

**BIODEGRADASI POLIURETAN HASIL SINTESIS DARI MINYAK
KEDELAI, POLIOKSITILEN GLIKOL MASSA MOLEKUL 400
(PEG400) YANG DIREAKSIKAN DENGAN METILEN-4,4'-
DIFENILDIISOSIANAT (MDI)**

Eli Rohaeti dan Senam

Staf Pengajar Jurdik Kimia FMIPA UNY Karangmalang Yogyakarta 55281

Rohaetieli@yahoo.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini untuk : (1) mempelajari perubahan karakter minyak kedelai sesudah proses oksidasi dengan larutan KMnO_4 30 % (m/v), (2) mensintesis poliuretan dari minyak kedelai sebelum dan sesudah dioksidasi, PEG400 dan MDI serta menentukan keberadaan ikatan silang dalam poliuretan hasil sintesis dari minyak kedelai sebelum dan sesudah dioksidasi, PEG400, dan MDI, (3) mempelajari pengaruh lama inkubasi terhadap degradabilitas poliuretan sesudah dibiodegradasi, (4) menentukan kristalinitas poliuretan sebelum dan sesudah biodegradasi. Poliuretan disintesis dari minyak kedelai (*Soybean Oil/ SBO*) dan minyak kedelai teroksidasi (*Oxydated Soybean Oil/ OSBO*) dengan PEG400 dan MDI pada temperatur kamar diikuti proses *curing* selama 10 jam pada temperatur 70 °C, dan dilanjutkan pada temperatur 100 °C selama 3 jam. Sintesis dilakukan dengan komposisi perbandingan massa SBO/ OSBO : PEG400 : MDI = 1 : 2 : 3. Biodegradasi poliuretan dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme berasal dari lumpur aktif dalam media malka padat dengan temperatur inkubasi 37 °C. Variasi waktu inkubasi berturut-turut adalah 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 hari, dengan penggantian media setiap 5 hari. Karakterisasi poliuretan meliputi penentuan (1) gugus fungsi dengan FTIR, (2) keberadaan ikatan silang melalui uji derajat pengembangan, (3) kehilangan massa setelah dibiodegradasi, (4) laju kehilangan massa, dan (5) derajat kristalinitas dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil oksidasi minyak kedelai meningkatkan intensitas serapan gugus -OH, bilangan hidroksil, massa jenis, titik leleh dan titik didih, sedangkan indeks bias mengalami penurunan. Poliuretan hasil sintesis memiliki serapan khas gugus uretan dan ikatan silang. Poliuretan dari OSBO-PEG400-MDI memiliki ikatan silang lebih banyak. Dengan meningkatnya lama inkubasi terjadi penurunan laju kehilangan massa dan laju paling tinggi pada hari ke-5 inkubasi. Spektrum FTIR poliuretan setelah biodegradasi menunjukkan hilangnya puncak khas gugus uretan dari poliuretan. Hasil penentuan kehilangan massa menunjukkan poliuretan dari SBO-PEG400-MDI memiliki total kehilangan massa paling tinggi. Hasil XRD menunjukkan bahwa biodegradasi menurunkan derajat kristalinitas poliuretan. Kata kunci : biodegradasi, kehilangan massa, kristalinitas, poliuretan.

Abstract

The objective of this research were (1) to learn the characteristics of soybean oil after oxidation by using 30 % (m/v) of KMnO_4 solution, (2) to synthesize polyurethane from soybean oil and oxydated soybean oil, PEG400 and MDI, and than to determine the cross linking of polyurethanes by swelling degree, (3) to learn about the influence of incubation times toward degradability of polyurethane after biodegradation, (4) to determine the degree of crystallinity of the polyurethane before and after biodegradation. Polyurethane was produced from soybean oil and oxydated soybean oil with PEG400 and MDI at room temperature followed by curing process for 10 hours at 70 °C, and was continued at 100 °C for 3 hours. The synthesize was done with mass composition SBO/ OSBO : PEG400 : MDI = 1 : 2 : 3. Biodegradation of polyurethane was done by using

microorganism in an activated sludge of malka medium with incubation temperature of 37 °C. The variation of incubation times were 5, 10, 15, 20, 25, and 30 days, respectively with changes of media every 5 days. Characterizations of polyurethane were analysis : (1) functional groups with Fourier Transform Infra Red (FTIR), (2) the cross linking by swelling degree, (3) the mass loss, (4) the biodegradability, and (5) the degree of crystallinity by using X-Ray Diffraction (XRD). The oxydated soybean oil has increased intensity of -OH functional group, hydroxyl number, density, melting and boiling point, otherwise the refraction index has decreased. The synthesized polyurethane has characteristic absorption of urethane functional group and cross link. Polyurethane of OSBO-PEG400-MDI has cross linking the higher. The increasing of incubation time can decrease biodegradability of polyurethane, and highest biodegradability at 5 days incubation. The FTIR spectrum of polyurethane after biodegradation showed that the specific peak for the urethane group disappeared. The percent of mass loss of polyurethane from SBO-PEG400-MDI has the higher. Identification with XRD showed that the biodegradation can decrease the degree of crystallinity of the polyurethane. Key words : biodegradation, mass loss, crystallinity, polyurethane.

1. Pendahuluan

Penelitian ini berupaya untuk memanfaatkan minyak kedelai di bidang non pangan sebagai bahan dasar dalam pembuatan polimer, khususnya poliuretan. Pemanfaatan minyak kedelai sebagai bahan dasar dalam pembuatan poliuretan merupakan salah satu usaha untuk meningkatkan nilai guna dari minyak kedelai.

Minyak kedelai dapat diekstraksi dari biji kedelai (*Glycine max L*) dengan metode maserasi. Pelarut yang banyak digunakan dalam proses ekstraksi adalah etanol, heksana, etilen diklorida, aseton, isopropanol, dan metanol (Sutisno Koswara, 2007 : 4). Pelarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah *n*-heksana teknis karena kadar minyak dalam biji kedelai kurang dari 25 %, sehingga cara terbaik untuk mengekstraksinya adalah menggunakan pelarut yang mudah menguap seperti *n*-heksana. Minyak kedelai dipilih karena mengandung 85 % asam lemak tak jenuh, terutama asam lemak linoleat yang mengandung 2 ikatan rangkap C=C dalam strukturnya. Melalui oksidasi alkena menjadi 1,2-diol, satu ikatan rangkap C=C asam lemak linoleat dapat membentuk dua gugus hidroksil. Dengan demikian tujuan oksidasi minyak kedelai adalah menambah gugus hidroksil pada minyak kedelai agar poliuretan yang dihasilkan mempunyai sifat fisika dan kimia lebih baik.

Proses oksidasi minyak kedelai merupakan proses pemecahan ikatan rangkap C=C pada asam lemak minyak kedelai dengan menggunakan oksidator. Pada penelitian ini oksidator yang digunakan adalah kalium permanganat (KMnO₄), karena ion permanganat (MnO₄⁻) dalam suasana basa dan dingin (25 °C) dapat mengoksidasi ikatan-ikatan rangkap C=C menghasilkan glikol, yaitu senyawa yang mempunyai dua gugus hidroksil terikat pada dua atom karbon berdampingan. Konsentrasi oksidator KMnO₄ yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 % (m/v). Konsentrasi ini merupakan konsentrasi optimum untuk mengoksidasi asam lemak pada minyak kedelai, berdasarkan penelitian Dwi Destiawan sebelumnya. Karakterisasi yang dilakukan pada minyak kedelai sebelum dan sesudah proses oksidasi meliputi analisis gugus fungsi, bilangan

hidroksil, massa jenis, indeks bias, titik leleh, dan titik didih minyak.

Poliuretan merupakan bahan polimer yang mempunyai ciri khas adanya gugus fungsi uretan (-NHCOO-) dalam rantai utama polimer. Gugus fungsi uretan dihasilkan dari reaksi antara senyawa yang mengandung gugus hidroksil (-OH) dengan senyawa yang mengandung gugus isosianat (-NCO-). Selanjutnya Nicholson (1997) menyatakan bahwa poliuretan merupakan polimer termoset yang terbentuk dari reaksi antara senyawa diisosianat dengan senyawa polifungsi yang mengandung sejumlah gugus fungsi hidroksil (poliol). Sumber poliol yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak kedelai sebelum dan sesudah dioksidasi (*Soybean Oil/ SBO* dan *Oxydated Soybean Oil/ OSBO*), dan polioksietilen glikol massa molekul 400 (PEG400). Senyawa diisosianat yang digunakan pada penelitian ini adalah metilen-4,4'-difenildiisosianat (MDI) karena kereaktifannya yang tinggi. MDI merupakan senyawa diisosianat yang mempunyai tingkat bahaya paling rendah jika dibandingkan dengan diisosianat lainnya. Senyawa diisosianat komersial lainnya yang dapat digunakan dalam sintesis poliuretan adalah heksametilen-1,6-diisosianat (HMDI) dan campuran tolilen-2,4-diisosianat dengan tolilen-2,6-diisosianat (TDI) (Eli Rohaeti, 2003: K3).

Poliuretan memiliki banyak kegunaan, diantaranya sekitar 70 % digunakan sebagai busa, selebihnya sebagai bahan elastomer, lem dan pelapis. Busa poliuretan yang elastis digunakan sebagai isolator, termasuk laminat-laminat tekstil untuk pakaian musim dingin, panel pelindung pada mobil, kain pelapis, tempat tidur, dan karpet dasar spon sintetis, sedangkan busa yang keras digunakan dalam panel-panel konstruksi terisolasi, pengemasan barang-barang lunak dan untuk furnitur ringan (Hartomo, Rusdiharsono, dan Harjanto, 1992: 50; Eddy Tano, 1997: 23-24; Stevens, 2001: 473). Selain itu, poliuretan digunakan sebagai bahan perekat logam, kayu, karet, kertas, kain, keramik, plastik polivinilklorida (PVC), penyambung tangki bahan bakar *cryogenic*, pelindung muka, dan kantong darah.

Penggunaan poliuretan akan terus meningkat mengingat keunggulan sifat dan pemakaiannya cukup praktis (Eli Rohaeti, Surdia, Cynthia L Radiman, dan Ratnaningsih, 2002: 330). Penggunaan poliuretan di Indonesia sebagai bahan pendukung industri masih sangat tergantung pada impor, walaupun beberapa industri sudah mulai mencoba memproduksi poliuretan di dalam negeri. Banyaknya pabrik kertas, furnitur, industri otomotif dan industri alas kaki di Indonesia membuat prospek usaha di bidang poliuretan di masa depan cukup menjanjikan

Masalah yang timbul kemudian akibat peningkatan penggunaan poliuretan adalah makin bertumpuknya limbah poliuretan. Hal ini apabila tidak segera ditanggulangi akan membahayakan kelestarian lingkungan hidup. Cara penanggulangan yang dianggap paling bersahabat dengan lingkungan dan tidak menimbulkan masalah baru adalah dengan proses biodegradasi, yakni perusakan poliuretan dengan cara biologis atau menggunakan mikroorganisme tertentu sebagai pengurainya. Sumber mikroorganisme yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari lumpur aktif IPAL Bantul, Yogyakarta. Pada penelitian ini proses biodegradasi dilakukan selama 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 hari dengan temperatur

inkubasi 37 °C dalam media malka padat. Selama proses biodegradasi, setiap 5 hari sekali dilakukan penggantian media dengan harapan agar mikroorganismenya dalam lumpur aktif akan mendapatkan kembali keadaan yang kaya nutrisi dan dapat meningkatkan kembali aktivitasnya, sehingga diharapkan semakin banyak bagian rantai polimer yang akan terdegradasi. Keberhasilan proses biodegradasi poliuretan hasil sintesis oleh mikroorganismenya dalam lumpur aktif dapat diketahui dengan membandingkan karakter poliuretan hasil sintesis sebelum dan sesudah dibiodegradasi, yang meliputi analisis gugus fungsi dengan FTIR dan penentuan derajat kristalinitasnya dengan XRD, menentukan persen kehilangan massa dan dengan menentukan biodegradabilitasnya.

Mikroorganismenya menguraikan polimer dengan mengkatalisis berbagai reaksi hidrolisis dan oksidasi. Adanya gugus fungsional sensitif cahaya dan gugus fungsional yang dapat terhidrolisis akan lebih efektif untuk terurainya polimer-polimer massa molekul tinggi dalam lingkungan alam. Semakin rendah massa molekul polimer, maka polimer akan terdegradasi semakin cepat (Stevens, 2001 : 146).

Pada penelitian ini poliuretan disintesis terlebih dahulu, kemudian poliuretan hasil sintesis akan dibiodegradasi menggunakan lumpur aktif. Berdasarkan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa biodegradasi dengan menggunakan lumpur aktif lebih efektif dari pada dengan *Pseudomonas aeruginosa*, hal ini karena pada lumpur aktif banyak terkandung mikroorganismenya yang dapat mendegradasi poliuretan (Eli Rohaeti, dkk, 2004 : 8-9).

2. Percobaan

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: FTIR 800 Shimadzu, refraktometer Atago, XRD merk DIANO, pemanas listrik, inkubator, termometer, corong pisah, waterbath EYELA, rotary evaporator, piknometer, neraca digital, pencatat waktu, oven, cawan petri, penyaring Buchner, aluminium foil, autoklaf, kaca masir, mechanical stirrer, pompa vakum, laminar flow, dan alat-alat gelas lainnya.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: biji kedelai putih (*Glycine max L*), larutan *n*-heksana teknis, larutan NaOH 1 N, metilen-4,4'-difenildiisosiyanat p.a (E-merk), polioksietilen glikol 400 p.a (E-merk), asam asetat anhidrida p.a, etanol, kloroform p.a, piridin p.a, kristal kalium permanganat (KMnO₄) p.a, kristal natrium hidoksida (NaOH) p.a, kristal natrium sulfat anhidrat p.a, kristal kalium hidoksida (KOH) p.a, kristal kalium bromida (KBr) p.a, kristal (NH)₂SO₄, kristal Na₂HPO₄, kristal NaH₂PO₄, kristal MgSO₄.7H₂O, kristal FeSO₄.7H₂O, lumpur aktif, *bacto* agar, indikator pp 1 %, dan akuades.

2.2 Prosedur Percobaan

2.2.1 Isolasi Minyak Kedelai dari Biji Kacang Kedelai

Empat kilogram biji kedelai dibersihkan dari ranting-ranting, kerikil dan kotoran lainnya, kemudian dikeringkan dalam *oven* selama 1 jam pada temperatur 70°C. Selanjutnya biji kacang kedelai digiling hingga menjadi bubuk dengan massa 3,8312 kg, kemudian direndam dengan larutan *n*-heksana teknis sebanyak 5 L hingga menutupi permukaan bubuk biji kedelai dalam wadah maserasi (ember),

tutup rapat-rapat dan dibiarkan selama 3 hari terlindung dari cahaya matahari dan sekali-sekali dilakukan pengadukan. Kemudian campuran disaring dengan kain kasa, selanjutnya disaring dengan menggunakan kaca masir yang dilengkapi pompa vakum. Filtrat yang dihasilkan disimpan, ampasnya direndam kembali dengan *n*-heksana teknis sebanyak 4 L selama 3 hari. Campuran disaring dengan kain kasa dan kaca masir, filtrat yang dihasilkan disimpan. Ampas bubuk biji kedelai direndam kembali dengan *n*-heksana teknis sebanyak 3 L selama 3 hari. Campuran disaring dengan kain kasa dan kaca masir. Penggunaan pelarut pada saat pertama maserasi lebih banyak daripada maserasi berikutnya, karena saat pertama maserasi serbuk biji kedelai menyerap lebih banyak pelarut. Filtrat pertama, kedua dan ketiga diuapkan dengan *rotary evaporator* pada temperatur 60 °C. Hasil evaporasi ditambahkan dengan Na₂SO₄ anhidrat sampai tidak ada lagi gelembung air yang terbentuk dan didiamkan selama 24 jam. Campuran disaring dengan menggunakan kaca masir, selanjutnya minyak kedelai yang diperoleh dikarakterisasi.

2.2.2 Oksidasi Minyak Kedelai (*Soybean Oil*)

Lima belas milliliter larutan KMnO₄ 30% (m/v) ditambahkan bertetes-tetes ke dalam 150 mL minyak kedelai, selanjutnya ditambahkan juga bertetes-tetes larutan NaOH 1 N untuk memberi suasana basa hingga campuran membirukan lakmus merah. Kemudian campuran diaduk dengan *mechanical stirrer* kecepatan 820 rpm dalam penangas air berisi es batu pada temperatur 15 °C selama 90 menit dan dibiarkan selama 24 jam. Hal ini bertujuan untuk mengendapkan endapan MnO₂ (berwarna kecoklatan) yang timbul saat proses oksidasi berlangsung. Selanjutnya larutan disaring menggunakan kaca masir yang dilengkapi pompa vakum. Kemudian campuran diekstrak dengan pelarut kloroform dengan perbandingan 1 : 1 dan dibiarkan hingga terbentuk dua lapisan, yaitu fasa air dan fasa organik. Kristal NaSO₄ anhidrat ditambahkan ke dalam fasa organik hingga semua air terserap, campuran disaring dan diuapkan pelarutnya dengan *rotary evaporator* pada temperatur 55-60 °C. Selanjutnya minyak kedelai teroksidasi dikarakterisasi.

2.2.3 Karakterisasi Minyak Kedelai Sebelum dan Sesudah Oksidasi

Karakterisasi yang dilakukan terhadap minyak kedelai sebelum dan sesudah oksidasi meliputi analisis gugus fungsi, bilangan hidroksil, massa jenis, indeks bias, titik leleh dan titik didih minyak.

2.2.4 Polimerisasi Pembentukan Poliuretan

Minyak kedelai, PEG 400, dan MDI dengan komposisi masing-masing 2, 4, dan 6 gram dimasukkan ke dalam gelas kimia, campuran diaduk dengan batang pengaduk pada temperatur kamar sehingga diperoleh poliuretan *preure*. Kemudian poliuretan *preure* dicetak di atas cawan petri. Lakukan proses *curing* dalam *oven* pada temperatur 70 °C selama 10 jam, kemudian lanjutkan pada temperatur 100°C selama 3 jam. Dinginkan pada temperatur kamar, kemudian poliuretan siap dikarakterisasi. Langkah polimerisasi yang sama juga dilakukan untuk komposisi minyak kedelai teroksidasi, PEG 400, dan MDI.

2.2.5 Biodegradasi Poliuretan

a. Pembuatan Medium Malka Padat

Medium malka padat dibuat dengan cara menambahkan *bacto* agar (6 gram) dan (NH₄)₂SO₄ sebanyak 0,4 gram ke dalam 400 mL akuades dalam labu

Erlenmeyer kemudian ditutup dengan kapas bebas lemak dan aluminium foil, dilelehkan dan disterilkan dalam autoklaf pada temperatur 120°C selama 15 menit. Kemudian didinginkan sampai temperatur 60°C. Setelah itu ditambahkan 8 mL larutan A (1 Liter larutan yang mengandung 73,4 gram Na₂HPO₄ dan 32,4 gram NaH₂PO₄ pada pH 7,2), 8 mL larutan B (20,5 gram MgSO₄·7H₂O dilarutkan dalam air destilasi sampai volume 1 liter), dan 4 mL larutan C (1,83 gram FeSO₄·7H₂O dilarutkan dalam air destilasi steril, kemudian 1 tetes H₂SO₄ pekat ditambahkan kedalamnya sampai volume 1 liter) ke dalam larutan *bacto* agar di dalam ruang *laminar flow*, kemudian dikocok sampai homogen. Setelah itu dipindahkan ke dalam cawan petri masing-masing 15 mL per cawan. Setelah memadat disimpan dalam temperatur kamar.

b. Sterilisasi Poliuretan

Poliuretan hasil sintesis dipotong-potong persegi empat dengan massa yang sama dan dicelupkan ke dalam etanol 70 % pada ruang *laminar flow*. Poliuretan dikeringkan dan disimpan di dalam cawan petri steril dan disimpan dalam oven pada temperatur 70°C sampai benar-benar kering. Poliuretan yang telah kering siap untuk dibiodegradasi.

c. Biodegradasi Poliuretan dalam Media Malka Padat

Campuran kultur lumpur aktif dituangkan ke dalam gelas kimia steril di dalam ruang *laminar flow*. Poliuretan yang telah disterilkan terlebih dahulu dicelupkan ke dalam kultur campuran dan di letakkan ke dalam cawan petri yang berisi medium malka padat serta dibiarkan dalam ruang bertemperatur 37°C selama 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 hari. Adapun penggantian medium dilakukan setiap 5 hari sekali. Proses biodegradasi dihentikan dengan mencelupkan poliuretan ke dalam etanol 70 %. Kemudian dicuci beberapa kali dengan menggunakan akuades dan poliuretan siap untuk dikarakterisasi.

2.2.6 Karakterisasi Produk Poliuretan Sebelum dan Sesudah Biodegradasi

Karakterisasi terhadap produk poliuretan hasil sintesis meliputi analisis gugus fungsi dengan menggunakan spektrofotometer FTIR, penentuan keberadaan ikatan silang (*cross link*) melalui uji derajat pengembangan, kehilangan massa sesudah proses biodegradasi, biodegradabilitas, dan penentuan derajat kristalinitas dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Proses isolasi minyak kedelai dengan cara maserasi diawali dengan membersihkan biji kedelai dari segala macam pengotor seperti kerikil, ranting-ranting, daun-daunan dan kotoran-kotoran lainnya. Dinding sel biji kedelai terdiri atas serabut selulosa yang dikelilingi air (Anonim, 1986:1). Adanya molekul air pada serabut selulosa ini dapat mengurangi proses penembusan larutan *n*-heksana 60% ke dalam dinding sel biji kedelai, sehingga dilakukan pengeringan biji kedelai dengan oven 70 °C untuk menguapkan air yang terkandung dalam serabut selulosa, sehingga pada saat proses perendaman serbuk biji kedelai dalam larutan *n*-heksana 60% dapat langsung menembus dinding sel dan masuk ke dalam sel tanpa dihalang-halangi air. Sebelum direndam dalam larutan *n*-heksana 60%, biji kedelai dihaluskan terlebih dahulu menjadi bentuk serbuk, tujuannya adalah memperluas permukaan bidang sentuh dengan larutan *n*-heksana 60%.

Pada proses perendaman serbuk biji kedelai terjadi proses difusi dari dalam sel ke luar sel. Larutan *n*-heksana 60% akan menembus dinding sel dan masuk ke dalam rongga sel yang mengandung minyak kedelai. Minyak kedelai akan larut dan karena adanya perbedaan konsentrasi antara minyak kedelai di dalam sel dengan yang di luar sel, maka minyak kedelai di dalam sel (lebih pekat) akan didesak ke luar sel, sehingga terjadi difusi minyak kedelai dari dalam sel ke luar sel. Peristiwa tersebut berulang sehingga terjadi keseimbangan konsentrasi antara larutan di luar dan di dalam sel.

Proses pemurnian minyak kedelai dilakukan dengan penyaringan menggunakan kertas saring untuk memisahkan ampas serbuk biji kedelai yang tersisa dilanjutkan dengan proses evaporasi pada temperatur 60 °C untuk menguapkan pelarut *n*-heksana 60%. Minyak kedelai yang dihasilkan berupa cairan kental, berwarna kuning jerami, dengan rendemen sekitar 22,45 % dari total serbuk biji kedelai.

Minyak kedelai yang diperoleh dari hasil maserasi dioksidasi dengan menggunakan larutan KMnO₄ 30% (m/v) dalam suasana basa pada temperatur 25 °C sambil diaduk dengan *mechanical stirrer* kecepatan 820 rpm selama 90 menit. Campuran didiamkan selama 24 jam, untuk mengendapkan endapan MnO₂ yang berwarna coklat kehitaman dan disaring dengan menggunakan kaca masir. Filtrat yang dihasilkan masih mengandung air. Untuk memisahkan air tersebut filtrat diekstrak dengan kloroform dan dibiarkan hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas (fasa air) berwarna agak keruh dan lapisan bawah (fasa organik) berwarna kuning jernih. Selanjutnya ditambahkan Na₂SO₄ anhidrat ke dalam fasa organik guna memaksimalkan pengikatan air yang mungkin masih tertinggal dalam fasa organik. Untuk menghilangkan pelarut kloroform dalam fasa organik dilakukan evaporasi pada temperatur 55-60 °C. Minyak kedelai hasil oksidasi (OSBO) berupa cairan kental berwarna kuning agak kecoklatan sebanyak 62 % dari volume minyak kedelai yang digunakan.

Untuk membandingkan daerah serapan spektrum SBO dan OSBO maka dibuat tabel korelasi perbandingan bilangan gelombang yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan bilangan gelombang dari spektrum FTIR SBO dan OSBO

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Jenis Gugus Fungsi
SBO	OSBO	
722,91	722,47	Bengkokan keluar bidang =CH
-	-	Bengkokan keluar bidang =CH
-	-	C-O Ester
-	-	Rentangan P-O-C
1164,59	1164,58	C-O Ester
1237,15	-	Vibrasi rentangan P=O
1372,13	1371,53	Bengkokan Metil (CH ₃)
-	-	Vibrasi Bidang Guntingan =CH
1458,81	1458,95	Metilen (-CH ₂ -)
1653,74	1655,79	Rentangan C=C Alkana
1745,72	1745,19	C=O Ester

2361,08	2360,09	CO ₂
2856,59	2856,96	Rentangan Metilen (-CH ₂ -)
2927,27	2928,18	Rentangan CH ₃ Alkana
3008,70	3008,84	Rentangan =CH Alkena
3473,17	3473,05	O-H Alkohol

Adanya trigliserida dalam minyak kedelai didukung dengan adanya serapan pada 2855,54 cm⁻¹ dan diperkuat oleh serapan pada 1458,81 cm⁻¹ yang merupakan rentangan metilen (-CH₂-). Munculnya serapan metilen pada spektrum FTIR SBO selain membuktikan adanya struktur -CH₂- yang terikat pada atom O trigliserida juga membuktikan adanya metilen dari asam lemak yang terikat pada atom C trigliserida. Adanya serapan C-O ester pada bilangan gelombang 1164,59 cm⁻¹ dan serapan C=O ester dalam trigliserida terjadi pada 1745,72 cm⁻¹. Dengan demikian di dalam SBO terdapat gugus fungsi C-O ester, C=O ester dan -CH₂- yang merupakan penyusun struktur trigliserida.

Keberadaan asam lemak tak jenuh dalam minyak kedelai dibuktikan dengan adanya serapan atom C berikatan rangkap (C=C) pada 1653,74 cm⁻¹, diperkuat adanya serapan sebelah kiri 3000 cm⁻¹ yaitu pada 3008,7 yang menunjukkan rentangan =CH- alkena. Adanya serapan kuat pada 2927,27 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus metil (CH₃ alkana) yang berada pada bagian ujung dari struktur trigliserida.

Minyak kedelai sebenarnya telah memiliki sedikit gugus fungsi OH yang terdapat dalam fosfolipid. Adanya fosfolipid dalam minyak kedelai hasil maserasi ditunjukkan oleh adanya serapan rentangan P=O pada bilangan gelombang 1237,15 cm⁻¹. Munculnya serapan pada 3473,17 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus hidroksil dan hal ini menguatkan keberadaan lipositol yang merupakan senyawa fosfolipid yang terdapat dalam minyak kedelai hasil maserasi.

Adanya gugus-gugus fungsi dari minyak kedelai teroksidasi dijelaskan sebagai berikut. Adanya serapan C-O ester pada 1164,58 cm⁻¹, serapan C=O ester pada 1743,5 cm⁻¹ dan serapan pada 2856,96 cm⁻¹ menunjukkan rentangan -CH₂- (metilen) yang diperkuat dengan serapan pada 1458,95 cm⁻¹, menunjukkan adanya trigliserida yang mengikat asam lemak teroksidasi. Serapan pada daerah ~3000 cm⁻¹ (sebelah kanan) yaitu pada 2928,18 cm⁻¹ menunjukkan rentangan CH₃ alkana yang berada pada bagian ujung dari struktur trigliserida.

Keberhasilan proses oksidasi ditunjukkan oleh absorbansi gugus OH OSBO yang lebih besar dibandingkan absorbansi gugus OH SBO diperkuat dengan serapan vibrasi gantungan =CH pada ~1415 cm⁻¹ yang tidak muncul pada spektrum FTIR OSBO. Masih munculnya serapan C=C pada OSBO bahwa menunjukan proses oksidasi tidak memutuskan semua ikatan rangkap dalam SBO. Hal ini juga diperkuat dengan intensitas serapan rentangan =CH SBO pada ~3000 cm⁻¹ (sebelah kiri) yang lebih lemah. Spektrum FTIR SBO memiliki kemiripan bentuk dengan spektrum FTIR OSBO, hal ini menunjukkan bahwa reaksi oksidasi hanya mengubah beberapa dari ikatan rangkap dalam SBO tetapi tidak mengubah gugus fungsi lain yang ada dalam SBO tersebut.

Analisis kuantitatif dari spektrum FTIR dilakukan melalui penentuan absorbansi gugus OH dengan menggunakan metode *base line*. Tujuannya untuk

mengoreksi kesalahan yang timbul akibat adanya overlap puncak absorbansi. Data absorbansi gugus OH ditunjukkan pada Tabel 2, sedangkan data sifat fisika dan kimia lainnya ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 2. Absorbansi gugus OH spektrum FTIR SBO dan OSBO

No	Jenis Minyak	Bilangan Gelombang Gugus OH (cm ⁻¹)	Absorbansi
1	SBO	3473,17	0,0066
2	OSBO	3473,05	0,0167

Terjadi peningkatan absorbansi gugus OH dari 0,0066 pada SBO menjadi 0,0167 pada OSBO mengindikasikan keberhasilan proses oksidasi terhadap minyak kedelai. Keberhasilan proses oksidasi diperkuat oleh adanya peningkatan bilangan hidroksil, massa jenis, titik leleh dan titik didih serta terjadinya penurunan indeks bias minyak kedelai.

Tabel 3. Sifat fisika – kimia SBO dan OSBO

Jenis Minyak	Bilangan Hidroksil (mg/g)	Massa Jenis (ρ), g.mL ⁻¹	Indeks Bias (D)	Titik Leleh (°C)	Titik Didih (°C)
SBO	120,393	0,907	1,476	-15 – (-5)	105,7
OSBO	298,185	0,929	1,474	-14 – (-2)	134,7

Poliuretan disintesis dari minyak kedelai (SBO) dan minyak kedelai teroksidasi (OSBO), polioksietilen glikol 400 (PEG400) dan metilen-4,4'-difenildiisocyanat (MDI). Polimerisasi dilakukan dengan massa total campuran (SBO/OSBO + MDI + PEG400) sebesar 6 gram. Proses polimerisasi untuk masing-masing campuran sampel dilakukan pada kondisi yang seragam yaitu pada suhu kamar (27,5 °C) dengan lama pengadukan berkisar antara 0,5 – 1 menit atau sampai campuran mulai mengental dan homogen. Proses *curing* pada temperatur 70 °C selama 10 jam, dilanjutkan pada temperatur 100 °C selama 3 jam. Sifat fisik poliuretan hasil sintesis dari SBO/OSBO-MDI-PEG400 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat fisik poliuretan hasil sintesis dari SBO/OSBO-MDI-PEG400

No	Pengamatan	Poliuretan	Sifat Fisik
1	Warna	PU A	Kuning muda
		PU B	Kuning kecoklatan
2	Sifat Padatan	PU A	Keras, sedikit elastis
		PU B	Keras, elastis
3	Permukaan	PU A	Kasar, sedikit mengkilap
		PU B	Halus, mengkilap

Keterangan :

Poliuretan A (PU A) = SBO-PEG400-MDI, Poliuretan B (PU B) = OSBO-PEG400-MDI

Analisis gugus fungsi masing-masing poliuretan hasil sintesis dari SBO-PEG400-MDI dan poliuretan hasil sintesis dari OSBO-PEG400-MDI dapat dilihat pada Tabel 5.

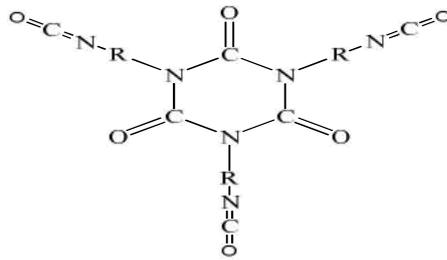
Tabel 5. Data bilangan gelombang spektrum FTIR poliuretan hasil sintesis

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Jenis Gugus Fungsi
PU A (SBO – PEG400 – MDI)	PU B (OSBO – PEG400 – MDI)	
724,37	675,93	Bengkokan Keluar Bidang =CH
1000-1100	1000-1100	C-O Uretan
1100-1200	1100-1200	C-O Uretan
1231,13	1232,90	C=N dalam trimer karboimida
1310,38	1310,70	Amida Sekunder
1459,80	1460,55	C=O dalam Allofanat
1515,14	1512,85	C=C aromatis
1742,15	1742,95	C=O dalam Uretan
2250-2300	2250-2300	-NCO
2360,87	2360,65	CO ₂
2855,54	2855,71	Metilen (-CH ₂ -) Simetris
2925,90	2925,99	CH ₃ Alkana
3443,82	3451,58	Ulur N-H Sekunder

Keberhasilan proses polimerisasi pembentukan poliuretan A ditunjukkan oleh serapan karakteristik adanya gugus C=O uretan pada 1742,15 cm⁻¹. Serapan 1000 - 1100 cm⁻¹; dan 1100 - 1200 cm⁻¹ yang merupakan serapan C-O uretan. Adanya serapan amida sekunder ditunjukkan pada daerah 1310,38 cm⁻¹, sedangkan serapan amina sekunder terjadi pada 3443,82 cm⁻¹.

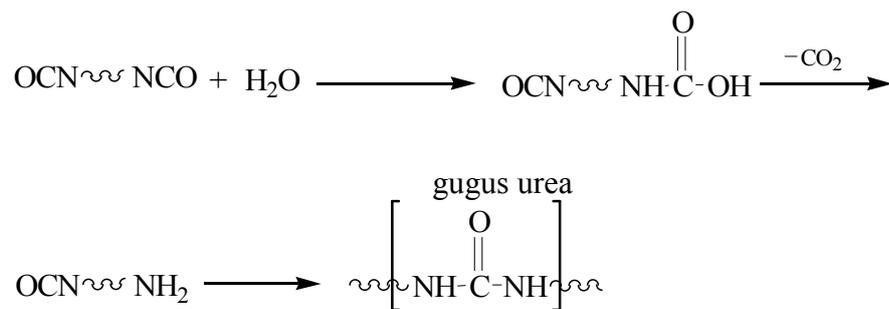
Keberhasilan proses polimerisasi poliuretan B ditunjukkan dengan adanya serapan-serapan karakteristik gugus C=O uretan pada 1742,95 cm⁻¹ dan serapan C-O uretan pada 1000 - 1100 cm⁻¹; dan 1100 - 1200 cm⁻¹. serapan pada 1310,70 cm⁻¹ yang merupakan serapan amida sekunder, sedangkan amina sekunder terjadi pada 3451,58 cm⁻¹.

Adanya serapan pada 1459,80 cm⁻¹ menunjukkan keberadaan gugus allofanat pada poliuretan A. Serapan pada 1460,55 cm⁻¹ menunjukkan keberadaan gugus allofanat pada poliuretan B. Poliuretan A dan poliuretan B memiliki ikatan silang allofanat. Keberadaan isosianurat pada poliuretan A dan B hasil sintesis dibuktikan dengan adanya serapan C=N dalam trimer karboimida (OC=NRN-CO) pada daerah 1231,13 cm⁻¹ dan 1232,90 cm⁻¹. Keterangan di atas menunjukkan bahwa dalam poliuretan A dan poliuretan B hasil sintesis terdapat gugus isosianurat. Gugus isosianurat ini dapat terbentuk dari reaksi trimerisasi tiga gugus isosianat bebas dengan adanya pemanasan (Hepburn, 1982:18). Proses pemanasan dapat terjadi pada saat proses *curing* pada waktu sintesis poliuretan. Rumus struktur isosianurat ditunjukkan oleh Gambar 1.

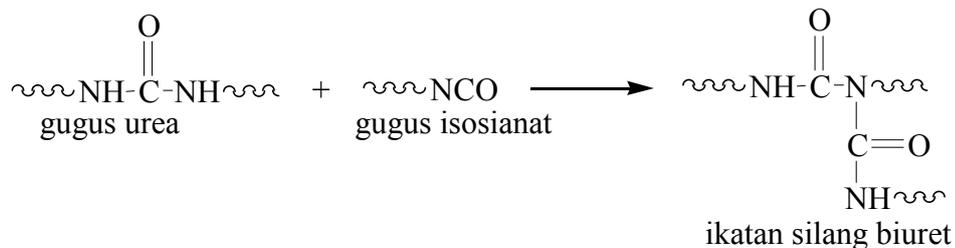


Gambar 1. Rumus struktur isosianurat

Serapan pada $1515,14 \text{ cm}^{-1}$ dalam spektrum FTIR poliuretan A serta serapan pada $1512,85 \text{ cm}^{-1}$ dalam spektrum FTIR poliuretan B menunjukkan keberadaan cincin aromatis (berasal dari MDI). Keberadaan gugus isosianat bebas pada poliuretan A dan poliuretan B ditunjukkan oleh munculnya serapan dengan intensitas lemah pada daerah $2250 - 2300 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini menandakan kemungkinan adanya gugus ujung isosianat (-NCO) pada struktur poliuretan hasil sintesis. Keberadaan gugus ujung isosianat dalam poliuretan hasil sintesis dapat bereaksi dengan air di atmosfer menghasilkan perpanjangan rantai melalui ikatan urea dengan melepaskan gas CO_2 (Gambar 2), gas CO_2 yang dihasilkan dalam reaksi tersebut dapat terjebak dalam poliuretan hasil sintesis. Hal ini dibuktikan dengan munculnya CO_2 pada daerah $2360,87 \text{ cm}^{-1}$ dan $2360,65 \text{ cm}^{-1}$ dan diperkuat pernyataan Stevens (2001 : 469) yang menyatakan bahwa gugus-gugus isosianat dapat bereaksi dengan air atmosfer untuk memberikan perpanjangan rantai melalui ikatan urea dengan melepaskan gas CO_2 . Pembentukan ikatan silang lebih lanjut dapat terjadi melalui reaksi antara gugus-gugus urea dengan isosianat sisa yang tidak bereaksi membentuk ikatan silang *Biuret* (Gambar 3) (Stevens, 2001: 469-470).



Gambar 2. Reaksi antara ujung isosianat dengan air atmosferik



Gambar 3. Reaksi pembentukan ikatan silang *biuret*

Dengan demikian poliuretan berhasil disintesis dari SBO/ OSBO, PEG400 dan MDI. Spektrum FTIR poliuretan hasil sintesis menunjukkan adanya serapan karakteristik gugus-gugus poliuretan. Selain itu juga terdapat gugus-gugus lain yang memiliki ikatan silang allofanat dan ikatan silang biuret serta adanya trimer karboimida.

Untuk memperkuat bahwa poliuretan berhasil disintesis dari SBO/ OSBO -PEG400-MDI maka dapat dilakukan dengan cara membandingkan spektrum FTIR poliuretan hasil sintesis dengan spektrum FTIR poliuretan standar Du Pont. Serapan FTIR PU A dan PU B menunjukkan adanya kemiripan serapan dengan serapan FTIR poliuretan standar Du Pont, terutama serapan pada daerah bilangan gelombang karakteristik poliuretan yaitu serapan ulur N-H sekunder, isosianat, cincin aromatis, allofanat, C=O uretan dan C=N dalam trimer karboimida. Sedikit perbedaan puncak-puncak serapan karakteristik antara poliuretan hasil sintesis dengan poliuretan standar Du Pont dimungkinkan karena perbedaan jenis monomer yang digunakan dalam mensintesis poliuretan. Pada penelitian ini digunakan monomer berupa SBO, OSBO, PEG400 dan Senyawa diisosianat (MDI).

Poliuretan hasil sintesis ditentukan ikatan silangnya melalui uji derajat pengembangan. Hasil uji derajat pengembangan poliuretan hasil sintesis dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Derajat pengembangan poliuretan hasil sintesis

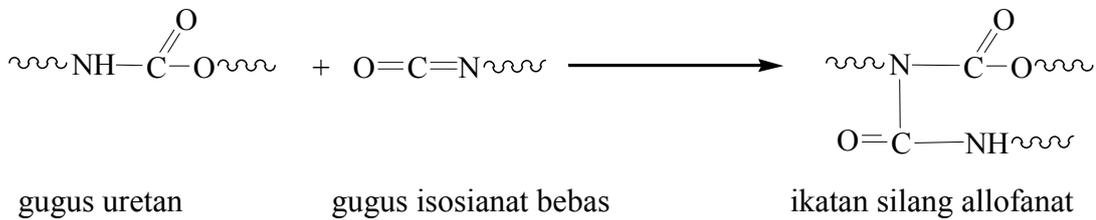
No	Poliuretan	Derajat Pengembangan (%)
1	PU A (SBO-PEG400-MDI)	2,083
2	PU B (OSBO-PEG400-MDI)	0,794

Suatu bahan polimer yang berikatan silang akan mengalami pengembangan akibat adanya molekul-molekul pelarut yang menembus jaringannya. Derajat pengembangan suatu poliuretan berhubungan dengan ikatan silang yang terdapat dalam poliuretan. Kemampuan poliuretan untuk mengembang dalam larutan kanji dikarenakan terbentuknya ikatan silang yang dapat membentuk ruang-ruang dalam struktur poliuretan sehingga dapat menjebak molekul air yang bersentuhan dengan bahan poliuretan tersebut. Derajat pengembangan yang bernilai positif menunjukkan bahwa poliuretan memiliki struktur berikatan silang. Semakin tinggi derajat pengembangan maka semakin sedikit jumlah ikatan silang dalam struktur poliuretan. Sebaliknya semakin rendah derajat pengembangan maka semakin banyak jumlah ikatan silang dalam struktur poliuretan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua poliuretan yang disintesis mengembang ketika direndam larutan kanji yang dibuktikan dengan derajat pengembangan bernilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa poliuretan A dan B yang disintesis semuanya memiliki ikatan silang. PU A memiliki derajat pengembangan lebih besar daripada PU B, hal ini menunjukkan bahwa PU A memiliki ikatan silang lebih sedikit daripada PU B. Banyaknya ikatan silang pada PU B juga menunjukkan bahwa struktur polimer tersebut semakin kompleks, hal ini disebabkan PU B berasal dari sumber polioliol dengan gugus hidroksil lebih

banyak dalam pembentukan polimernya yang dihasilkan dari oksidasi SBO sebelumnya.

Ikatan uretan dapat berupa ikatan silang atau uretan yang berikatan silang atau ikatan silang antara uretan dengan isosianat bebas menghasilkan allofanat. Gugus uretan yang terbentuk dalam poliuretan dapat berikatan silang dengan isosianat bebas membentuk jaringan allofanat. Jaringan allofanat terbentuk melalui reaksi lebih lanjut antara gugus uretan dengan gugus isosianat berlebih (-NCO sisa yang belum berikatan dengan OH membentuk uretan) melalui suatu reaksi adisi yang melibatkan nitrogen dari gugus uretan (Stevens, 2001: 469). Pembentukan allofanat dapat terjadi dengan bantuan panas, terutama panas pada saat proses *curing*. Reaksi pembentukan gugus allofanat dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Reaksi pembentukan gugus allofanat

Hasil pengukuran kehilangan massa poliuretan hasil sintesis (PU SBO-PEG400-MDI dan PU OSBO-PEG400-MDI) setelah dibiodegradasi selama 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 hari ditunjukkan pada Tabel 7 dan 8.

Tabel 7. Data perubahan massa poliuretan hasil sintesis dari SBO-PEG400-MDI setelah dibiodegradasi

No	Lama Inkubasi (Hari)	Massa Awal Sebelum Biodegradasi (mg)	Massa Awal Terkoreksi (mg)	Massa Sesudah Biodegradasi (mg)
1	5	30,0000	29,9000	29,4290
2	10	30,0000	29,9000	29,3890
3	15	30,0000	29,9000	29,4000
4	20	30,0000	29,9000	29,3330
5	25	30,0000	29,9000	29,6670
6	30	30,0000	29,9000	30,0000

Salah satu cara untuk menguji kemudahan biodegradasi poliuretan hasil sintesis oleh mikroorganisme dapat dilakukan dengan cara menghitung persen kehilangan massa poliuretan hasil sintesis. Semakin tinggi persen kehilangan masa poliuretan hasil sintesis berarti semakin mudah poliuretan tersebut terbiodegradasi.

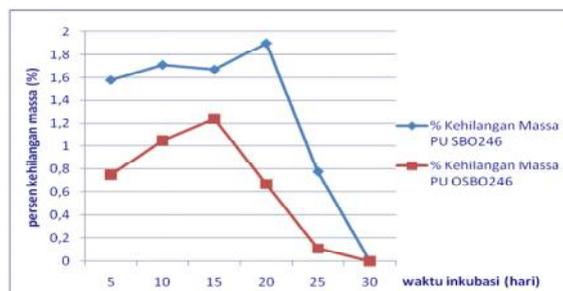
Kehilangan massa total poliuretan A adalah 7,64 %, sedangkan poliuretan B memiliki kehilangan massa totalnya 3,82 %. Persen kehilangan massa total poliuretan A lebih tinggi dibandingkan pada poliuretan B yang membuktikan

bahwa poliuretan A lebih mudah terbiodegradasi. Hal ini, disebabkan karena pada poliuretan A memiliki jumlah ikatan silang lebih sedikit dibandingkan pada poliuretan B, sehingga mikroba lebih mudah untuk mendegradasi struktur utama poliuretan A, yang dibuktikan juga menghilang dan melemahnya intensitas serapan beberapa gugus fungsi spektrum FTIR poliuretan A. Selain itu, karena poliuretan A memiliki derajat kristalinitas lebih rendah daripada poliuretan B, sehingga mikroba lebih mudah mendegradasi poliuretan A.

Tabel 8. Data perubahan massa poliuretan hasil sintesis dari OSBO-PEG400-MDI setelah dibiodegradasi

No	Lama Inkubasi (Hari)	Massa Awal Sebelum Biodegradasi (mg)	Massa Awal Terkoreksi (mg)	Massa Sesudah Biodegradasi (mg)
1	5	30,0000	29,7000	29,4762
2	10	30,0000	29,7000	29,3889
3	15	30,0000	29,7000	29,3333
4	20	30,0000	29,7000	29,5000
5	25	30,0000	29,7000	29,6667
6	30	30,0000	29,7000	30,0000

Berdasarkan data perubahan massa poliuretan sesudah biodegradasi dapat dibuat grafik hubungan antara kehilangan massa poliuretan dengan lama biodegradasi, seperti terlihat pada Gambar 5.

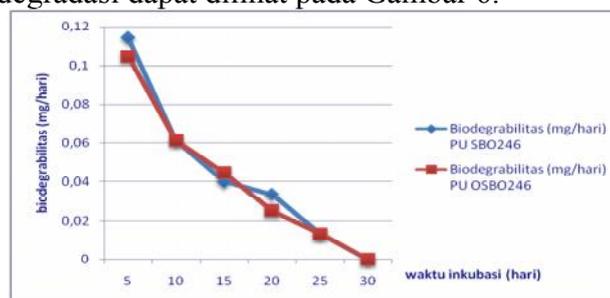


Gambar 5. Grafik hubungan antara kehilangan massa poliuretan dengan lama biodegradasi

Berdasarkan grafik hubungan antara persen kehilangan massa poliuretan dengan lama biodegradasi, dapat diketahui bahwa poliuretan dari SBO-PEG400-MDI (PU A) memiliki persen kehilangan massa paling tinggi pada hari ke-20, sedangkan poliuretan dari OSBO-PEG400-MDI (PU B) memiliki persen kehilangan massa paling tinggi pada hari ke-15. Terjadinya perbedaan waktu optimum persen kehilangan massa kedua polimer tersebut dimungkinkan karena jenis dan aktivitas bakteri dalam lumpur aktif sangat bervariasi seiring waktu inkubasi, selain itu juga bisa disebabkan adanya perbedaan struktur dari kedua jenis poliuretan, dimana seperti dijelaskan di atas bahwa poliuretan B memiliki jumlah ikatan silang lebih banyak, juga derajat kristalinitasnya lebih tinggi, sehingga mikroba dalam lumpur aktif membutuhkan waktu yang lebih lama untuk

mendegradasi poliuretan B dibandingkan dengan poliuretan A yang memiliki jumlah ikatan silang lebih sedikit. Banyaknya jumlah ikatan silang dan tingginya derajat kristalinitas poliuretan B menyebabkan mikroba lebih sulit untuk mendegradasi struktur utama poliuretan tersebut.

Grafik hubungan antara laju kehilangan massa poliuretan hasil sintesis dengan lama biodegradasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan antara biodegradabilitas (laju kehilangan massa) poliuretan hasil sintesis dengan lama biodegradasi

Berdasarkan grafik hubungan antara biodegradabilitas poliuretan hasil sintesis dengan lama biodegradasi, dapat diketahui bahwa poliuretan dari SBO-PEG400-MDI (PU A) dan poliuretan dari OSBO-PEG400-MDI (PU B) memiliki biodegradabilitas paling tinggi pada hari ke-5 biodegradasi, selanjutnya kurva mengalami penurunan demikian seterusnya. Biodegradabilitas semakin rendah seiring dengan bertambahnya waktu inkubasi, ini menjadi petunjuk bahwa semakin lama waktu inkubasi aktivitas mikroorganisme dalam proses biodegradasi semakin rendah. Hal ini terlihat pada proses biodegradasi hari ke-30 untuk kedua poliuretan tersebut yang memiliki nilai biodegradabilitasnya nol, berarti tidak terjadi aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi poliuretan. Jika diamati kurva hubungan antara biodegradabilitas poliuretan hasil sintesis dengan lama waktu inkubasi pada hari ke-10 dan ke-25, kedua poliuretan memiliki nilai biodegradabilitas yang sama, hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme memiliki aktivitas yang sama pada saat mendegradasi poliuretan hasil sintesis pada hari ke-10 dan ke-25 biodegradasi.

Analisis gugus fungsi masing-masing poliuretan tersebut sudah dibiodegradasi ditunjukkan dengan tabel korelasi bilangan gelombang pada Tabel 9. Derajat kristalinitas kedua jenis poliuretan sebelum dan sesudah dibiodegradasi seperti terlihat pada Tabel 10.

Tabel 9. Bilangan gelombang spektrum FTIR poliuretan sesudah dibiodegradasi

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Jenis Gugus Fungsi
PU A	PU B	
590,73	592,11	Bengkokan keluar bidang =CH
875,19	874,98	C=O Ester dalam Allofanat
1433,38	1433,77	C=O dalam Allofanat
1639,68	1639,69	C=C Aromatis
-	2358,48	CO ₂
3460,70	3461,60	Ulur N-H Sekunder

Keberhasilan proses biodegradasi pada poliuretan dari SBO-PEG400-MDI (PU A) dan poliuretan dari OSBO-PEG400-MDI (PU B) ditandai dengan berubahnya intensitas serta menghilangnya beberapa puncak serapan gugus fungsi pada spektrum FTIR poliuretan hasil sintesis. Analisis dengan teknik spektrofotometri FTIR menunjukkan bahwa terjadi perbedaan spektrum yang signifikan antara poliuretan sebelum dan sesudah dibiodegradasi.

Sesudah biodegradasi terjadi penghilangan puncak serapan pada daerah $1742,15\text{ cm}^{-1}$ dan $1742,95\text{ cm}^{-1}$ untuk poliuretan A dan B yang merupakan ciri khas suatu poliuretan dalam hal ini gugus uretan ($-\text{NHCOO}$). Selanjutnya terjadi penghilangan puncak serapan pada daerah $1231,13\text{ cm}^{-1}$ dan $1232,90\text{ cm}^{-1}$ untuk poliuretan A dan B yang merupakan ciri khas adanya gugus fungsi $\text{C}=\text{N}$ dalam trimer karboimida, kemudian terjadi penghilangan puncak serapan juga pada daerah $1310,38\text{ cm}^{-1}$ dan $1310,70\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan ciri khas adanya gugus fungsi amida sekunder. Hilangnya puncak gugus uretan, $\text{C}=\text{N}$ dalam trimer karboimida dan amida sekunder pada poliuretan A dan B menjadi petunjuk bahwa gugus fungsi tersebut telah dihidrolisis dan menjadi sumber nutrisi bagi mikroorganisme.

Pada daerah $2358,48\text{ cm}^{-1}$ muncul serapan dengan intensitas yang lebih lemah daripada poliuretan B sebelum dibiodegradasi. Hal ini disebabkan hilangnya sebagian gugus CO_2 yang terperangkap dalam poliuretan B sesudah dibiodegradasi, sedangkan untuk poliuretan A terjadi penghilangan puncak serapan gugus CO_2 yang mungkin terbebas seiring dengan bertambahnya waktu inkubasi polimer. Menghilangnya puncak serapan gugus isosianat ($-\text{NCO}$) pada daerah sekitar $2250\text{-}2300\text{ cm}^{-1}$ untuk poliuretan A dan B setelah biodegradasi menunjukkan bahwa gugus fungsi tersebut merupakan sumber nutrisi bagi mikroorganisme saat mendegradasi polimer. Serapan pada daerah $875,19\text{ cm}^{-1}$ untuk poliuretan A dan serapan pada daerah $874,98\text{ cm}^{-1}$ untuk poliuretan B menunjukkan masih adanya gugus $\text{C}=\text{O}$ ester dalam allofanat pada kedua jenis poliuretan setelah dibiodegradasi. Begitu juga dengan adanya serapan pada daerah $1639,68\text{ cm}^{-1}$ dan $1639,69\text{ cm}^{-1}$, masing-masing untuk poliuretan A dan B menunjukkan masih adanya gugus fungsi $\text{C}=\text{C}$ aromatis (berasal dari MDI) dalam kedua jenis poliuretan setelah dibiodegradasi. Adanya intensitas serapan gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$ ester dalam allofanat dan peningkatan absorbansi $\text{C}=\text{C}$ aromatis pada kedua poliuretan sesudah dibiodegradasi mengindikasikan bahwa telah terjadi pemutusan rantai utama pada kedua poliuretan tersebut. Hal ini didukung pula oleh melebar dan bertambahnya intensitas serapan ulur N-H sekunder pada daerah $3460,70\text{ cm}^{-1}$ dan $3461,60\text{ cm}^{-1}$ bagi kedua jenis poliuretan tersebut setelah dibiodegradasi. Meningkat dan melebarnya serapan ulur N-H sekunder menunjukkan bahwa terjadi pemutusan di daerah gugus fungsi uretan menjadi gugus senyawa amina.

Berdasarkan difraktogram XRD poliuretan A dan B sebelum dan sesudah dibiodegradasi dapat diketahui pengaruh biodegradasi terhadap perubahan intensitas daerah kristalin dan amorf poliuretan hasil sintesis, meskipun kesemua difraktogram menunjukkan bentuk yang sama, akan tetapi difraktogram kedua jenis poliuretan setelah dibiodegradasi menunjukkan penurunan intensitas yang

signifikan pada daerah kristalin dan amorf. Poliuretan B memiliki nilai derajat kristalinitas lebih tinggi daripada poliuretan A, ini menunjukkan bahwa molekul poliuretan B memiliki bagian kristalin yang teratur lebih banyak dibandingkan dengan molekul poliuretan A. Semakin tinggi tingkat keteraturan poliuretan maka semakin sulit polimer tersebut untuk terbiodegradasi oleh mikroorganisme yang ada dalam lumpur aktif. Hal ini dapat dilihat kecilnya total kehilangan massa polimer poliuretan B selama proses biodegradasi. Selama proses biodegradasi, mikroorganisme ternyata lebih menyukai daerah amorf.

Tabel 10. Derajat kristalinitas poliuretan hasil sintesis

No	Poliuretan	Rata-rata derajat kristalinitas (%)	
		Sebelum biodegradasi	Sesudah biodegradasi
1	PU A (SBO-PEG400-MDI)	33,73	27,68
2	PU B (OSBO-PEG400-MDI)	35,13	28,09

Berdasarkan Tabel 10, dapat dikatakan bahwa proses biodegradasi dapat menurunkan derajat kristalinitas kedua jenis poliuretan, yang berarti di dalam polimer sebenarnya terjadi penurunan pada daerah kristalin dan amorf. Dengan demikian selama proses biodegradasi terjadi penyerangan pada daerah kristalin dan amorf poliuretan oleh mikroorganisme. Namun apabila diamati dan dilakukan perhitungan kehilangan intensitas baik daerah kristalin maupun daerah amorf menunjukkan bahwa setelah proses biodegradasi mengalami penurunan intensitas yang signifikan. Bagian kristalin mengalami penurunan intensitas lebih tinggi daripada bagian amorf. Hal ini menjadi bukti bahwa bagian kristalin dan amorf diserang oleh mikroorganisme dan penyerangan mikroorganisme lebih banyak terhadap bagian kristalin. Hal ini dapat disebabkan pada bagian kristalin lebih banyak terdapat gugus yang mudah diserang oleh mikroorganisme. Terjadinya penurunan intensitas pada daerah kristalin dan amorf untuk kedua jenis poliuretan setelah dibiodegradasi, keadaan ini dapat menjadi petunjuk bahwa beberapa gugus fungsi, seperti $-NCO$, $-NHCOO$, dan $C=N$ dalam trimer karboimida berada pada daerah kristalin dan amorf. Dengan demikian mikroorganisme akan menyerang polimer poliuretan yang mengandung gugus uretan, isosianat, dan gugus lainnya, walaupun gugus-gugus tersebut menempati bagian kristalin akibatnya kristalinitas poliuretan menurun.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Keberhasilan proses oksidasi minyak kedelai dibuktikan oleh nilai absorbansi gugus hidroksil pada spektrum FTIR OSBO, data bilangan hidroksil, massa jenis, titik leleh dan titik didih minyak yang mengalami peningkatan setelah dioksidasi dan indeks bias minyak kedelai setelah dioksidasi mengalami penurunan.

2. Poliuretan dapat disintesis dari SBO dan OSBO dengan penambahan PEG400 dan MDI, yang ditunjukkan munculnya serapan khas poliuretan pada daerah $1742,15\text{ cm}^{-1}$ dan $1742,95\text{ cm}^{-1}$. Poliuretan hasil sintesis dari SBO-PEG400-MDI (PU A) dan OSBO-PEG400-MDI (PU B) kesemuanya memiliki ikatan silang dibuktikan dengan derajat pengembangan bernilai positif. Poliuretan dari OSBO-PEG400-MDI memiliki ikatan silang lebih banyak yang ditunjukkan dengan nilai derajat pengembangan lebih kecil.
3. Keberhasilan proses biodegradasi dengan menggunakan mikroorganisme dalam lumpur aktif dibuktikan dengan berkurangnya massa polimer seiring waktu inkubasi, meskipun dengan biodegradabilitas yang berbeda. Poliuretan hasil sintesis dari SBO-PEG400-MDI (PU A) memiliki total kehilangan massa lebih tinggi setelah proses biodegradasi.
4. Poliuretan hasil sintesis dari SBO-PEG400-MDI (PU A) dan OSBO-PEG400-MDI (PU B) setelah proses biodegradasi keduanya mengalami penurunan derajat kristalinitas. PU B memiliki derajat kristalinitas lebih tinggi baik sebelum maupun sesudah biodegradasi.

4.2 Saran

Hal-hal yang dapat disarankan untuk penelitian lebih lanjut antara lain;

1. Perlu dilakukan studi mengenai degradasi poliuretan selain dengan menggunakan mikroba, misalnya fotodegradasi (degradasi menggunakan cahaya).
2. Perlu dilakukan pengujian dengan teknik SEM untuk mengetahui kerusakan permukaan polimer poliuretan akibat proses biodegradasi.
3. Perlu ada penelitian lebih lanjut untuk mendukung bahwa proses biodegradasi menghasilkan senyawa yang telah mengalami pemutusan rantai utama atau memiliki massa molekul lebih rendah.

Ucapan terimakasih

Ucapan terima kasih tak terhingga disampaikan pada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia atas dana penelitiannya melalui Riset Fundamental dengan surat perjanjian kerjasama no. 018/SP2H/PP/DP2M/III/2008, tanggal 6 Maret 2008 sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- A. J. Hartomo. (1993). Cetak Injeksi Elastomer Poliuretan. *Dasar-dasar Profesi Politeknik Pemrosesan Polimer Praktis*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Dwi Destiawan. (2006). Pengaruh Variasi Komposisi Minyak Kedelai Teroksidasi dan Metilen-4,4'-difenildiisosiyanat (MDI) terhadap Ikatan Silang Poliuretan. *Skripsi*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Eddy Tano. (1997). *Pedoman Membuat Perekat Sintetis*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Eli Rohaeti, N.M.Surdia, Cynthia L. Radiman dan E. Ratnaningsih. (2003). Pengaruh Jenis Poliol terhadap Pembentukan Poliuretan dari Monomer

- PEG1000 dan MDI. *PROC.ITB Sains & Tek.* A35(2). 97-109.
- Eli Rohaeti. (2003). Pengaruh Variasi Berat Molekul Polietilen Glikol terhadap Sifat Mekanik Poliuretan. *Jurnal Matematika dan Sains.* 8(2).63-66.
- Eli Rohaeti, N.M.Surdia, Cynthia L. Radiman dan E. Ratnaningsih. (2003). Pengaruh Variasi Komposisi Amilosa terhadap Kemudahan Biodegradasi Poliuretan. *Jurnal Matematika dan Sains.* 8(4).157-161.
- . (2004). Biodegradasi Poliuretan Hasil Sintesis dari Amilosa-PEG400-MDI Menggunakan Lumpur Aktif. *Jurnal Matematika dan Sains.* 27(3).235-241.
- . (2004). Pengaruh Dua Macam Perlakuan Mikroorganismenya terhadap Kemudahan Degradasi Poliuretan Hasil Sintesis dari Monomer Polietilen Glikol Berat Molekul 400 dengan Metilen-4,4'-difenildisocyanat. *PROC.ITB Sains & Tek.* A36(1). 1-9.
- Eli Rohaeti dan Sukisman Purtadi. (2004). Sintesis Poliuretan dari Propilen Glikol (PPG) dan Polifenilen Isocyanat (PAPI) sebagai Alternatif Sumber Belajar Kimia Material di SMA. *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2004.* Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA UNY.
- Eli Rohaeti. (2005). Kajian tentang Sintesis Poliuretan dan Karakterisasinya. *Prosiding Semnas Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA.* K1-K9.
- Fessenden, R.J. and Fessenden, J.S. (1983). *Kimia Organik*, Edisi kedua, Jilid I (Diterjemahkan oleh A. Hadyana Pudjaatmaka). Jakarta: Erlangga.
- . (1997). *Fundamental of Organic Chemistry* (Diterjemahkan oleh Anas, K., Maun, S., Sally). Jakarta: Erlangga (Buku asli diterbitkan tahun 1996).
- Hardianto, H. dan Mayorga, V.I. (2003). Pengaruh Larutan Kanji terhadap Pembengkakan dan Degradasi Poliuretan. *Prosiding Seminar Sehari 70 Tahun Noer Mandsjoeriah Surdia.* 4.19-4.23.
- Harry H. Nazarudin. (2007). "Poliuretan Polimer Serba Bisa". [Http://www.chem-is-try.org/?sect=artikel&ext=65](http://www.chem-is-try.org/?sect=artikel&ext=65) (diakses, 8 Februari 2007).
- Hatakeyama, H., S. Hirose, T. Hatakeyama, K. Nakamura, K. Kobayashi and N. Morohoshi. (1995). Biodegradable Polyurethanes from Plant Component. *Journal Pure Applied Chemistry.* A32(4). 743-750.
- S. Ketaren. (1986). *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan.* Jakarta: UI Press.
- Stevens, Malcolm P. (2001). *Polymer Chemistry* (Diterjemahkan oleh Iis Sopyan). Jakarta: PT. Pradya Paramita.

