4 (setara 1,5:1) merupakan perbandingan paling optimum yang menghasilkan kekuatan tarik tidak terlalu rendah dan degradasi yang tergolong cukup tinggi (terdegradasi dengan cepat). Pada perbandingan (9:1), kekuatan tarik optimum adalah sebesar 5,24 kgf/mm² dengan kemuluran 25,71 %. Hasil yang diperoleh jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Susilawati *et al.*(2011), dengan menggunakan pati ubi kayu yaitu sebesar 0,71 kgf/mm² dengan kemuluran 17,57 %. Dari perbandingan ini diperoleh film plastik yang paling kompatibel karena penyebaran ke dalam fase plastik yang paling merata. Semakin banyak pati yang ditambahkan maka kekuatan tarik dari film plastik semakin menurun.

Pada perbandingan 1,5:1 LDPE:pati sagu, atau setara dengan 6:4, kekuatan tarik adalah sebesar 3,73 kgf/mm²dengan kemuluran 20 %. Hasil ini jauh lebih

tinggi hasil yang telah diperoleh Susilawati *et al.* (2011), nilai mekanik pada perbandingan 6:4 sagu sebesar 0,38 kgf/mm² dengan kemuluran 9,28 %. Hal ini membuktikan bahwa peningkatan jumlah pati dan penurunan jumlah LDPE, menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan tarik (*tensile strength*) maupun kemulura (*elongasi*).

Sifat mekanik yang baik dapat diperoleh apabila pati tersebar secara merata ke dalam fase plastik. Selain faktor penyebaran pati, sifat dari bahan alami juga sangat berpengaruh. Jika dipanaskan, maka pati sagu akan menghasilkan getah yang lebih kuat jika dibandingkan dengan jenis pati yang lain. Selain itu faktor penambahan gliserol dan asam poliakrilat menyebabkan sifat mekanik plastik yang dihasilkan semakin kompatibel, sebagaimana yang telah dilaporkan oleh Widyasari (2010), menyatakan bahwa penambahan pemlastis berupa gliserol sebesar 30 % akan meningkatkan sifat mekanik dari film plastik. Sementara itu penambahan akrilat meningkatkan interaksi antara campuran pati dengan LDPE karena mengandung gugus polar dan nonpolar. Kedua gugus ini mampu meningkatkan interaksi antara kedua campuran sehingga menjadi plastik yang memiliki sifat mekanik yang tinggi. Hal ini sesuai yang telah dilaporkan oleh Susilawati *et al* (2011) yang telah menggunakan asam akrilat. Semakin tingginya sifat mekanik yang dihasilkan pada penelitian kali ini disebabkan penggunaan jenis akrilat yaitu asam poliakrilat.

4.5 Uji Degradasi

Suatu bahan dikatakan biodegradabel apabila bahan tersebut dapat mengikuti siklus hidup biomassa, termasuk konversi sumber fosil, air, dan produksi CO₂. Kecepatan biodegradasi bergantung pada temperatur (50-60 °C),

kelembaban, jumlah dan tipe mikroba. Biodegradasi berjalan cepat jika ketiga persyaratan tersebut terpenuhi (Siracusa, 2008). Pada penelitian ini, telah dilakukan dua metode pengujian degradasi yaitu degradasi termal, dan biodegradasi dalam tanah.

4.5.1 Uji Degradasi Termal

Sifat degradasi termal dilakukan dengan berdasarkan pengaruh suhu (metode oven). Tujuan pengujian degradasi termal yaitu untuk mengetahui suhu dekomposisi film plastik. Pada polimer, khususnya plastik, definisi temperatur tinggi adalah suhu diatas 135°C. Pada temperatur tinggi, polimer tidak hanya melunak, tetapi juga dapat mengalami degradasi termal. Suatu plastik yang mengalami pelunakan pada temperatur tinggi, tetapi mulai mengalami degradasi termal pada suhu yang jauh lebih rendah hanya dapat digunakan di bawah suhu pada saat plastik mulai mengalami degradasi. Berdasarkan hasil pengujian degradasi termal, diperoleh data seperti pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Pengujian Degradasi Termal (Metode Oven)

| Perbandingan LDPE;pati sagu (gram) | Suhu Degradasi (Titik Pelunakan-titik pembakaran) |
|---|--|
| 9:1 | 135-140 |
| 1,5:1 | 130-140 |

Titik pelunakan, dan perubahan dari termoplastik ke termosetting pada polimer sangatlah ditentukan oleh tipe polimer yang digunakan. Pada polimer amorf, suhu yang penting adalah Tg (*glass transition temperature*). Sedangkan, pada polimer kristalin dan semi-kristalin, suhu yang penting terletak pada Tm (*melting point*). Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan spektrum FTIR, diperoleh data bahwa jenis kristalin yang diperoleh merupakan bentuk amorf.

Menurut Susilawati *et al.* (2011), nilai Tg pada polimer pati dari jenis pati ubi kayu yaitu sebesar 130 °C. Nilai ini memiliki kesamaan dengan uji degradasi termal pada campuran LDPE dan pati sagu. Jika bentuk kristal, Tg, dan hasil lelehan yang diperoleh dihubungkan dengan sifat plastik yang dihasilkan, maka dapat dinyatakan bahwa telah diperoleh plastik dengan sifat termosetting, sebab suhu berdasarkan pengujian degradasi termal diperoleh nilai yaitu 130 dan 135 °C. Suhu ini juga mewakili suhu poliblend LDPE dan pati yang kompatibel.

Hasil pengujian degradasi termal menunjukkan bahwa film plastik mulai terdekomposisi pada suhu 135°C sampai 140 °C (perbandingan 9:1), dan 130 sampai 140 °C untuk perbandingan 1,5:1. Dekomposisi ditandai oleh sampel yang mencair (melunak) pada suhu 130 dan 135 °C, sementara pada suhu 140 °C film plastik mulai terjadi degradasi yang ditandai dengan munculnya warna kuning kehitaman pada film plastik. Berdasarkan hasil pengujian degradasi termal, maka dapat dinyatakan bahwa film plastik pada perbandingan 9:1 dan 1,5:1 dinyatakan termasuk dalam range plastik dengan suhu tinggi sebab terjadi pelunakan dan degradasi termal pada suhu 130-140°C. Film plastik dengan perbandingan 9:1 hanya bisa digunakan dibawah suhu degradasi yaitu kurang dari 140 °C sedangkan perbandingan 1,5:1 hanya bisa digunakan dibawah suhu 130 °C. Jika pemakaian plastik melebihi dari suhu degradasi, maka akan mengakibatkan kerusakan pada plastik, sehingga merusak bahan apapun yang berada dalam kemasan.

4.5.2 Uji Biodegradasi Dalam Tanah

Pada umumnya, metode pengujian laju degradasi sering dilakukan dengan mengubur sampel di dalam tanah, dan kemudian ditimbang untuk mengetahui

pengurangan berat setelah penguburan. Metode ini dilakukan dengan beberapa kali pengulangan, sampai diperoleh degradasi yang lebih tinggi. Kekurangan dari metode ini adalah pada saat pengambilan sampel dari dalam tanah untuk dilakukan penimbangan. Sampel yang mengalami degradasi, akan terurai sehingga tidak bisa dipastikan bahwa semua sampel terangkat dari tanah, dan menyebabkan berat uji saat penimbangan menjadi tidak akurat.

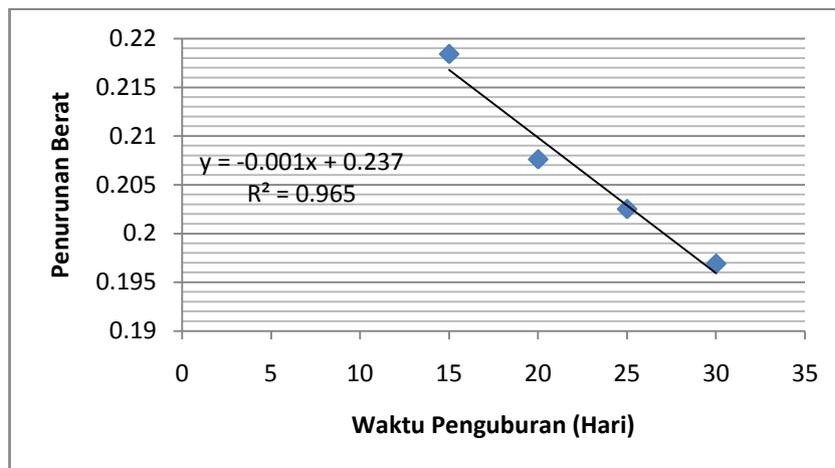
Pada percobaan ini, pengujian biodegradasi dilakukan pada media lingkungan yaitu tanah. Media ini dipilih karena mewakili kondisi lingkungan di alam sehingga dapat diketahui kecepatan penguraian film plastik campuran LDPE dan pati sagu dalam media tanah. Pengujian biodegradasi film plastik ini dilakukan di ruangan tertutup karena bila dilakukan pengujian langsung di alam terbuka (*in-situ*) akan sangat sulit mengontrol keamanan dari sampel uji, dan ada kemungkinan sampel hilang dimakan oleh hewan yang berada disekitar lingkungan pengujian. Di samping itu, kondisi cuaca seperti panas dan hujan juga tidak bisa dikontrol yang juga akan mempengaruhi kecepatan penguraian sampel film plastik yang diuji. Uji biodegradasi film plastik campuran LDPE dan pati sagu dengan formula yang berbeda-beda yaitu 9:1 dan 1,5:1 komponen bioplastik untuk melihat sejauh mana pengaruh penambahan komponen pati sagu terhadap kecepatan penguraian film plastik tersebut. Sampel dengan perbandingan yang sama di tanam berdasarkan variasi waktu dengan pengambilan sampel setiap selang waktu 5 hari yang dimulai pada hari ke 15 sampai hari ke 30 penguburan dalam tanah. Dengan cara ini, data yang diperoleh akan lebih akurat, sehingga dapat diketahui rata-rata laju biodegradasi, dan juga waktu degradasi yang optimal, seperti pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Uji Biodegradasi Dalam Tanah.

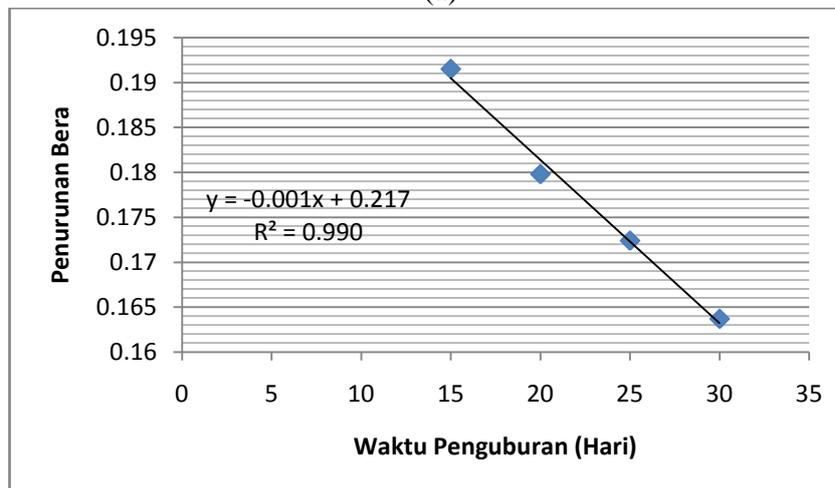
| Perbandingan LDPE:Pati Sagu | Lama Pengujian /Hari ke- | Degradasi Sampel | | Laju | Rata-rata Laju Biodegradasi |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------|--------|--------|--------------------------------|
| | | D ₀ | D | | |
| 9:1 | 15 | 0,2253 | 0,2184 | 0,0069 | 0,0192 |
| | 20 | 0,2255 | 0,2076 | 0,0179 | |
| | 25 | 0,2256 | 0,2025 | 0,0231 | |
| | 30 | 0,2258 | 0,1969 | 0,0289 | |
| 1,5:1 | 15 | 0,2011 | 0,1915 | 0,0096 | 0,0244 |
| | 20 | 0,2012 | 0,1798 | 0,0214 | |
| | 25 | 0,2014 | 0,1724 | 0,0290 | |
| | 30 | 0,2016 | 0,1637 | 0,0379 | |

Hasil menunjukkan bahwa terjadi pengurangan berat selama penguburan. Sampel yang terdegradasi lebih cepat yaitu pada perbandingan 1,5:1 sebesar 0,0,1915 g pada hari ke 15 dengan rata-rata laju pengurangan massa sebesar 0,0096 g. Sampel dengan perbandingan 9:1 terdegradasi pada hari ke 15 sebesar 0,2184 g dengan rata-rata laju pengurangan massa sebesar 0,0069 g. Berdasarkan variasi waktu yang digunakan selama penguburan sampel, dapat dilihat bahwa perbandingan 1,5:1 memiliki pengurangan massa yang lebih besar jika dibandingkan dengan perbandingan 9:1 disetiap pengukuran. Rata-rata laju biodegradasi yang diperoleh untuk perbandingan 1,5:1 yaitu sebesar 0,0244 g dengan persen degradasi sebesar 18,59 %. Pada perbandingan 9:1 diperoleh rata-rata laju biodegradasi yaitu 0,0192 g dengan persen degradasi sebesar 12,60 % selama 30 hari penguburan dalam tanah. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Susilawati *et al.* (2011), diperoleh persen degradasi untuk perbandingan 6:4 (1,5:1) sebesar 59,26 % selama 8 minggu (60 hari) penguburan sampel dalam tanah. Pada penelitian ini, dengan persen degradasi sebesar 18,59 % pada perbandingan 1,5:1, mengindikasikan bahwa persen degradasi selama 60 hari akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian yang telah

dilakukan oleh Susilawati *et al.*(2011).Kemampuan biodegradasi oleh film plastik dipengaruhi oleh jumlah material yang mudah dicerna oleh bakteri pengurai. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan pati, maka akan semakin cepat laju biodegradasi. Grafik penurunan berat masing-masing perbandingan setelah 30 hari diperlihatkan pada **Gambar 12.**



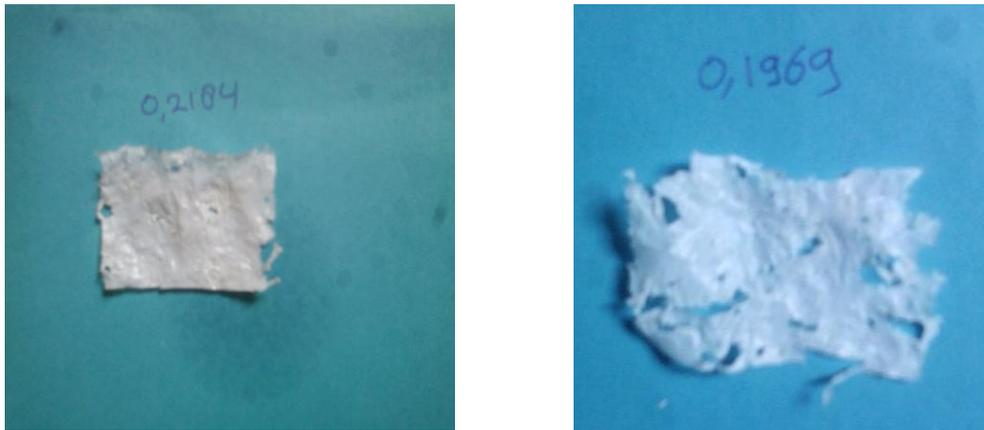
(a)



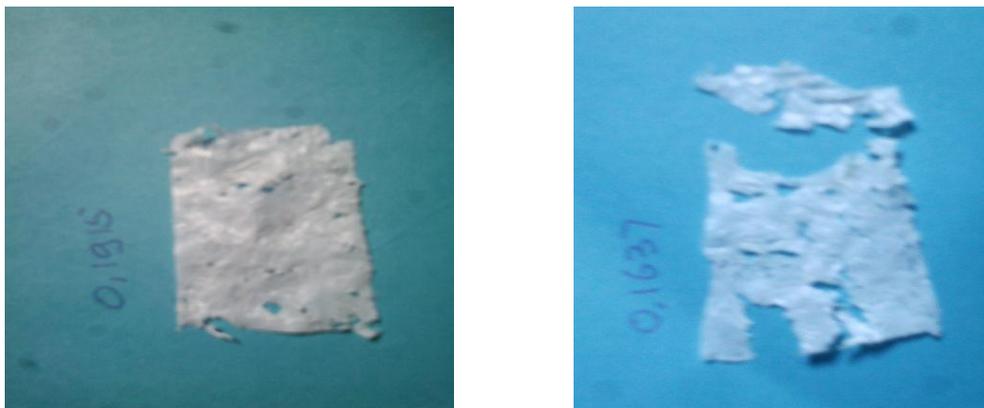
(b)

Gambar 12. Grafik Penurunan Berat Sampel Setelah 30 Hari Dalam Tanah
(a) Perbandingan 9:1, (b) 1,5:1

Pada penelitian ini, meskipun perbandingan pati yang sama, namun perbandingan LDPE berbeda. Lapisan LDPE pada penambahan 1,5 g lebih sedikit jika dibandingkan pada perbandingan 9:1 g LDPE:pati sagu. Hal ini membuktikan bahwa dengan semakin sedikit kuantitas LDPE dalam campuran maka proses biodegradasi akan semakin cepat. Gambar 13 menunjukkan perubahan morfologi plastik selama uji biodegradasi.



(a) Perbandingan 9:1 (15 dan 30 hari)

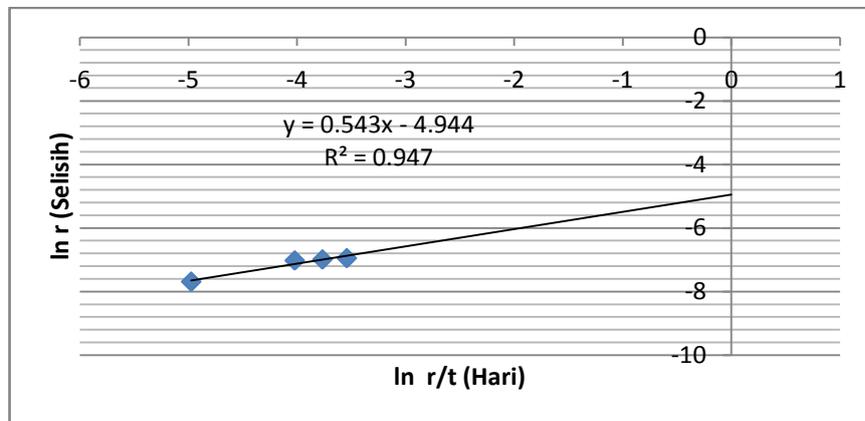


(b) Perbandingan 1,5:1

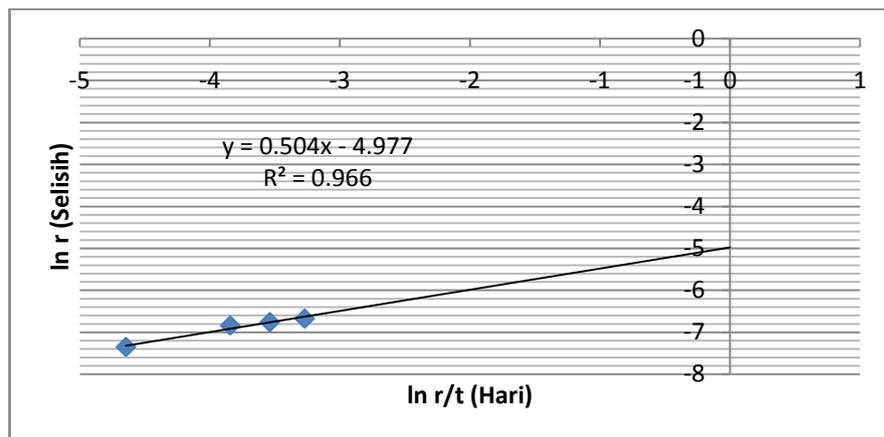
Gambar 13. Morfologi Perbandingan LDPE:pati sagu a) 9:1, b) 1,5:1 Sebelum dan Setelah Penguburan

4.6 Kinetika Biodegradasi Dalam Tanah

Untuk menentukan orde reaksi degradasi polimer dalam tanah, dua metode digunakan, metode differensial dan metode integral. Pengujian data hasil pengamatan dari penurunan berat sampel untuk setiap perbandingan dan perlakuan waktu penguburan dalam tanah dengan metode differensial disajikan dalam **Gambar 14**. Laju reaksi degradasi (r) ditentukan dengan menghitung perubahan penurunan berat sampel tiap waktu (hari) tertentu pada massa sampel uji yang terukur.



(a)



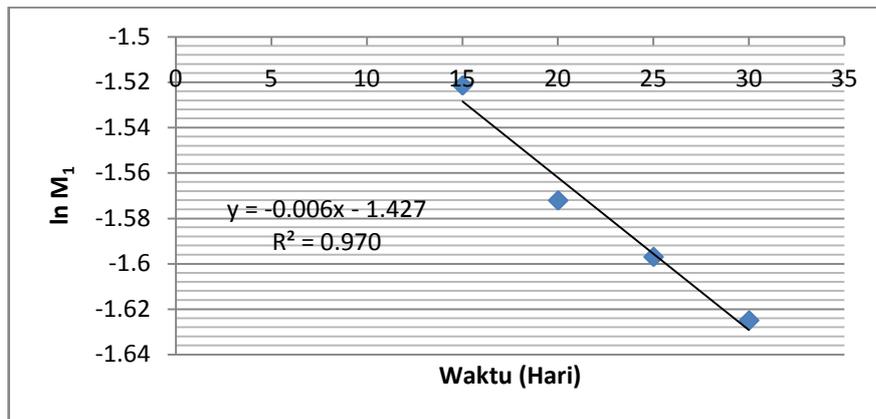
(b)

Gambar 14. Penentuan Orde Reaksi Dengan Metode Differensial
(a) Perbandingan 9:1, (b) 1,5:1

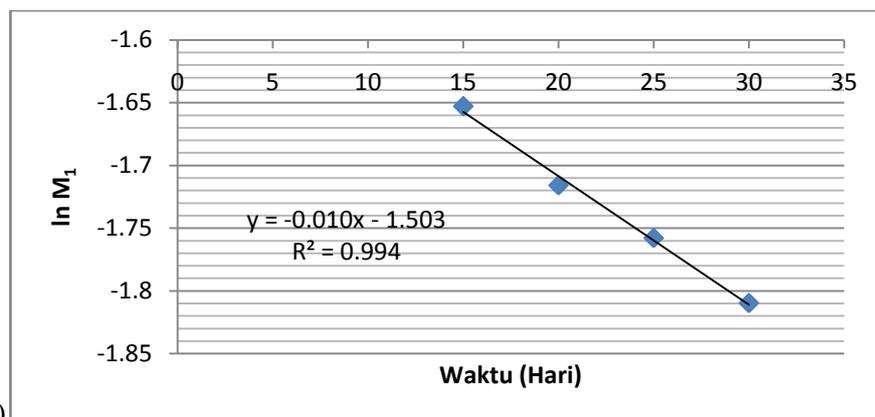
Menurut metode differensial, kemiringan garis untuk perbandingan 9:1 (0,543) dan 1,5:1 (0,504) merupakan orde reaksi sehingga disimpulkan bahwa orde reaksi biodegradasi adalah orde satu. Untuk menguji keakuratan orde satu, maka digunakan metode integral untuk menentukan konstanta degradasinya. Metode integrasi untuk orde satu berlaku persamaan:

$$\ln M = -kt + \ln M_0$$

sehingga konstanta reaksi degradasi (k) dapat ditentukan dengan memplotkan $\ln M_1$ sebagai sumbu-y dengan waktu penguburan sumbu-x seperti terlihat pada Gambar 15.



(a)



(b)

Gambar 15. Penentuan Konstanta Laju Biodegradasi dengan Metode Intergral. Perbandingan(a) 9:1, (b) 1,5:1

Jenis dan bentuk kemiringan garis yang diperoleh, menunjukkan bahwa degradasi polimer merupakan degradasi orde 1. Dengan kemiringan garis, maka dapat ditentukan konstanta laju degradasi untuk perbandingan 9:1 sebesar 0.006 gram, dan untuk perbandingan 1,5:1 sebesar 0,010 gram/hari. Berdasarkan hasil intersep diperoleh M_0 sebesar 1,427 gram untuk perbandingan 9:1, sedangkan untuk perbandingan 1.5:1 diperoleh 1,503 gram sehingga persamaan laju degradasi dituliskan sebagai berikut:

$$\ln M = -(0,006)t + \ln 1,427 \quad \text{untuk perbandingan 9:1}$$

$$\ln M = -(0,010)t + \ln 1,503 \quad \text{untuk perbandingan 1,5:1}$$

Berdasarkan laju degradasi yang diperoleh, maka dapat ditentukan waktu (t) yang diperlukan yaitu sebesar 307,65 hari untuk perbandingan 9:1, dan 201,13 hari untuk perbandingan 1,5:1. Hal ini mempunyai arti bahwa 307,65 hari (± 11 bulan) merupakan jangka waktu yang dibutuhkan sampel dengan perbandingan 9:1 untuk habis dalam tanah, sedangkan untuk perbandingan 1,5:1 akan habis dalam tanah dengan jangka waktu 201,13 hari (± 7 bulan) penguburan dalam tanah. Laju degradasi bisa lebih cepat ataupun lebih lambat terjadi. Hal seperti ini dipengaruhi oleh faktor lingkungan antara lain, suhu (kelembapan), jenis dan jumlah mikroorganisme pendegradasi, dan komponen tanah lainnya.

4.7 Hubungan Antara Sifat Mekanik dan Laju Biodegradasi

Hubungan antara sifat mekanik dan laju biodegradasi menunjukkan bahwa semakin tinggi perbandingan komposisi LDPE dalam suatu campuran, maka akan semakin kuat sifat mekanik (kekuatan tarik), namun laju biodegradasi akan semakin rendah. Demikian sebaliknya, laju biodegradasi akan semakin tinggi dengan banyaknya penambahan pati sagu. Jika dibandingkan dengan penelitian

lain, seperti yang telah dilakukan oleh Widyasari (2010), dan Susilawati (2011), plastik dari campuran LDPE dan pati sagu memberikan sifat mekanik yang lebih baik, seperti yang terdapat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hubungan Antara Sifat Mekanik dan Laju Biodegradasi

| Perbandingan LDPE:pati sagu b/b (g) | Sifat Mekanik | | Rata-rata Laju Degradasi (g) |
|---|--|------------------|---------------------------------------|
| | Kekuatan tarik (kgf/mm ²) | Kemuluran (%) | |
| 9:1 | 5,24 | 25,71 | 0,0192 |
| 1,5:1 | 3,73 | 20 | 0,0244 |

4.8 Uji Laju Transmisi Air

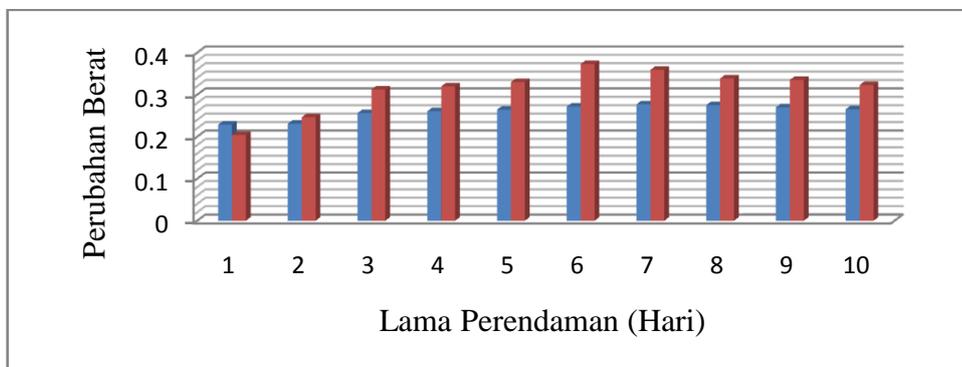
Laju transmisi air merupakan pengukuran yang dilakukan berdasarkan pada kemampuan film menyerap air. Metode pengujian yang digunakan yaitu dengan merendam sampel menggunakan air sampai terjadi keseimbangan penyerapan. Laju transmisi memberikan data peningkatan bobot selama perendaman. transmisi dapat dihitung dari data ini. Laju transmisi mengindikasikan persentase air yang mampu diserap oleh film plastik/hari. Berdasarkan data yang diperoleh, dapat dilihat bahwa terjadi penyerapan air secara perlahan, dimana persentase penyerapan mengalami peningkatan dan penurunan/hari. Perbandingan LDPE: pati sagu selalu mempengaruhi nilai yang diperoleh. Semakin sedikit LDPE, dan semakin banyak pati maka persen transmisi akan lebih besar. Seperti yang terlihat pada Tabel 9, persentase transmisi pada perbandingan 1,5:1 jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan 9:1. Data hasil pengukuran laju transmisi diperlihatkan pada Tabel 9. Berdasarkan pengukuran terhadap laju transmisi air, data berupa perubahan bobot, derajat dan kecepatan transmisi air film plastik diperoleh selama perendaman. Peningkatan dan

penurunan bobot selama perendaman bergantung pada perbandingan LDPE: pati sagu. Semakin banyak LDPE maka akan semakin sulit untuk menyerap air, hal ini disebabkan pati yang tersebar dalam campuran LDPE sulit menyerap air sebagai akibat dari lapisan LDPE yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati. Seperti yang terdapat pada Tabel 9, peningkatan bobot pada perbandingan 9:1 (rata-rata peningkatan bobot 0,0099 g/hari, penurunan sebesar 0,0029 g/hari). Nilai ini jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan perbandingan 1,5:1 (rata-rata peningkatan bobot 0,0281 g/hari, penurunan sebesar 0,0099 g). Hasil menunjukkan bahwa semakin sedikit LDPE yang digunakan maka daya serap air akan semakin besar. Dengan meningkatnya daya serap air, maka penurunan berat akan semakin besar karena pati yang terdapat dalam campuran larut ke dalam air. Seperti yang terlihat pada **Tabel 9**, penurunan bobot pada perbandingan LDPE: pati (9:1) terjadi pada hari ke 8 perendaman. Waktu yang dibutuhkan berbeda 1 hari jika dibandingkan dengan LDPE:pati (1,5:1) yang mengalami penurunan lebih cepat yaitu pada hari ke 7.

Tabel 9. Hasil Pengukuran Laju Transmisi Air

| Hari | Perbandingan LDPE:Pati (g/g) 9:1 | | | Perbandingan LDPE:Pati (g/g) 1,5:1 | | |
|------|-------------------------------------|-------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------|-----------------------|
| | Berat (g) | % Transmisi | Kecepatan (g/menit) | Berat (g) | % Transmisi | Kecepatan (g/menit) |
| 1 | 0,2286 | - | - | 0,2039 | - | - |
| 2 | 0,2310 | 1,05 | $3,33 \times 10^{-6}$ | 0,2464 | 20,84 | $5,90 \times 10^{-5}$ |
| 3 | 0,2563 | 10,95 | $3,51 \times 10^{-5}$ | 0,3124 | 26,79 | $9,17 \times 10^{-5}$ |
| 4 | 0,2606 | 1,68 | $5,97 \times 10^{-6}$ | 0,3198 | 2,37 | $1,03 \times 10^{-5}$ |
| 5 | 0,2643 | 1,42 | $5,14 \times 10^{-6}$ | 0,3302 | 3,25 | $1,44 \times 10^{-5}$ |
| 6 | 0,2715 | 2,72 | 1×10^{-6} | 0,3729 | 12,93 | $5,93 \times 10^{-5}$ |
| 7 | 0,2771 | 2,06 | $7,78 \times 10^{-6}$ | 0,3592 | -3,67 | $1,90 \times 10^{-5}$ |
| 8 | 0,2751 | -0,72 | $2,78 \times 10^{-6}$ | 0,3388 | -5,68 | $2,83 \times 10^{-5}$ |
| 9 | 0,2699 | -1,89 | $7,22 \times 10^{-6}$ | 0,3353 | -1,03 | $4,86 \times 10^{-6}$ |
| 10 | 0,2653 | -1,70 | $6,38 \times 10^{-6}$ | 0,3231 | -3,64 | $1,69 \times 10^{-5}$ |

Selain persen transmisi, laju (kecepatan) penyerapan juga dapat dihitung. Laju penyerapan berbanding lurus dengan peningkatan bobot, dan persen transmisi. Semakin besar persentase transmisi yang dihasilkan, maka akan semakin tinggi kecapat penyerapan. Hubungan antara lama perendaman dan peningkatan berat selama perendaman dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 13.



Gambar 16. Perbandingan Pengukuran Laju Transmisi Air.
a) Warna Biru 9:1 b) Warna Merah 1,5:1

4.9 Uji Densitas (Kerapatan)

Menurut Harper (1975), pada polietilen jenis LDPE terdapat sedikit cabang pada rantai antara molekulnya yang menyebabkan plastik ini memiliki densitas yang rendah. Pengukuran nilai densitas pada plastik sangat penting, karena densitas dapat menunjukkan struktur plastik secara umum. Aplikasi dari hal tersebut yaitu dapat dilihat kemampuan plastik dalam melindungi produk dari beberapa zat seperti air, O₂ dan CO₂. Birley, *et al.* (1988), mengemukakan bahwa plastik dengan densitas yang rendah menandakan bahwa plastik tersebut memiliki struktur yang terbuka, artinya mudah atau dapat ditembus fluida seperti air, oksigen atau CO₂. Jadi tidak seperti pada kertas, nilai densitas plastik sangat penting dalam menentukan sifat-sifat plastik yang berhubungan dengan pemakaiannya.

Berdasarkan pengujian densitas menggunakan metode piknometer, diperoleh nilai densitas campuran LDPE dan pati sagu yaitu sebesar 1,18 g/cm³. Menurut Cowd (1991), nilai densitas plastik jenis LDPE yaitu sebesar 0,92 g/cm³. Hasil penelitian yang diperoleh mengindikasikan kerapatan plastik yang terbentuk antara LDPE dan pati sagu lebih tinggi jika dibandingkan dengan LDPE itu sendiri. Perbedaan atau peningkatan densitas campuran mungkin lebih tinggi karena pengaruh kombinasi. Pada penelitian ini, seharusnya dilakukan uji densitas masing-masing bahan, dan kemudian dibandingkan ketika bahan tersebut termodifikasi. Dengan demikian akan lebih nampak pengaruh bahan yang digunakan terhadap peningkatan maupun penurunan densitas dari plastik yang dihasilkan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Nilai mekanik plastik dari campuran LDPE dan pati sagu dengan perbandingan (b/b) 9:1, dengan kekuatan tarik sebesar $5,24 \text{ kgf/mm}^2$ dan elongasi sebesar 25,71 %, sedangkan pada perbandingan 1,5:1 diperoleh kekuatan tarik sebesar $3,73 \text{ kgf/mm}^2$, dan elongasi sebesar 20 %
2. Hasil FTIR menunjukkan berbagai serapan pada spektrum bilangan gelombang. Selain itu, diperoleh bahwa jenis reaksi adalah reaksi monosubstitusi dengan kristal berbentuk amorf.
3. Rata-rata nilai laju biodegradasi untuk perbandingan 9:1 yaitu sebesar 0,192 g/hari dengan persen degradasi yaitu 12,60 % selama 30 hari, sedangkan pada perbandingan 1,5:1 diperoleh rata-rata nilai laju degradasi yaitu sebesar 0,0244 g dengan persen degradasi sebesar 18,59 % selama 30 hari penguburan dalam tanah.
4. Berdasarkan analisis orde dan konstanta degradasi, maka diperoleh jangka waktu yang diperlukan oleh film plastik terbiodegradasi untuk hilang dalam tanah atau berkurang sampai tersisa 1 %, untuk perbandingan 9:1 yaitu selama 307,65 hari (± 11 bulan), sedangkan untuk perbandingan 1,5:1 akan habis dalam tanah dengan jangka waktu 201,13 hari (± 7 bulan)

5.2 Saran

Pembuatan polimer utamanya sebagai plastik memiliki banyak spesifikasi. Hal ini bisa dilakukan dengan berdasarkan pada sifat mekanik plastik, maupun saat plastik dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu disarankan untuk peneliti selanjutnya agar melakukan penentuan jenis mikroba, pengaruh pH, dan jumlah komponen dalam tanah, sehingga diketahui sejauh mana pengaruh komponen tanah terhadap laju biodegradasi. Selain itu, diperlukan uji kekuatan/ketahanan terhadap zat-zat kimia yang bersifat asam maupun basa, sehingga diketahui spesifikasi yang tepat dalam penerapan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim a, 2015, Profil Bank Sampah Indonesia, Direktorat Jendral Pengelolaan Sampah, Limbah, dan Bahan Beracun Berahaya, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kesehatan.
- Anonim b, 2015, Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2014, Balai Lingkungan Hidup, Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan.
- Afrozi, A., 2010, Sintesis dan Karakteristik Katalis Nanokomposit Berbasis Titania Untuk Produksi Hidrogen dari Gliserol dan Air. Depok: Departemen Teknik Kimia Univrsitas Indonesia.
- Akbar, F., Anita, Z., Harahap, H., 2013, Pengaruh Waktu Simpan Plastik Biodegradasi dari Pati Kulit Singkong Terhadap Sifat Mekanikalnya, *Departemen Teknik Kimia, Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(2).
- Ben, E., 2007, Study Awal Pemisahan Amilosa dan Amilopektin Pati Singkong Dengan Fraksinasi Butanol-Air, Jurusan Sains dan Teknologi Farmasi, 12:1-11.
- Badan Pengawasan Obat dan Makanan (BPOM), 2008.
- Cowd, M.A., 1991, *Kimia Polimer*, Diterjemahkan oleh Firman, H., ITB Bandung.
- Creswell, C. J., Runquit, O. A., Campbell, M, 2005, Analisis Spektrum Senyawa Organik, Diterjemahkan Oleh Padmawinata, K., dan Soediro, I., ITB, Bandung.
- Darni, Y., Cici, A., dan Ismiyati, D. S., 2008, Sintesa Bioplastik dari Pati Pisang dan Gelatin dengan Plastisizer Gliserol,” *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II*, Universitas Lampung.
- Deswita., Aloma, K. K., Sudirman., dan Gunawan, I., 2007, Modifikasi Polietilen Sebagai Polimer Komposit Biodegradabel Untuk Bahan Kemasan, Pusat *Teknologi Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN*.
- Ebewele, R. O., 2000, *Polimer Science and Technology*, Department of Chemical Engineering, University of Benin, Nigeria.
- Habibi, Y., Waked, K., Zawani, E., Ibrahim, M.M., dan Dufresne, A., 2008, Processing and Characterization of Reinforced Polyethylene Composites Made With Lignocellulosic Fibers From Egyptian Agro-industrial Residues, *Composite Science and Technologi*, In Press, 1-9.

- Hamid, T. F. Z., 2008, Pengaruh Modifikasi Kimia Terhadap Sifat Sifat Komposit Polietilena Densitas Rendah (LDPE) Terisi Tempurung Kelapa, Tesis, Pascasarjana USU, Medan.
- Harsojuwono, B.A., 2011, Penentuan Formula Komposit Plastik Bidegradabel Glukomannan dari Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* B) Ditinjau dari Karakteristik Fisik dan Mekanis, *The Exllences Research*, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Universitas Udayana.
- Howard, L. R., dan Dewi, T. 1995. Sensory, Microbiological and Chemical Quality of Mini-Peeled Carrots as Affected by Edible Coating Treatment. *J. Food Sci.* **60**(1):142-144.
- Huda, T., dan Firdaus, F., 2007, Karakterisasi Fisikokimiawi Film Plastik Biodegradabel dari Komposit Pati Singkong-Ubi Jalar, *Logika*, **4**(2):1410-2315.
- Hugh, T. H., Bustilos, A. R., dan Krochta, J. M. 1993. Hydrophilic Edible Films Modified procedure for water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effect. *J. Food Sci.* **58**(4):899-903.
- Jading, A., Tethool, E., Payung, P., Gultom, S., 2011, Karakteristik Fisikokimiawi Pati Sagu Hasil Pengeringan Secara Fluidisasi Menggunakan Alat Pengering Cross Flow Fluidized BED Bertenaga Surya dan Biomassa, *Reaktor*, **13**(3):155-164.
- Kalambur, S., dan Rizvi, S.S.H, 2006, An Overview of Starch-Based Plastic Blends From Reactive Extrusion, *J. Plast Film Sheet*, **22**:39-58
- Karmila, N., 2007, Pembuatan Bioplastik Dari Pati Sagu (Metroxylin Sago Rattb) dan Khitosan Dengan Pemplastis Gliserol, *Skripsi*, Jurusan Teknik Kimia, F. MIPA, Unsyiah, Banda Aceh.
- Kricheldor, H.R., Oskar, N., Graham, S., 2005, Haandbook of Polymer Synthesis, *Seceond Edition*, Marce Dekker, New York.
- Krisna, D. D. A., 2011, Pengaruh Regelatinasi dan Modifikasi Hidrotermal Terhadap Sifat Fisik pada Pembuatan Edibel Film dari Pati Kacang Merah (*Vigna angularis* sp), Tesis, Program Studi Magister Teknik Kimia, UNDIP.
- Krochta, J. W., and Mulder, J. C., 1997. Edible And Biodegradable Polymer Film: Challenges And Opportunities. *J. Food Tech.* **51** (2): 61-74.
- Leja, K., dan Lewandowicz, G., 2010, Polimer Biodegradation and Biodegradabel Polimer Polimers – a Review, *Polish J. Environ. Stud.* **19**(2):255-206.
- Lim, C. C., 1999, Biodegradable Plastic, *Chemistry Social Relevance Report*.

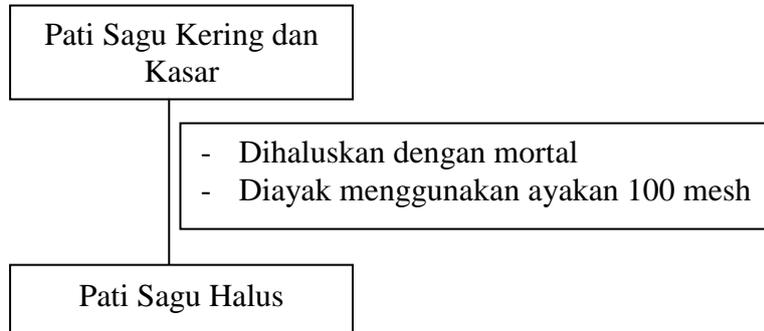
- Marbun, E. S., 2012, Sintesis Bioplastik Dari Pati Ubi Jalar Menggunakan Penguat Logam ZnO dan Penguat Alami Selulosa, *Skripsi*, Teknik Kimia, UI.
- Matel, M., Maria, O., Zuzana, N., Katarina, O., Mirosalva, T., dan Ivan, C., 2006, Effect Crosslinking on the Properties Of Composite Base on LDPE and Conducting Organic Filler. *Eu Polym. J*, 25: 178-219.
- Mehyar, G.F., dan Han, J.H., 2004. Physical and Properties of High-amylose Rice and Pea Starch Films as Affected by Relative Humidity and Plasticizer. *J. Food Sci.* **69**(9): 449-454
- Muthawali, 2011, Kelapa Sawit, Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Myllarine, 2011, Effect of Glycerol on Behaviour of amylase and amylopectin films. *Carbohydrate Polym*, 50:355-361
- Pasaribu, F., 2009, *Peranan Gliserol Sebagai Plastizier Dalam Film Pati Jagung Dengan Pengisi Serbuk Halus Tongkol Jagung*. Medan: Pascasarjana Universitas Sumatra Utara.
- Pradipta, I.M.D., dan Mawarani, L.J., 2012, Pembuatan dan Karakterisasi Polimer Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Glukomannan Umbi Porang, *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, **1**(1):1-6.
- Pranamuda, H., 2006, Pengembangan Bahan Plastik Biodegradabel Berbahan Baku Pati Tropis, *Majalah Ilmiah Biology Resourches*, Universitas Negeri Semarang
- Rodriguez, M., Oses, J., Khalid, Z., Juan, M. I., 2006. Combined Effect of Plastizers and Surfactants on the Physical Properties of Starch Based Edible Film. *J. Food Res. Int.* **39**: pp 840-646.
- Rohaeti, E., 2009, Karakterisasi Biodegradabel Polimer, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*.
- 2005, Kajian Sintesis poliuretan dan karakterisasinya, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*, FMIPA UNY, Yogyakarta, K1-K9.
- Sanjaya, I. G., dan Puspitas, T., 2011, *Pengaruh Penambahan Khitosan dan Plasticizer Gliserol Pada Karakteristik Plastik Biodegradable Dari Pati Limbah Kulit Singkong*. Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
- Siregar, A., 2009, Pengaruh Benzoil Peroksida Pada Degradasi Termal Polipropilena, *Skripsi*, Departemen Kimia FMIPA Universitas Sumatera Utara, Medan.

- Stevens, M. P., 2007, *Polimer Chemistry*, Diterjemahkan Oleh Iis Sofyan, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Suka, I.G., 2006, Fungsionalis Film Polietilen dengan Polimer Peka Suhu dengan Metode Fotografting, *Jurnal Kimia Indonesia*, **1**(2): 81-86.
- Supri, 2003, Kopolimerisasi Cangkok Gugus Reaktif Asam Adipat Dan Polistirena Dengan Inisiator Benzoil Peroksida, *Jurnal Sains Kimia*, **7**(1):1-3.
- Susilawati., Mustafa, I., Maulina, D., 2011, Biodegradable Plastics From A Mixture of Low Density Polyethylene (LDPE) and Cassava Starch With The Addition Of Acrylic Acid, *Jurnal Natural*, **11**(2): Hal 1-5.
- Surdia, T., dan Saito, S., 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita..
- Syamsu, K., Setyowati, K., Khoiri, A. A., 2008, Pengaruh Penambahan Pemlastis (Polietilen Glikol 400, Dietilen Glikol, dan Dimetil Ftalat) Terhadap Proses Biodegradasi Bioplastik Poli- β -Hidroksialkanoat Pada Media Cair Dengan Udara Terlimitasi, *Departemen Teknologi Industri Pertanian*, IPB Bogor.
- Tilene, *Catatan 3, Karakterisasi Material Polimer, Buku Saku: Plastik*, PT. Tri Polyta Indonesia Tbk.
- Tharanathan, R. N., 2003, Biodegradabel Films and Composite Coatings: past presen and future. *Trends in Food Sci and Technol*, 14:71-78, Academi Press. Thailand.
- Thermo, N. C, (2001), Introduction to Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Madison: editor. Dalam Marbun, 2009
- Volpoux, O., dan Averous, L., 2006, Starch-Based Plastics, Latin American, Strachy Tubefs.
- Widyasari, R., 2010, Kajian Penambahan Onggok Termoplastis Terhadap Karakteristik Plastik Komposit Polietilen, *Pascasarjana*, Institute Pertanian Bogor.
- Wiguna, T., 2009, Plastik Dari Sagu dan Sawit. *Jurnal Pertanian*. Institute Pertanian Bogor.
- Yuki., dan Sakamoto, 2012, *Life Cycle Assesment of Biodegradabel Plastics*. Nara Sangyo University. Japan.
- Zhang, Y., dan Han, J.H. 2006. Mechanical and thermal Characteristics of Pea Starch Films Plasticized with Monosaccharides and Polyols. *J. Food Sci.* **71**(2): E109-118.

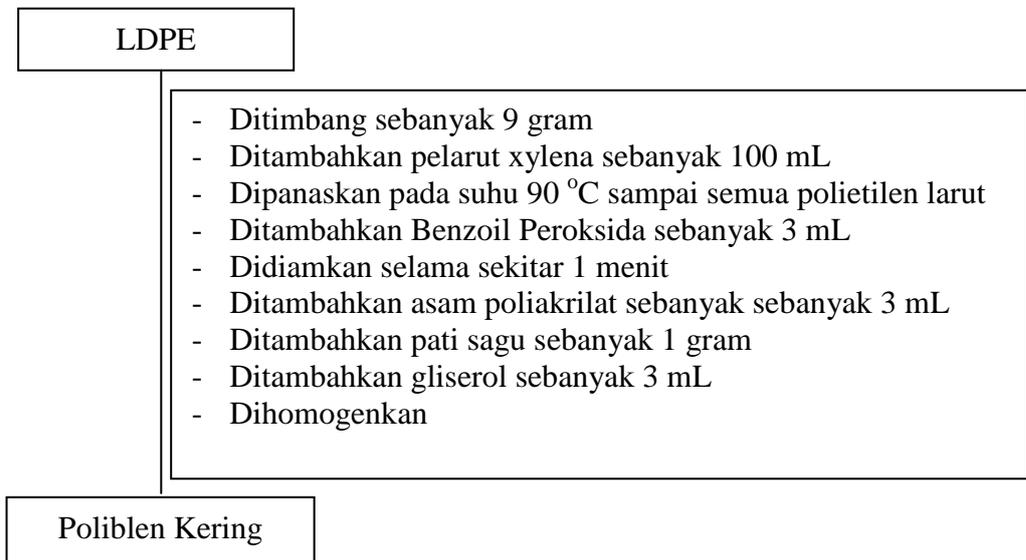
Zulfa, Z., (2011), Pemanfaatan Pati Ubi Jalar Untuk Pembuatan Biokomposit Semikonduktor. Depok: Universitas Indonesia.

LAMPIRAN I. BAGAN KERJA PENELITIAN

A) Preparasi Pati Sagu

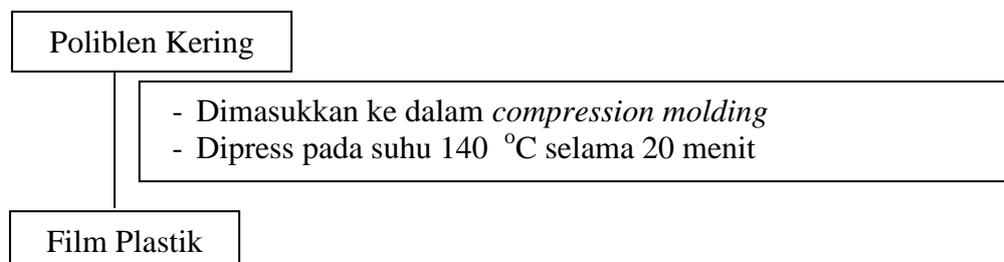


B) Pembuatan Film Plastik

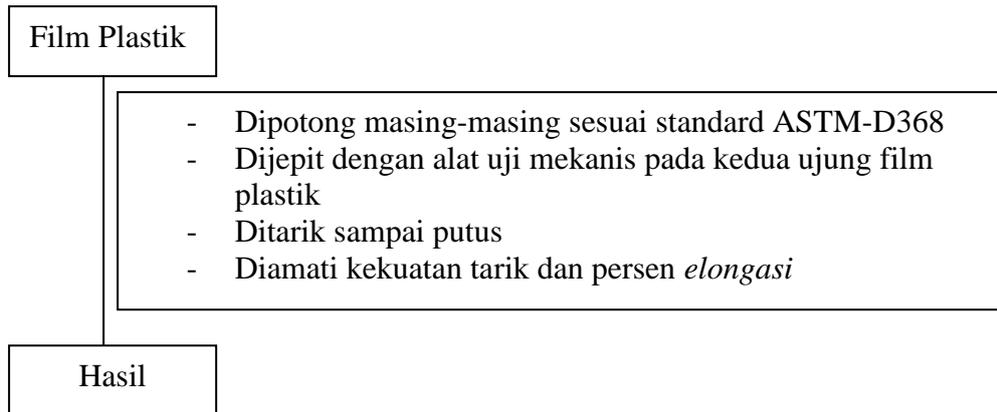


Catatan: Prosedur yang sama dilakukan dengan mengubah variasi perbandingan (b/b) LDPE: pati sagu sebanyak 1,5:1.

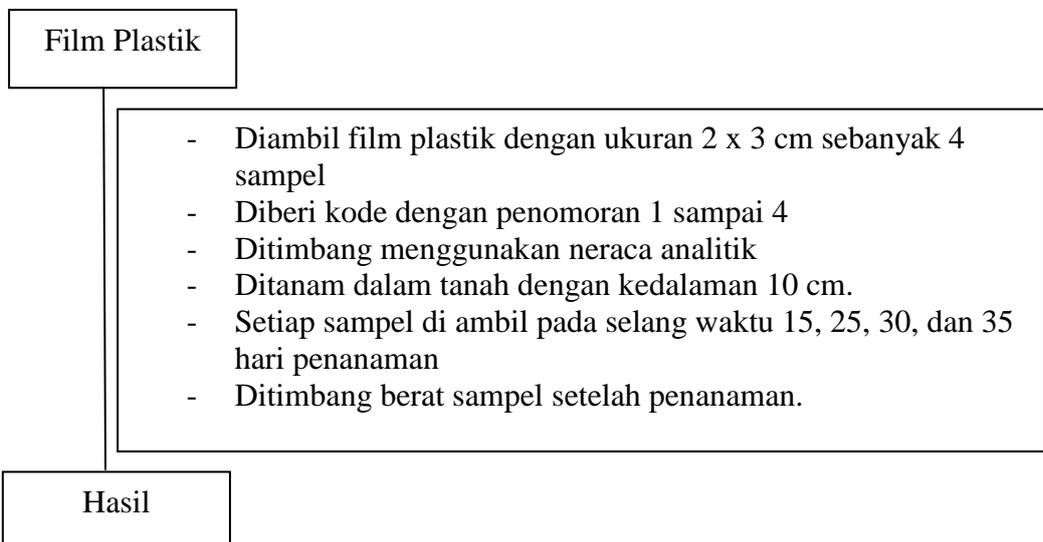
C) Pencetakan Film Plastik



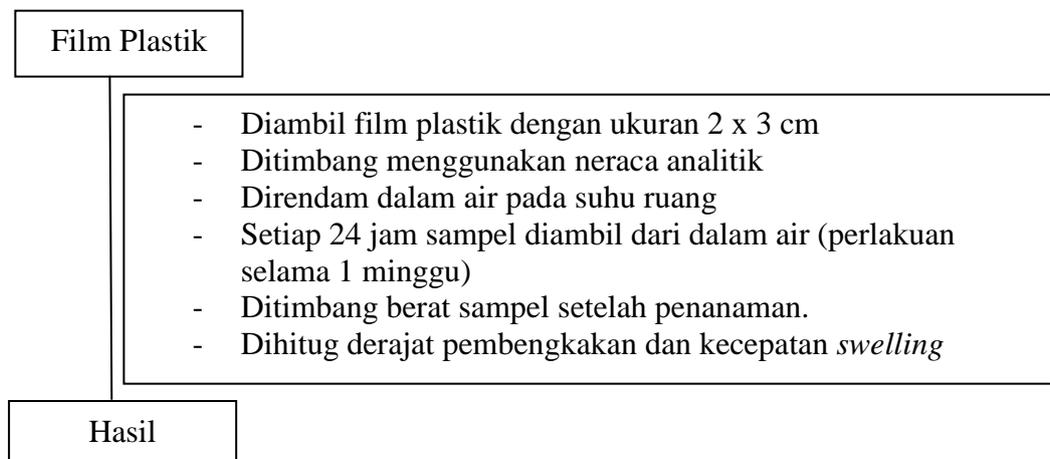
D) Uji Sifat Mekanik



E) Uji Biodegradasi Dalam Tanah



F) Uji Persentase Transmisi dan Kecepatan Transmisi



G) Uji Densitas

Film Plastik

- Ditimbang sebanyak 1 gram
- Dimasukkan ke dalam piknometer
- Dimasukkan pelarut ksilena sebanyak 50 mL
- Dibiarkan selama 24 jam
- Diamati kenaikan volume dalam labu piknometer
- Dihitung densitas film plastik

Hasil

LAMPIRAN 2. PENGOLAHAN DATA

A. Uji Tarik dan Kemuluran (Uji Mekanik)

$$\text{Kekuatan tarik} = \frac{m}{p \times l}$$

$$\text{Kemuluran} = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times 100 \%$$

Perbandingan 9:1

Panjang = 1,76 cm, Lebar = 0,98 cm, Tebal = 0,26 cm

Panjang pengukuran pada alat sebelum ditarik (P_0) = 3,5 cm

Panjang pengukuran pada alat setelah ditarik (P_1) = 4,4 cm

Elongasi = $(P_1 - P_0) : P_0 = (4,4 - 3,5) : 3,5 = 0,9$ cm

$$(0,9 : 3,5) \times 100 \% = 25,71 \%$$

Uji Tarik:

$$24 \text{ kg} : (1,76 \times 0,26) = 52,44 \text{ kg/cm}^2 = 5,24 \text{ kg/mf}$$

Perbandingan 1,5:1

Panjang = 2,08 cm, Lebar = 1,01 cm, Tebal = 0,18 cm

Panjang pengukuran pada alat tarik sebelum ditarik (P_0) = 4,5 cm

Panjang pengukuran pada alat tarik setelah ditarik (P_1) = 5,4 cm

Elongasi = $(P_1 - P_0) : P_0 = (5,4 - 4,5) : 4,5 = 0,9$

$$(0,9 : 4,5) \times 100 \% = 20 \%$$

Uji Tarik:

$$14 \text{ Kg} : (2,08 \times 0,18) = 37,3931 \text{ Kg/cm}^2 = 3,79 \text{ Kg/mf}$$

B. Perhitungan Persentase Biodegradasi Dalam Tanah

$$\% \text{ Biodegradasi} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \%$$

C. Perhitungan Derajat Pembengkakan, dan Kecepatan Swelling

$$\% \text{ Transmisi} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \%$$

$$\text{Kecepatan Transmisi} = \frac{W_1 - W_0}{\text{Waktu}}$$

Keterangan:

m = beban yang digunakan sampai sampel putus

p = panjang sampel (film plastik) uji

l = lebar film plastik

P₀, P₁ = Titik nol penjepit (sebelum ditarik), dan titik akhir (setelah ditarik)

W₀, W₁ = Berat sebelum uji, dan berat setelah uji

D. Perhitungan Densitas (Kerapatan)

Pikno kosong = 40,57 g

Pikno + ksilena = 87,90 g

Volume ksilena = 87.90 g – 40.57 g = 47.33 g

M₂ = Berat sampel = 1,1 g

M₁ = Pikno + ksilena + sampel = 88.90 g

M₃ = Berat setelah 12 jam = 89.10 g

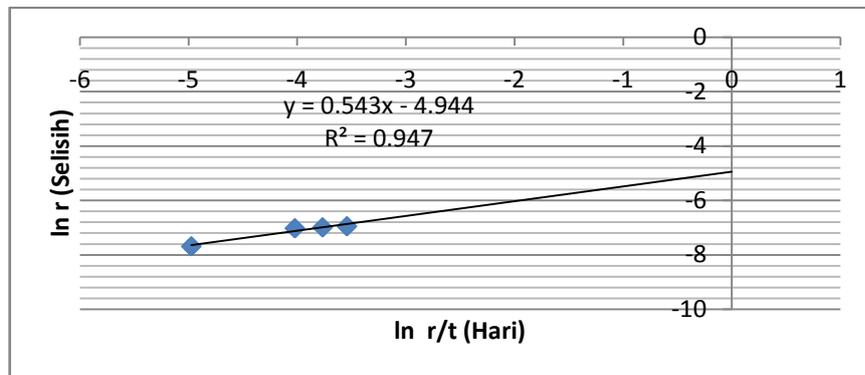
$$\text{Densitas } (\rho_s) = \frac{(\rho_s)(M_2)}{M_1 + M_2 - M_3} = 1,18 \text{ g/cm}^3$$

E. Kinetika Degradasi Sampel Dalam Tanah

Kinetika Degradasi Sampel Dalam Tanah Perbandingan 9:1

a. Grafik Penentuan Orde Reaksi dengan Metode Differensial

| Laju (Selisi) r | Laju/Waktu r/t | ln r | ln r/t |
|-----------------|----------------|---------|---------|
| 0,0069 | 0,00046 | -4,9762 | -7,6843 |
| 0,0179 | 0,000895 | -4,0230 | -7,0187 |
| 0,0231 | 0,000924 | -3,7679 | -6,9868 |
| 0,0289 | 0,000963 | -3,5439 | -6,9455 |



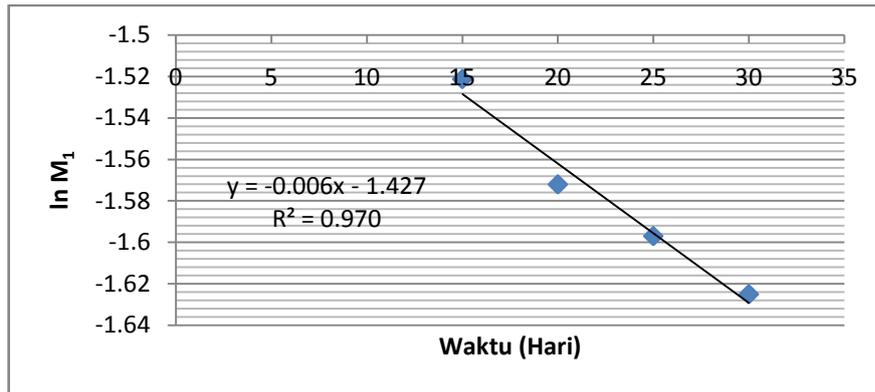
$$y = 0,543x - 4,944$$

$$R^2 = 0,947$$

Slope = 0,543 merupakan orde reaksi. Berdasarkan kemiringan, maka nilai slope masuk ke dalam orde 1.

b. Grafik Penentuan Konstanta Laju Degradasi dengan Metode Integral

| Massa Awal (M_0) g | Waktu (Hari) t | Massa Akhir (M_1) | Ln M_0 | Ln M_1 |
|------------------------|----------------|-----------------------|----------|----------|
| 0,2253 | 15 | 0,2184 | -1,4903 | -1,5214 |
| | 20 | 0,2076 | | -1,5721 |
| | 25 | 0,2025 | | -1,5970 |
| | 30 | 0,1969 | | -1,6250 |



$$\ln M_0 = -(0,006) t + \ln 1,427$$

$$\ln 0,2253 = -(0,006) t + \ln 1,427$$

$$-1,4903 = -(0,006) t + 0,3556$$

$$0,006 t = 1,4903 + 0,3356$$

$$t = \frac{1,4903 + 0,3356}{0,006}$$

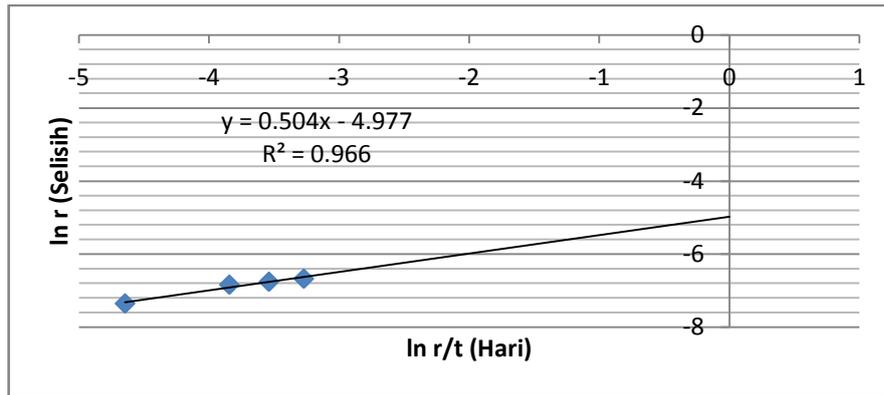
$$= 307,65 \text{ Hari}$$

307,65 hari setara dengan ±11 bulan

Kinetika Degradasi Sampel Dalam Tanah Perbandingan 1,5:1

a. Grafik Penentuan Orde Reaksi dengan Metode Differensial

| Laju (Selisi) r | Laju/Waktu r/t | ln r | ln r/t |
|--------------------|-------------------|---------|---------|
| 0,0096 | 0,00064 | -4,6460 | -7,3540 |
| 0,0214 | 0,00107 | -3,8444 | -6,8401 |
| 0,0290 | 0,00116 | -3,5405 | -6,7593 |
| 0,0379 | 0,00126 | -3,2728 | -6,6766 |



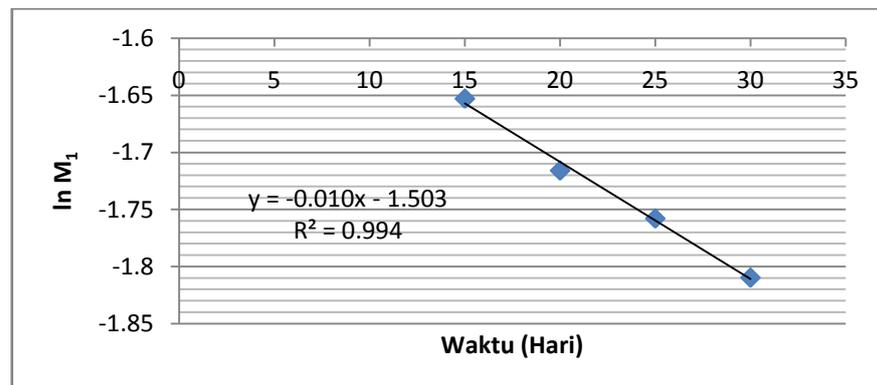
$$y = 0,504x - 4,977$$

$$R^2 = 0,966$$

Slope = 0,504 merupakan orde reaksi. Berdasarkan kemiringan, maka nilai slope masuk ke dalam orde 1

b. Grafik Penentuan Kosntanta Laju Degradasi dengan Metode Integral

| Massa Awal (M_0) g | Waktu (Hari) t | Massa Akhir (M_1) | $\ln M_0$ | $\ln M_1$ |
|------------------------|----------------|-----------------------|-----------|-----------|
| 0,2011 | 15 | 0,1915 | -1,6040 | -1,6529 |
| | 20 | 0,1798 | | -1,7159 |
| | 25 | 0,1724 | | -1,7579 |
| | 30 | 0,1637 | | -1,8097 |



$$\ln M_0 = -(0,010) t + \ln 1,503$$

$$\ln 0,2011 = -(0,010) t + \ln 1,503$$

$$-1,6039 = -(0,010) t + 0,4074$$

$$0,006 t = 1,6039 + 0,4074$$

$$t = \frac{1,6039 + 0,4074}{0,010}$$

$$= 201,13 \text{ Hari}$$

201,13 hari setara dengan ± 7 bulan

LAMPIRAN 3. REAKSI (Susilawati *et al.* 2011)

Keseluruhan Tahap Reaksi

Gambar 19. Kemungkinan Reaksi Polimerisasi

**LAMPIRAN 4. KARAKTERISTIK MATERIAL POLIMER
BERDASARKAN STANDAR (ASTM)**

Tabel 10. Karakterisasi polietilen densitas rendah (LDPE)

| No | Karakteristik | Nilai/satuan standard ASTM | Kode |
|-----------|--|---------------------------------------|-------------------|
| 1 | <i>Density</i> | 910-925 kg/m ³ | D792 dan D1505 |
| 2 | <i>Tensile Strength</i> | 9-15 Mpa | D368 |
| 3 | <i>Tensile Elongation</i> | 150-600 % | D368 |
| 4 | <i>Flexural Modulus</i> | 240-330 (Mpa) | D790A |
| 5 | <i>Notched Izod Impact Strength</i> | <i>no break</i> | D256 |
| 6 | <i>Hardness</i> | 42-46 (R scale) | D785 |
| 7 | <i>Heat Deflection Temperature (HDT)</i> | 38-49 °C | D648 |
| 8 | <i>Vicat Softening Point (VSP)</i> | 88-100 °C | D1525B |
| 9 | <i>Melting Point</i> | 98-115 °C | D3418 |

(Sumber: Trilene: PT. Tri Polyta Indonesia Tbk)

LAMPIRAN 5. KODE PENGGUNAAN PLASTIK

Tabel 11. Kode jenis plastik yang lazim digunakan untuk kemasan makanan

| Jenis Polimer | Kode | Sifat | Penggunaan |
|---|---|---|---|
| <i>Polietilen tereftalat</i> (PET) |  | Jernih, kuat, tahan pelarut, kedap gas dan air, melunak pada suhu 80 °C | Botol minuman, minyak goreng, selai peanut butter, kecap dan sambal, tray biskui |
| <i>High density polyethylene</i> (HDPE) |  | Keras hingga semi fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban, permeable terhadap gas, permukaan berkilin, buram, mudah diwarnai, diproses dan dibentuk, melunak pada suhu 70 °C | Botol susu cair dan juice, tutup plastik, kantong belanja dan wadah es krim |
| Polivinil klorida (PVC) |  | Kuat, keras, bisa jernih, bentuk dapat diubah dengan pelarut, melunak pada suhu 80 °C | Botol jus, air mineral, minyak sayur, kecap, sambal, pembungkus makanan (food wrap) |
| Low density Polyethylene (LDPE) |  | Mudah diproses, kuat, fleksibel, kedap air, permukaan berkilin, tidak jernih tapi tembus cahaya, melunak pada suhu 70 °C | Pot yoghurt, kantong belanja (kresek), kantong roti dan makanan segar, botol yang dapat ditekan |
| Polipropilen (PP) |  | Keras tapi fleksibel, kuat, permukaan berkilin, tidak jernih tapi tembus cahaya, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak, melunak pada suhu 140 °C | Pembungkus biskuit, kantong chips kentang, krat sereal, pita perekat kemasan dan Sedotan |
| Polistiren (PS) |  | Jernih seperti kaca, kaku, getas, buram, terpengaruh lemak dan pelarut, mudah dibentuk, melunak pada suhu 90 °C | Wadah makanan beku, sendok, garpu |
| Polistirene Busa (EPS-Styrofoam) |  | Bentuk busa, ringan, getas, kaku, biasanya berwarna putih | Wadah makanan siap saji, cup kopi |
| Other |  | Keras, jernih, tahan panas | Galon air mineral, botol susu bayi |
| Melamin Formaldehid (MF) | Tidak dapat didaur ulang (<i>termoset</i>) | Keras, kuat, mudah diwarnai, bebas rasa dan bau, tahan terhadap pelarut dan noda, kurang tahan terhadap asam dan alkali | Peralatan makan: gelas, mangkuk, sendok, dan piring |

Sumber: Badan Pengawasan Obat dan Makanan (BPOM) (2008).

LAMPIRAN 6. TOTAL SAMPAH INDONESIA TAHUN 2013-2014

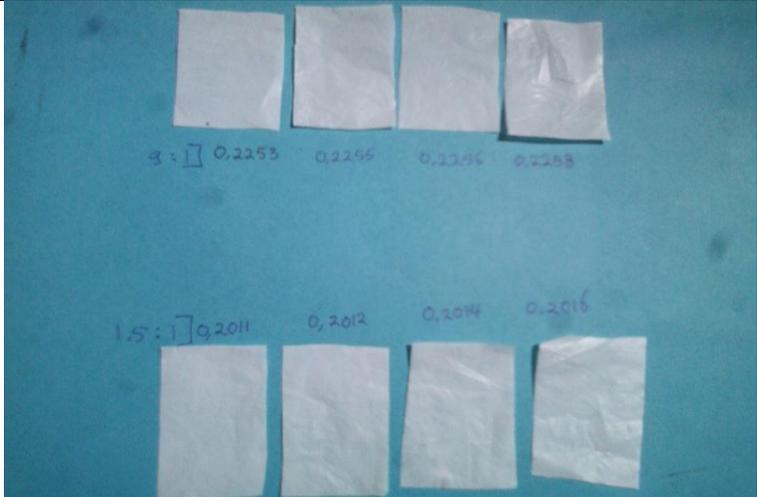
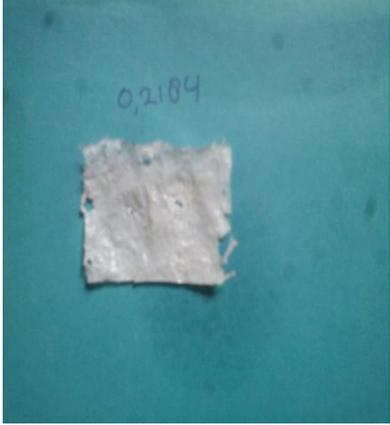
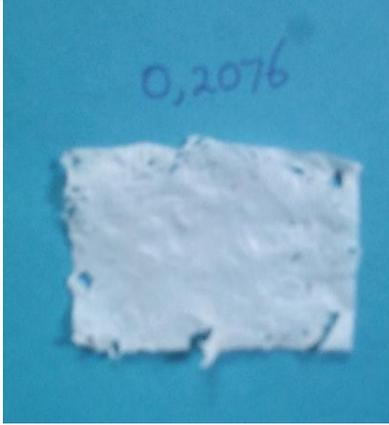
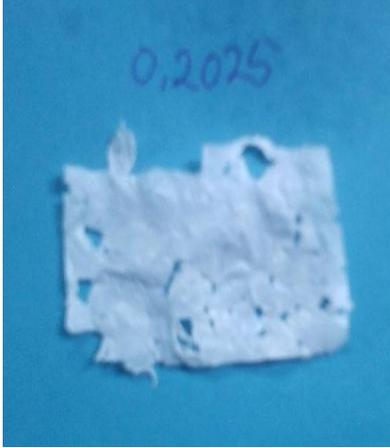
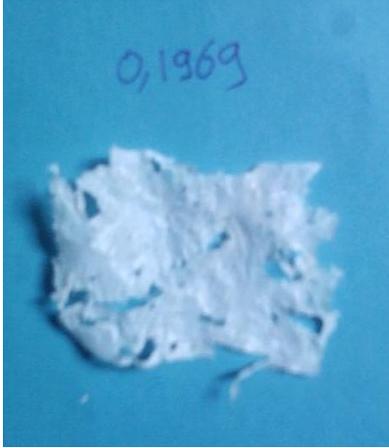
| Provinsi | Sampah Dipilah (%) 2013 | | | Sampah Tidak dipilah |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------|----------------------|
| | Dipilah dan sebagian dimanfaatkan | Dipilah kemudian dibuang | Total | |
| Aceh | 5,07 | 13,72 | 18,79 | 81,21 |
| Sumatera Utara | 10,94 | 8,67 | 19,61 | 80,39 |
| Sumatera Barat | 3,67 | 13,80 | 17,47 | 82,53 |
| Riau | 7,48 | 13,40 | 20,87 | 79,13 |
| Jambi | 5,83 | 10,28 | 16,10 | 83,90 |
| Sumatera Selatan | 5,86 | 17,32 | 23,18 | 76,82 |
| Bengkulu | 6,27 | 12,63 | 18,90 | 81,10 |
| Lampung | 5,46 | 10,83 | 16,29 | 83,71 |
| Kep. Bangka Belitung | 4,83 | 18,49 | 23,32 | 76,68 |
| Kepulauan Riau | 4,92 | 15,09 | 20,01 | 79,99 |
| DKI Jakarta | 3,74 | 10,48 | 14,23 | 85,77 |
| Jawa Barat | 14,93 | 15,59 | 30,52 | 69,48 |
| Jawa Tengah | 13,37 | 14,04 | 27,41 | 72,59 |
| DI Yogyakarta | 13,07 | 18,19 | 31,26 | 68,74 |
| Jawa Timur | 9,91 | 10,01 | 19,93 | 80,07 |
| Banten | 9,24 | 9,18 | 18,42 | 81,58 |
| Bali | 18,11 | 13,07 | 31,17 | 68,83 |
| Nusa Tenggara Barat | 9,54 | 8,29 | 17,83 | 82,17 |
| Nusa Tenggara Timur | 19,40 | 10,23 | 29,63 | 70,37 |
| Kalimantan Barat | 5,83 | 9,97 | 15,80 | 84,20 |
| Kalimantan Tengah | 6,78 | 17,06 | 23,84 | 76,16 |
| Kalimantan Selatan | 5,09 | 15,02 | 20,11 | 79,89 |
| Kalimantan Timur | 5,66 | 23,37 | 29,03 | 70,97 |
| Sulawesi Utara | 6,04 | 28,91 | 34,95 | 65,05 |
| Sulawesi Tengah | 11,45 | 18,51 | 29,95 | 70,05 |
| Sulawesi Selatan | 9,75 | 18,83 | 28,58 | 71,42 |
| Sulawesi Tenggara | 4,66 | 22,13 | 26,78 | 73,22 |
| Gorontalo | 2,83 | 19,41 | 22,25 | 77,75 |
| Sulawesi Barat | 5,11 | 15,42 | 20,52 | 79,48 |
| Maluku | 2,67 | 12,92 | 15,59 | 84,41 |
| Maluku Utara | 2,36 | 14,23 | 16,59 | 83,41 |
| Papua Barat | 6,35 | 21,63 | 27,98 | 72,02 |
| Papua | 4,28 | 12,70 | 16,98 | 83,02 |
| Indonesia | 10,28 | 13,41 | 23,69 | 76,31 |

| Provinsi | Sampah Dipilah (%) 2014 | | | Sampah Tidak dipilah |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------|----------------------|
| | Dipilah dan sebagian dimanfaatkan | Dipilah kemudian dibuang | Total | |
| Aceh | 7.30 | 9.93 | 17.23 | 82.77 |
| Sumatera Utara | 7.66 | 7.36 | 15.02 | 84.98 |
| Sumatera Barat | 4.80 | 8.25 | 13.05 | 86.95 |
| Riau | 5.84 | 10.20 | 16.04 | 83.96 |
| Jambi | 3.26 | 7.88 | 11.14 | 88.85 |
| Sumatera Selatan | 3.08 | 9.22 | 12.30 | 87.70 |
| Bengkulu | 3.28 | 7.48 | 10.76 | 89.24 |
| Lampung | 6.88 | 8.43 | 15.31 | 84.69 |
| Kep. Bangka Belitung | 4.02 | 9.56 | 13.58 | 86.42 |
| Kepulauan Riau | 3.88 | 11.89 | 15.77 | 84.23 |
| DKI Jakarta | 3.39 | 7.95 | 11.34 | 88.65 |
| Jawa Barat | 11.28 | 11.36 | 22.64 | 77.36 |
| Jawa Tengah | 10.95 | 11.09 | 22.04 | 77.96 |
| DI Yogyakarta | 16.15 | 11.45 | 27.60 | 72.40 |
| Jawa Timur | 8.39 | 7.10 | 15.49 | 84.51 |
| Banten | 9.63 | 7.68 | 17.31 | 82.69 |
| Bali | 15.17 | 10.49 | 25.66 | 74.33 |
| Nusa Tenggara Barat | 7.61 | 4.10 | 11.71 | 88.29 |
| Nusa Tenggara Timur | 20.37 | 7.45 | 27.82 | 72.18 |
| Kalimantan Barat | 5.59 | 9.44 | 15.03 | 84.98 |
| Kalimantan Tengah | 7.59 | 16.53 | 24.12 | 75.87 |
| Kalimantan Selatan | 3.96 | 12.71 | 16.67 | 83.33 |
| Kalimantan Timur | 5.62 | 13.94 | 19.56 | 80.43 |
| Sulawesi Utara | 4.68 | 23.81 | 28.49 | 71.51 |
| Sulawesi Tengah | 5.26 | 14.86 | 20.12 | 79.88 |
| Sulawesi Selatan | 11.78 | 20.10 | 31.88 | 68.11 |
| Sulawesi Tenggara | 5.63 | 16.62 | 22.25 | 77.75 |
| Gorontalo | 3.48 | 10.90 | 14.38 | 85.62 |
| Sulawesi Barat | 2.73 | 11.49 | 14.22 | 85.78 |
| Maluku | 4.20 | 10.46 | 14.66 | 85.34 |
| Maluku Utara | 1.84 | 6.34 | 8.18 | 91.82 |
| Papua Barat | 4.92 | 20.98 | 25.90 | 74.10 |
| Papua | 6.83 | 11.27 | 18.10 | 81.90 |
| Indonesia | 8.75 | 10.09 | 18.84 | 81.16 |

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup (Anonim a dan b)

DOKUMENTASI

| Tahapan Kerja | Dokumentasi |
|---------------------------------------|--|
| Poliblend Kering Hasil Refluks |  <p data-bbox="751 707 1259 741">Hasil blending tampak dari permukaan</p> |
| |  <p data-bbox="767 1075 1240 1108">Hasil blending tampak dari samping</p> |
| Compress Molding |  <p data-bbox="911 1520 1094 1554">Merck Forney</p> |
| Uji Sifat Mekanik |  <p data-bbox="716 1924 1294 1957">Tension and Compression Testing Machine</p> |

| Tahapan Kerja | Dokumentasi | |
|---|---|---|
| <p data-bbox="328 947 505 1111">Uji Biodegradasi Dalam tanah selama 30 Hari</p> |  <p data-bbox="576 837 1323 869">Bentuk Permukaan Film Plastik Sebelum Uji Biodegradasi</p> | |
| |  <p data-bbox="687 1355 788 1386">15 Hari</p> |  <p data-bbox="1118 1355 1219 1386">20 Hari</p> |
| |  <p data-bbox="687 1874 788 1906">25 Hari</p> |  <p data-bbox="1118 1874 1219 1906">30 Hari</p> |
| | <p data-bbox="531 1910 1326 1942">Bentuk Permukaan Film Plastik Setelah Uji Biodegradasi (9:1)</p> | |

| Tahapan Kerja | Dokumentasi |
|--|--|
| <p>Uji Densitas (Didiamkan selama 12 Jam Dalam Piknometer)</p> |  <p>Piknometer 50 mL</p> |

BIODATA PENULIS



Alhamdulillah, skripsi telah selesai dengan baik meski butuh waktu yang lama untuk menyelesaikannya, sebab “rintangan akan selalu datang menerpa”. Nama lengkap Asrar Rahman S, sering dipanggil Asrar ataupun Acca. Penulis berasal dari Suku Mandar Majene, Kec. Pamboang, Lahir di Puare, Desa Simbang (Dimekarkan Menjadi Desa Buttu Pamboang), pada hari sabtu tanggal 2 Juni 1990. Menamatkan jenjang pendidikan di SDN 16 Puare, SMPN 04 Simbang, SMAN 1 Pamboang, dan perguruan tinggi

negeri Universitas Hasanuddin Makassar. Selama jenjang pendidikan, telah memangku beberapa jabatan struktural dalam organisasi, diantaranya Ketua Osis SMPN 04 Simbang, Ketua Himpunan Mahasiswa Islam (HmI) Komisariat MIPA Unhas, Pengurus Himpunan Mahasiswa Kimia (HMK) FMIPA Unhas Bidang Riset dan Edukasi, Pengurus Himpunan Mahasiswa Kimia Indonesia (IKAHIMKI) Bidang Kimia Pendidikan, Anggota Forum Silaturahmi Lingkup Mahasiswa (FSLK) Unhas, Sekretaris Bidang Akademik dan Kemahasiswaan Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Unhas, Bendahara Majelis Permusyawaratan Mahasiswa (MAPERWA) FMIPA Unhas, Pengurus Komunitas Pecinta Alam *Organization Of Green Chemistry* (KPL- OZONE) Kimia FMIPA Unhas, Pengurus Ikatan Pemuda Pelajar Mahasiswa Indonesia Mandar Majene (IPPMIMM)/ Dewan Pengurus Komisariat (DPK) Pamboang Bidang Perekrutan dan Pengembangan Anggota. Bukan hanya organisasi, penulis adalah seorang koordinator asisten pada praktikum kimia dasar I dan II, dari sini penulis mendapat julukan Asisten Terkiller dalam ruang praktikum, tapi humoris di luar parktikum. Penulis juga sebagai asisten kimia organik pada tingkat jurusan, seorang guru privat matematika, dan *event organizer* Fajar Pendidikan Makassar.

Penulis aktif dalam karya tulis ilmiah, essay, gagasan tertulis, dan karya cipta. Hal ini yang menjadikan penulis bersama timnya masuk dalam nominasi 9 Besar *Tanoto Student Research Awards* Unhas tahun 2013 dengan mengangkat materi Biokimia khususnya mikroba dan enzim protease, dan selanjutnya meraih juara I Bidang Lingkungan pada Lomba Karya Tulis Kemaritiman Wilayah Sulawesi yang diadakan di Unhas pada tahun 2015 dengan mengangkat materi sistem pengolahan air laut menjadi air tawar menggunakan kombinasi karbon-zeolit. Kemudian, menjadi nominasi dalam *Maritime Youth Competition* dengan mengangkat materi nanozeolit untuk pengolahan air laut di Pulau Barrang Lompo, Makassar. Penulis adalah pengagas Komunitas Karya Tulis FMIPA Unhas dengan nama *Miracle Of Science* dengan tujuan pengembangan anggota dalam bidang penulisan dan penelitian ilmiah. Sebagai peminat dalam ilmu kimia, penulis sangat aktif dalam bidang kimia lingkungan.