SINTESIS BAHAN DASAR TIBIAL *TRAY* BERBASIS *HDPE* YANG DIPERKUAT DENGAN IRADIASI GAMMA

(SYNTHESIS OF TIBIAL TRAY BASED ON HDPE REINFORCED BY GAMMA IRRADIATION)

Sulistioso Giat S.[1], Armi Wulanawati[2], Deswita[1] dan Sudirman[1]

[1] Pusat Teknologi Bahan Industri – BATAN
[2] Departemen Kimia – FMIPA IPB

Email : sulistioso@gmail.com

Received: 17 September 2013*; Revised:* 16 Desember 2013*; Accepted*: 19 Desember 2013

ABSTRAK

Tibial *tray* yang sudah komersil dibuat dari Polimer *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* tetapi harganya sangat mahal. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan polimer *High Density Polyethylene (HDPE)* untuk pembuatan tibial *tray* karena harganya yang lebih murah dan memiliki kemiripan sifat dengan *UHMWPE. HDPE* dibuat dengan dua metode, yaitu metode *hot press* dan pemanasan tanpa tekanan (PTT). *UHMWPE* dengan metode *hot press* digunakan sebagai pembanding. Metode *hot press* dilakukan pada suhu 180 °C dan diberi tekanan sebesar 200 kg/cm^2. Sedangkan metode pemanasan tanpa tekanan (PTT) dilakukan di dalam oven pada suhu 180°C. Film tipis *UHMWPE* dan sampel *HDPE* yang dihasilkan dari kedua metode tersebut, kemudian diiradiasi sinar gamma dengan variasi dosis 0, 100, 200, 300 dan 500 kGy. Karakterisasi mencakup analisis morfologi dengan *Scanning Electron Microscope (SEM),* uji kekerasan, kekuatan tarik, dan derajat kristalinitas. Semakin tinggi dosis radiasi, maka kekerasan dan derajat kristalinitas semakin meningkat, tetapi kekuatan tarik semakin menurun. Dosis radiasi untuk sampel *HDPE* yang optimum , adalah 100 kGy untuk *HDPE* yang dibuat dengan metoda *hot press,* pada kondisi ini *HDPE* mempunyai kekuatan mekanik mendekati nilai kekuatan mekanik *UHMWPE*, sedangkan *HDPE* yang dibuat dengan metode PTT kekuatan mekaniknya masih dibawah kekuatan mekanik *HDPE* yang dibuat dengan metoda *hot press*

Kata kunci: Tibial *tray*, *UHMWPE*, *HDPE*, *Hot press*, Iradiasi sinar gamma.

ABSTRACT

Tibial tray that has been commercially made of Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) but very expensive. Therefore, this study used High Density Polyethylene (HDPE) for tibial tray materials ,because HDPE more cheaper and have similar properties to UHMWPE. HDPE is made by two methods, the firstv methods is Hot press and the second method of heating without pressure (PTT), as a comparison is made UHMWPE by hot press method. Hot press method performed at a temperature of 180 °C and pressure of 200 kg/cm^2. While the method of heating without pressure (PTT) is done in the oven at a temperature of 180°C. Thin-film samples of UHMWPE and HDPE samples from both methods, and then irradiated with gamma ray dose variation of 0 kGy, 100 kGy, 200 kGy, 300 kGy and 500 kGy. Characterization included analysis of morphology by SEM, hardness test, tensile test, and degree of crystallinity. The higher dose of radiation, then the hardness and the degree of crystallinity increases, but the tensile strength and decreases. Radiation dose to the optimum HDPE samples, is 100 kGy for HDPE made with hotpress method, in this condition the mechanical strength of HDPE has a value close to the mechanical strength of UHMWPE, while HDPE is made with PTT methods of mechanical strength is still below the mechanical strength of HDPE is prepared by the method Hotpress

Key words: Tibial tray, UHMWPE, HDPE, Hot press, Gamma ray irradiation.

PENDAHULUAN

Peradangan sendi lutut (osteoarthritis) merupakan penyakit yang sering menyerang orang-orang usia lanjut di atas 40 tahun baik laki-laki maupun perempuan sehingga perlu adanya upaya untuk mengembalikan fungsi normal dari sendi tersebut. Salah satu upaya yang dilakukan adalah operasi penggantian sendi lutut menggunakan sendi lutut tiruan

(Wang 2007). Operasi ini membutuhkan polimer sebagai komponen tibial *tray*.

Tibial *tray* adalah salah satu komponen dari total sendi lutut tiruan. Komponen ini terdiri dari suatu bidang datar (*tray*) yang menjadi landasan tempurung lutut (*knee cap*) dan komponen pembatas antara permukaan tempurung lutut (*knee cap*) komponen tibial (Gambar 1) dan bahan yang digunakan sebagai tibial *tray* harus memiliki sifat kekuatan mekanik dan juga sebagai biomaterial. Sifat-sifat utama biomaterial adalah biokompatibel, tahan terhadap korosi, biofungsional, memiliki kemampuan proses, dan ketersediaan yang baik (Batista 2004)

Material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (*UHMWPE*) telah digunakan di bidang ortopedi sebagai tibial *tray* selama lebih dari 40 tahun. Telah banyak penelitian yang melaporkan pembuatan tibial *tray* dari *UHMWPE* dengan memodifikasi metode agar dapat meningkatkan ketahanan mekaniknya, di antaranya metode pemanasan dengan iradiasi sinar gamma atau dengan berkas elektron (*electron beam*) juga metode *molding pressure* tanpa iradiasi gamma (Wang 2007). Permukaan yang halus dari *UHMWPE* dapat menghasilkan gesekan yang rendah dengan material lain sehingga dapat meningkatkan ketahanan mekaniknya (Rosario dan Silva 2006)

Berdasarkan data kekerasan, *UHMWPE* mempunyai kekerasan semakin meningkat seiring bertambahnya dosis iradiasi pada kisaran 0 kGy sampai dengan 500 kGy dengan nilai kekerasan 64-68 shore D. Selain faktor tersebut, pemberian tekanan dalam metode *molding pressure* dapat meningkatkan kekerasan *UHMWPE* (Wang 2007). Data penelitian lain menyatakan bahwa keausan *UHMWPE* hasil metode pemanasan dengan iradiasi sinar gamma akan menurun dengan kenaikan dosis radiasi tapi kekerasan semakin meningkat. Kemiripan sifat *High Density Polyethylene* (*HDPE*) dengan *UHMWPE* mengakibatkan perlunya modifikasi metode, seperti metode *hot press* dan metode pemanasan tanpa tekanan (PTT) dengan iradiasi sinar gamma terhadap permukaan *HDPE* agar *HDPE* dapat digunakan sebagai tibial *tray*.

Dari hasil penelitian ini, diperoleh gambaran penggunaan *HPDE* dengan metode hot press dan metode pemanasan dapat digunakan sebagai pengganti *UHMWPE* untuk diaplikasikan sebagai tibial *tray*. Gambar 1 menunjukkan anatomi tibial *tray* yang merupakan bagian total sendi lutut tiruan.

Gambar 1. Sendi lutut tiruan total

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk *UHMWPE* dengan berat molekul 3 g/mol sampai dengan 6 juta g/mol dari Aldrich dan butiran *HDPE* produksi PT. Samsung.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *hot press*, *cold press*, *dumbel punch*, mikrometer sekrup, alat uji kekuatan tarik, alat uji kekerasan Zwick shore A, Difraksi sinar-X (*XRD*), *Scanning Electron Microscope* (*SEM*), dan alat Iradiator Panorama Serbaguna (IPRASENA).

Metode

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahapan, yaitu tahap pertama yang terdiri dari pembuatan film tibial *tray* dari *UHMWPE* dan *HDPE* dengan metode *hot press* dan metode pemanasan tanpa tekanan (PTT) , kemudian diiradiasi sinar gamma, serta dilakukan juga analisis mikrostrukturnya dengan *SEM*. Tahap kedua adalah pengujian sifat mekanik, meliputi uji kekerasan, kekuatan tarik, dan analisis fasa serta derajat kristalinitas dengan *XRD*.

Pembuatan Film Tibial *Tray*.

Metode *Hot Press*

Cetakan berbentuk persegi dengan panjang sisi 20 cm dan tebal 0,5 mm digunakan. Kemudian serbuk *UHMWPE* sebanyak 12 gram diletakan di bagian tengah cetakan dan dimasukkan dalam alat tekanan panas dan dipanaskan dengan suhu tinggi sebesar 180 °C selama 3 menit. Kemudian ditekan dengan tekanan sebesar 200 kg/cm^2 dan dipertahankan selama 3 menit. Setelah itu, sampel dikeluarkan dari alat tekan panas dan

dimasukkan ke dalam alat tekan dingin selama 10 menit kemudian dikeluarkan dari wadah cetakan. Sampel berbentuk persegi tersebut dibuat sebanyak 7 buah.

Sampel-sampel kemudian dicetak di alat pencetak dumbel sehingga berbentuk dumbel yang sesuai standar *American Society for Testing and Materials (ASTM)* D 1822 L sebanyak 25 buah film uji kekuatan tarik dan perpanjangan putus, dan ada juga yang dipotong berbentuk persegi dengan panjang sisi 3,5 cm sebanyak 60 buah film untuk uji kekerasan. Hal yang sama juga dilakukan terhadap film *HDPE*.

Metode Pemanasan Tanpa Tekanan (**PTT**)

Satu buah tabung kaca disiapkan lalu dilapisi dengan alumunium *foil* pada bagian bawah dan dalam tabung. Tabung tersebut diisi *HDPE* sebanyak 10 gram. Cetakan besar berbentuk kotak disiapkan kemudian dilapisi dengan alumunium *foil* hingga seluruh cetakan tertutup. Cetakan tersebut diisi sedikit demi sedikit secara merata dengan *HDPE* sebanyak 60 gram sehingga bagian dasar wadah tertutup. Tabung kaca dan wadah cetakan yang telah diisi *HDPE* dipanaskan di atas titik lelehnya pada suhu 180 °C selama 4 jam di dalam tanur. Setelah dipanaskan, sampel tersebut didinginkan secara perlahan pada suhu ruang sehingga sampel keras.

Sampel yang berada di dalam tabung dipotong-potong berbentuk lingkaran berdiameter 3 cm sebanyak 5 bagian sehingga bobot masing-masing film sebesar 2 gram dengan tebal 6 mm untuk uji kekerasan. Sampel yang berada dalam wadah kotak dicetak dengan alat pencetak dumbel sehingga berbentuk dumbel yang sesuai standar *ASTM D 1822 L* sebanyak 25 buah film untuk uji kekuatan tarik dan perpanjangan putus.

Iradiasi Sinar Gamma

Film *HDPE* dan *UHMWPE* dimasukkan ke dalam ampul kemudian diiradiasi dengan sinar gamma (γ) dengan sumber yang berasal dari isotop Co^{60}. Iradiasi dilakukan dalam media udara dengan alat Iradiator Panorama Serbaguna (IPRASENA) selama selang waktu dan jarak tertentu dari sumber radiasi. Ragam dosis yang digunakan dalam metode ini, yaitu 0 kGy, 100 kGy, 200 kGy, 300 kGy, dan 500 kGy.

Analisis Struktur Mikro Permukaan dengan *SEM*

Film *HDPE* atau *UHMWPE* dengan ukuran tertentu ditempelkan pada *cell holder* kemudian dilapisi emas dalam keadaan vakum selama waktu dan kuat arus tertentu dengan ion *coater*. Setelah itu, film diamati dengan *SEM* pada tegangan tertentu. Gambar yang dihasilkan berupa gambar topografi dengan segala tonjolan, lekukan, dan lubang pada permukaan. Gambar tersebut dapat diamati di layar monitor dengan perbesaran tertentu.

Uji Kekerasan (*ASTM D2240*)

Ketebalan film diukur dengan mikrometer. Film diletakkan di atas meja atau tempat yang rata kemudian alat uji kekerasan *Zwick shore* A diletakkan di atas sampel. Lalu baja seberat 1 kg diletakkan di atas alat tersebut selama 15 detik kemudian diukur nilai kekerasannya. Besarnya nilai kekerasan ditentukan dari nilai skala yang ditunjuk oleh jarum yang bergerak dalam alat tersebut. Nilai skala uji kekerasan *shore* A berkisar antara 0 sampai dengan 100. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Nilai kekerasan *shore* A dikonversi ke dalam *shore* D.

Uji Kekuatan Tarik dan Perpanjangan Putus (*ASTM D1822-L*)

Film dibentuk dumbel dengan ukuran panjang sebesar 63,5 mm, lebar sebesar 10 mm, dan lebar bagian tengah dumbel sebesar 3 mm. Film diukur ketebalannya terlebih dahulu dengan mikrometer sekrup sebanyak 3 kali ulangan. Kemudian bagian tengah dumbel ditandai dengan dua titik yang berjarak 1 cm. Setelah itu, film dijepit diantara kedua pendulum dalam alat Toyoseiki. Tanda dua titik di bagian tengah dumbel dipastikan berada di tengah kedua pendulum tersebut untuk pengukuran perpanjangan putus. Kemudian sampel ditarik sampai putus dengan kecepatan konstan 100 mm/menit sehingga dapat diketahui besarnya gaya maksimum dan panjang sampel saat putus. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali ulangan.

Kekuatan tarik dan persentase perpanjangan putus dihitung menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{A}} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:

τ = kekuatan tarik (kg/cm^2)

F = gaya maksimun (kg)

A = luas penampang sampel (cm^2)
$= \bar{t} \times 0{,}3\ cm$

$\bar{t}$ = rataan ketebalan sampel (cm)

$\%\boldsymbol{E} = \frac{\Delta L}{L_0} \times \mathbf{100}\%$ .....(2)

Keterangan:
$\%E$ = persentase perpanjangan putus (%)
ΔL = pertambahan panjang sampel (cm)
= L_1(cm) – L_0 (cm)
L_1 = panjang sampel saat putus (cm)
L_0 = panjang sampel awal (cm)

Analisis Derajat Kristalinitas dengan *XRD*

Film *HDPE* atau *UHMWPE* dengan ukuran tertentu ditempelkan pada spesimen *holder XRD* dengan perekat ganda yang kemudian diletakkan pada goniometer dan dirotasikan pada sudut (2θ) 15° sampai dengan 30° selama waktu tertentu. Hasil yang diperoleh berupa difraktogram dan dapat diamati di layar monitor. Derajat kristalinitas dapat ditentukan dari difraktogram melalui Persamaan 3.

$$\boldsymbol{Dk} = \frac{\boldsymbol{A_{kristalin}}}{\boldsymbol{A_{kristalin}+A_{amorf}}} \times \mathbf{100}\% \quad .. \quad ....(3)$$

Keterangan:
Dk = derajat kristalinitas (%)
$A_{kristalin}$ = luas daerah kristalin (cm^2)
A_{amorf} = luas daerah amorf (cm^2)

HASIL dan PEMBAHASAN

Tibial *tray UHMWPE* dan *HDPE* yang dihasilkan dari kedua metode menunjukkan ciri-ciri fisik permukaan yang berbeda. Ada perbedaan warna yang mencolok pada kedua polimer tersebut sebelum dan sesudah diiradiasi sinar gamma. *HDPE* hasil metode pemanasan dan *hot press* sebelum diiradiasi berwarna putih pekat, sedangkan *UHMWPE* hasil metode *hot press* berwarna putih yang sedikit transparan. Setelah diiradiasi, warna *UHMWPE* dan *HDPE* berubah menjadi warna coklat. Warna coklat pada *UHMWPE* masih sedikit transparan dan tidak pekat, seperti *HDPE*. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa *HDPE* mempunyai sifat tahan terhadap suhu, keras, buram, dan kurang tembus cahaya (Sulchan dan Endang 2007). Oleh karena itu, *HDPE* memiliki warna yang lebih pekat dibandingkan dengan *UHMWPE* baik sebelum maupun sesudah diiradiasi.

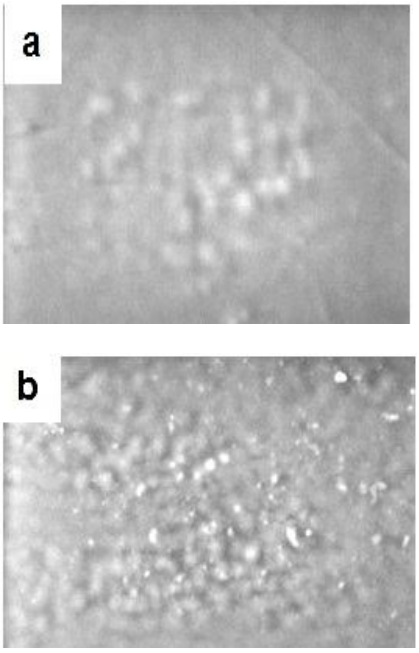
Iradiasi sinar gamma mengubah sifat-sifat fisik permukaan polimer secara signifikan baik warna maupun struktur permukaannya. Iradiasi ini menyebabkan molekul yang tereksitasi akan terdisosiasi menjadi radikal bebas, yaitu spesi reaktif yang berperan pada terjadinya degradasi dan ikatan silang ketika polimer dipapari dengan radiasi gamma. Pembentukan radikal bebas menjadi sumber terjadinya perubahan struktur kimia dan perubahan sifat-sifat polimer.

Perubahan warna polimer dari putih menjadi coklat menunjukkan adanya ikatan silang dan degradasi. Warna coklat pada *HDPE* hasil metode *hot press* lebih pekat dibandingkan dengan *UHMWPE* karena *HDPE* lebih mudah mengalami degradasi. Degradasi pada *HDPE* tersebut diperkuat dengan adanya perubahan struktur permukaan yang signifikan pada dosis 0 kGy dan 500 kGy.

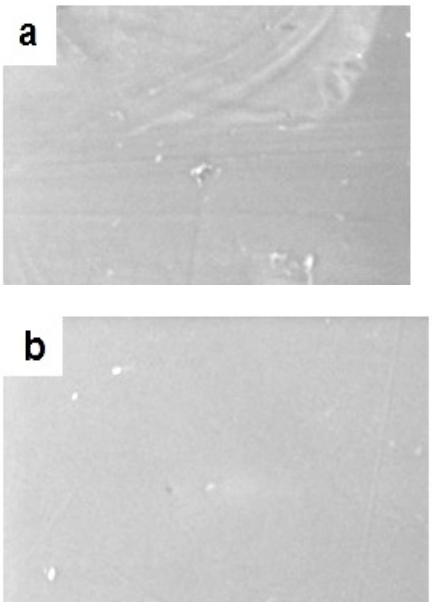
Scanning Electron Microscope (*SEM*) digunakan untuk mengamati perubahan struktur dari permukaan polimer akibat iradiasi sinar gamma. *HDPE* hasil metode *hot press* pada dosis 0 kGy terlihat kasar karena masih terdapat banyak butiran di permukaan (Gambar 2a), sedangkan pada dosis 500 kGy butiran-butiran sedikit berkurang (Gambar 2b). Perubahan yang sama juga terjadi pada *HDPE* hasil metode pemanasan, tetapi butiran yang terdapat di permukaan pada dosis 0 kGy dan 500 kGy masih lebih banyak. Permukaan *UHMWPE* pada dosis 0 kGy tampak halus dan licin dibandingkan dengan *HDPE*, tetapi masih terlihat adanya sedikit butiran (Gambar 3a).

Seiring bertambahnya dosis iradiasi, maka butiran pada permukaan *UHMWPE* yang diberi dosis 500 kGy sangat sedikit, juga terlihat lebih halus dan licin (Gambar 3b). Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa permukaan yang licin dan halus dari *UHMWPE* dapat menghasilkan gesekan yang rendah dengan material lain sehingga dapat meningkatkan ketahanan mekaniknya.

Butiran yang terdapat di permukaan menunjukkan adanya sisa gelembung udara yang terjebak di dalam polimer akibat proses pemanasan pada suhu tinggi (Ivanov 1992). Metode *hot press* adalah metode kompaksi yang dilakukan pada suhu tinggi untuk menghasilkan suatu proses pemadatan polimer yang sempurna (Rusianto 2009). Metode pemanasan merupakan metode yang dilakukan pada suhu tinggi, tetapi tidak diberi tekanan.



Gambar 2. Hasil *SEM* permukaan *HDPE* metode *hot press* perbesaran 1000 kali pada dosis 0 kGy (a) dan 500 kGy (b)



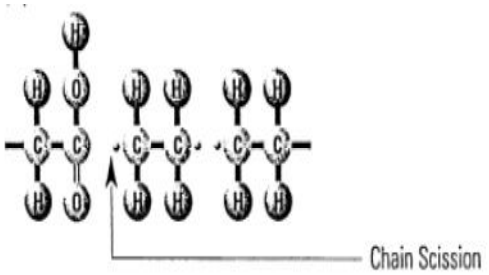
Gambar 3. Hasil *SEM* permukaan *UHMWPE* metode *hot press* perbesaran 500 kali pada dosis 0 kGy(a) dan 500 kGy (b)

Pemberian tekanan sebesar 200 kg/cm^2 pada metode *hot press* setelah pemanasan yang tidak berlangsung lama menyebabkan pemanasan menjadi merata ke seluruh bagian *UHMWPE* sehingga sangat sedikit gelembung udara yang terjebak di dalamnya dibandingkan dengan *HDPE*. Hal ini berbeda pada metode pemanasan karena pada metode tersebut, pemanasan yang berlangsung lama di dalam tanur masih kurang merata ke seluruh bagian *HDPE* sehingga gelembung udara yang terjebak masih banyak. Oleh karena itu, butiran pada permukaan *HDPE* hasil metode pemanasan lebih banyak dibandingkan dengan butiran *HDPE* dan *UHMWPE* yang dihasilkan dari metode *hot press*.

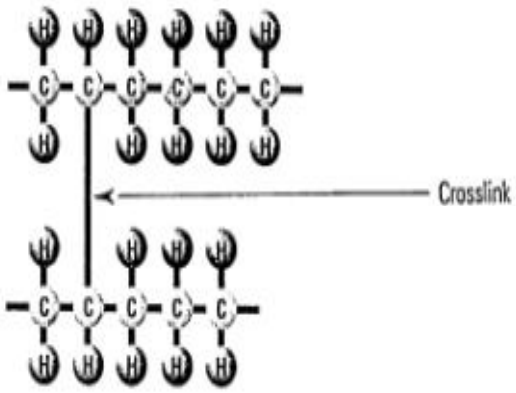
Pada metode pemanasan, terjadi gelembung udara yang terjebak didalam polimer *HDPE*. Gelembung udara dapat berperan sebagai penangkap radikal bebas saat iradiasi sehingga menghambat terbentuknya ikatan silang. Selain itu, proses iradiasi sinar gamma yang berlangsung dalam media udara juga semakin memicu terbentuknya degradasi karena oksigen juga dapat menghambat terbentuknya ikatan silang dengan cepat. Gambar 4 menunjukkan proses degradasi yang terjadi dalam media udara saat diiradiasi gamma. *UHMWPE* yang dihasilkan dari metode *hot press* memiliki gelembung udara terjebak yang sangat sedikit sehingga lebih dominan untuk membentuk ikatan silang (Gambar 5). *HDPE* hasil metode *hot press* juga membentuk ikatan silang, seperti pada *UHMWPE*, tetapi ikatan silang yang terbentuk sangat sedikit. Hal ini disebabkan oleh masih banyaknya gelembung udara yang terjebak pada *HDPE* sehingga semakin tinggi dosis iradiasi yang diberikan, maka semakin berkurang ikatan silang yang terbentuk dan lebih mudah terdegradasi dibandingkan *UHMWPE*.

Kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Penekanan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan, pantulan, dan indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji (Yuwono 2009). Kekerasan merupakan salah satu sifat bahan yang sangat penting dan sudah sering digunakan sebagai indikator untuk ketahanan aus polimer (Wang 2007). Pengukuran kekerasan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekerasan dengan meningkatnya dosis iradiasi baik pada *UHMWPE* maupun *HDPE* dan nilai kekerasan yang dihasilkan *UHMWPE* lebih besar dibandingkan dengan *HDPE* (Gambar 6). Lampiran 2 menunjukkan perhitungan nilai kekerasan *UHMWPE* dan *HDPE* dari kedua metode.

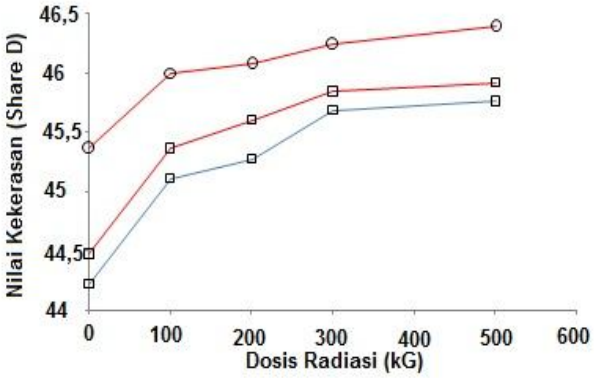
Nilai kekerasan *UHMWPE* berada pada kisaran 45.36-46.39 shore D dan nilai tersebut mendekati hasil penelitian sebelumnya bahwa nilai kekerasan *UHMWPE* semakin tinggi seiring bertambahnya dosis iradiasi dan berada pada kisaran 64-68 *shore* D (Rosario and Silva 2006). Nilai kekerasan *UHMWPE* yang lebih besar dibandingkan dengan *HDPE* disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktornya adalah ikatan silang. Ikatan silang yang terbentuk di fase amorf *UHMWPE* cukup banyak sehingga *UHMWPE* lebih kuat dalam mempertahankan ikatan silang yang terbentuk dengan stabil agar tidak cepat berkurang atau terdegradasi, sedangkan *HDPE* hasil metode *hot press* tidak cukup kuat dalam mempertahankan ikatan silang yang terbentuk sangat sedikit di fase amorf. *HDPE* hasil metode pemanasan memiliki nilai kekerasan yang paling kecil karena *HDPE* tersebut tidak terbentuk ikatan silang dan sangat mudah terdegradasi pada kisaran dosis yang digunakan.



Gambar 4. Pemutusan rantai atau degradasi (Kim dan Nho 2009)



Gambar 5. Pembentukan ikatan silang (Kim dan Nho 2009)



Gambar 6. Nilai kekerasan dari *UHMWPE* dan *HDPE*. ○ = *UHMWPE*, □ = *HDPE*, (+) metode *hot press*, dan (-) metode pemanasan

Berat molekul juga mempengaruhi nilai kekerasan *UHMWPE* dan *HDPE*. Berat molekul yang sangat tinggi pada *UHMWPE* menyebabkan ikatan silang yang terbentuk di fase amorf lebih banyak sehingga rantai polimer juga lebih panjang, sedangkan berat molekul *HDPE* yang lebih kecil dari *UHMWPE* menyebabkan ikatan silang yang terbentuk dari hasil metode *hot press* sangat sedikit sehingga rantai polimer lebih pendek dan pada *HDPE* metode pemanasan tidak terbentuk ikatan silang sehingga rantai polimernya sangat pendek.. Oleh karena itu, terbentuknya rantai polimer yang panjang pada *UHMWPE* membuktikan bahwa nilai kekerasan *UHMWPE* lebih besar dan lebih kuat dalam mempertahankan wilayah ikatan silang dibandingkan dengan *HDPE*. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa metode *molding pressure* dapat mengurangi koefisien gesekan dan meningkatkan kekerasan dalam *UHMWPE*. Namun, kekerasan *HDPE* hasil metode *hot press* masih mendekati dengan kekerasan *UHMWPE*.

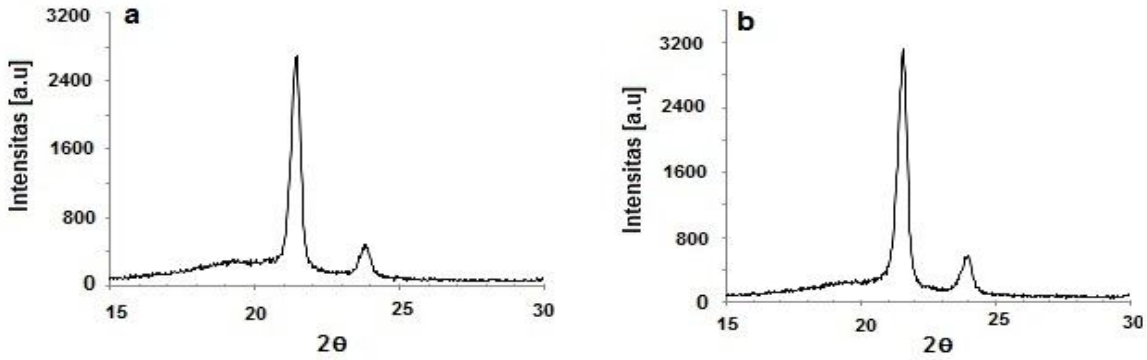
Kekerasan *UHMWPE* dan *HDPE* meningkat seiring bertambahnya dosis iradiasi karena polimer tersebut juga mengalami degradasi. Kenaikan kekerasan yang tidak signifikan disebabkan oleh proses degradasi berlangsung secara perlahan pada kisaran dosis 100 kGy sampai dengan 500 kGy. Kenaikan kekerasan yang tidak signifikan juga menyebabkan derajat kristalinitas kedua polimer meningkat tidak signifikan. Derajat kristalinitas adalah derajat kemungkinan terbentuknya

susunan kristal dalam bentuk rantai (Bambang 2011). Kristalinitas merupakan sifat penting pada polimer yang menunjukkan ikatan antar rantai molekul. Sifat kristalinitas yang tinggi menyebabkan tegangan yang tinggi dan kaku (Agusnar 2004).

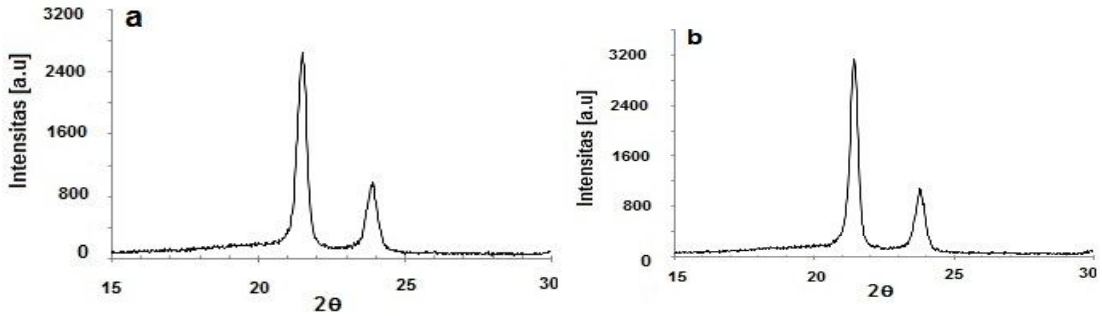
Difraksi sinar-X (*XRD*) digunakan untuk menentukan derajat kristalinitas polimer. Polimer *UHMWPE* dan *HDPE* merupakan jenis polimer semikristalin sehingga ada dua jenis puncak yang terlihat dalam difraktogram hasil *XRD*, yaitu puncak yang tajam dan puncak yang lebar. Puncak yang tajam menggambarkan daerah kristalin, sedangkan puncak yang lebar menggambarkan daerah amorf. Semakin berkurangnya intensitas daerah amorf, maka semakin besar derajat kristalinitasnya.

Difraktogram hasil *XRD* menunjukkan pola difraksi yang sama baik *UHMWPE* maupun *HDPE* dari kedua metode. Peningkatan derajat kristalinitas tidak signifikan seiring bertambahnya dosis iradiasi pada kisaran 100 kGy sampai dengan 500 kGy. Persentase derajat kristalinitas *UHMWPE* metode *hot press* pada dosis 0 kGy sebesar 52,07% (Gambar 7(a)), sedangkan pada 500 kGy sebesar 59,70% (Gambar 7(b)). Banyaknya ikatan silang pada daerah amorf *UHMWPE* membuat intensitas daerah amorf masih lebih tinggi dan memiliki puncak yang lebih lebar dari *HDPE* sehingga nilai kekerasannya lebih besar dan derajat kristalinitasnya lebih kecil dibandingkan dengan *HDPE* dari kedua metode.

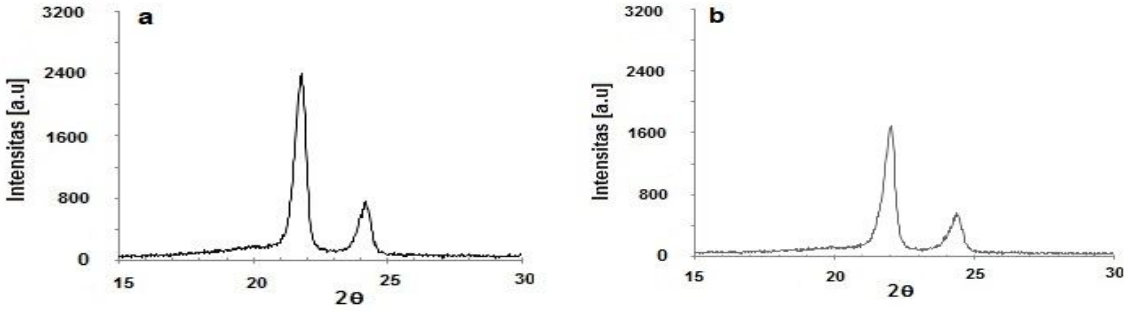
Persentase derajat kristalinitas *HDPE* hasil metode *hot press* semakin meningkat dan lebih besar dari *UHMWPE*, yaitu 67,11% pada dosis 0 kGy (Gambar 8(a)) dan 68,75% pada dosis 500 kGy (Gambar 8(b)). Kenaikan derajat kristalinitas juga terjadi pada *HDPE* hasil metode pemanasan dan memiliki nilai paling besar, yaitu 69,96% pada dosis 0 kGy (Gambar 9(a)) dan 79,15% pada dosis 500 kGy (Gambar 9(b)).



Gambar 7. Difraktogram UHMWPE metode *hot press* dan iradiasi 0 kGy (a) dan 500 kGy (b).



Gambar 8. Difraktogram HDPE metode *hot press* dan iradiasi 0 kGy (a) dan 500 kGy (b).



Gambar 9. Difraktogram *HDPE* metode pemanasan dan iradiasi 0kGy (a) dan 500 kGy (b)

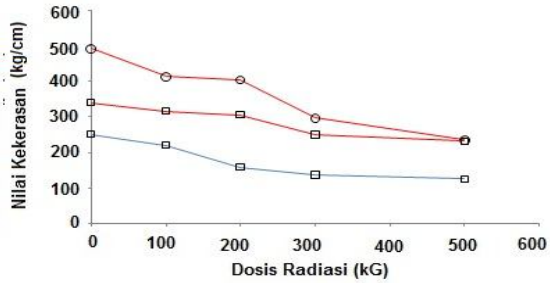
Derajat kristalinitas *HDPE* hasil metode *pemanasan* memiliki persentase yang paling besar dibandingkan dengan *UHMWPE*. *HDPE* hasil metode *hot press* nilai kekerasannya paling kecil dengan daerah amorf sangat sedikit sehingga sangat mudah terdegradasi. Degradasi akibat energi sinar gamma yang sangat besar tidak hanya menyerang atau memutuskan ikatan C-C di daerah kristalin saja, melainkan juga memutuskan ikatan C-C di daerah amorf. Dengan demikian, daerah amorf lebih cepat berkurang dan cepat menjadi kristalin. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa semakin tinggi dosis radiasi, maka semakin tinggi derajat kristalinitasnya (Kim and Nho 2009). Selain itu, faktor jenis ikatan dan struktur rantai juga mempengaruhi kristalinitas polimer (Agusnar 2004). Rantai polimer yang sangat pendek pada *HDPE* hasil metode pemanasan menyebabkan semakin cepat polimer tersebut menjadi kristalin dibandingkan dengan *HDPE* dan *UHMWPE* hasil metode *hot press*

Uji tarik suatu bahan dapat memberikan informasi mengenai sifat mekanik, seperti kuat tarik dan perpanjangan putus. Patahan sampel hasil uji tarik ada dua macam, yaitu perpatahan ulet dan getas (Yuwono 2009). Uji kuat tarik menunjukkan bahwa terjadi penurunan kuat tarik dengan meningkatnya dosis iradiasi baik *UHMWPE* maupun *HDPE* dari kedua metode. Semakin tinggi dosis iradiasi sinar gamma, maka semakin menurun nilai kuat tariknya.

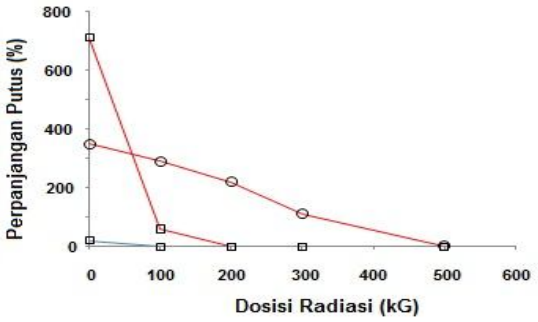
Berat molekul juga mempengaruhi kekuatan tarik dan perpanjangan putus pada polimer (Egen dan Zentel 2004). Berat molekul yang sangat besar pada *UHMWPE* menyebabkan rantai polimer hasil iradiasi sinar gamma menjadi lebih panjang. Berat molekul *HDPE* yang lebih kecil mengakibatkan rantai polimer *HDPE* lebih pendek dari *UHMWPE*, namun rantai polimer *HDPE* hasil metode pemanasan masih lebih pendek dari *HDPE* hasil metode *hot press*. Rantai polimer yang panjang dari *UHMWPE* menyebabkan nilai kuat tariknya lebih besar dari *HDPE* hasil metode *hot press* dan rantai polimer *HDPE* hasil metode pemanasan yang sangat pendek menyebabkan nilai kuat tariknya paling kecil (Gambar 10).

Seiring meningkatnya dosis iradiasi, maka rantai polimer semakin lama semakin pendek karena adanya degradasi sehingga nilai kekuatan tariknya semakin lama semakin menurun. Penurunan kuat tarik terjadi secara tidak signifikan karena kenaikan kekerasan dan derajat kristalinitas juga tidak signifikan, serta degradasi terjadi secara perlahan pada kisaran dosis yang digunakan.

Pengukuran persentase perpanjangan putus juga menunjukkan hal yang sama, yaitu semakin meningkatnya dosis iradiasi yang diberikan, maka semakin berkurang persentase perpanjangan putusnya dan polimer semakin getas. *UHMWPE* getas pada dosis 500 kGy, *HDPE* hasil metode *hot press* mulai getas pada dosis 200 kGy, dan *HDPE* hasil metode pemanasan mulai getas pada dosis 100 kGy (Gambar 11). Terjadinya kegetasan dapat dilihat dari persentase perpanjangan putus yang bernilai 0%. Berdasarkan hasil tersebut, *UHMWPE* mengalami perpatahan ulet sehingga lebih kuat dan tangguh, serta tidak mudah getas dibandingkan dengan *HDPE*.



Gambar 10. Nilai kekuatan tarik A = *UHMWPE*, □ = *HDPE*, (-) metode *hot press*, dan (-) metode pemanasan.



Gambar 11. Nilai persentase perpanjangan putus. ○ = *UHMWPE*, □ = *HDPE*, (-) metode *hot press*, dan (-) metode pemanasan.

Persentase perpanjangan putus yang diperoleh *UHMWPE* menurun dari 350 ke 0 % pada kisaran dosis 0 kGy sampai dengan 500. Hasil tersebut tidak berbeda jauh dengan Penelitiuan sebelumnya bahwa persentase perpanjangan putus *UHMWPE* menurun dari 248 ke 30% pada kisaran dosis radiasi 0 kGy sampai dengan 500 kGy sehingga kekuatan tariknya juga menurun. Ikatan silang yang cukup banyak dimiliki oleh *UHMWPE* menyebabkan polimer tersebut lebih kuat dalam mempertahankan kuat tarik dengan stabil sehingga tidak cepat terdegradasi dan menjadi kristalin. Oleh karena itu, *UHMWPE* mulai getas pada dosis 500 kGy. Hal ini berbeda dengan HDPE dari kedua metode.

HDPE hasil metode *hot press* memiliki ikatan silang yang sangat sedikit sehingga *HDPE* hasil metode ini kurang kuat dalam mempertahankan kuat tarik dan mulai getas pada dosis 200 kGy. *HDPE* hasil metode pemanasan tidak terbentuk ikatan silang dan sangat kristalin. Kristalinitas yang tinggi menyebabkan *HDPE* hasil metode pemanasan memiliki nilai kuat tarik paling kecil sehingga *HDPE* tersebut sangat mudah getas. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahawa semakin kecil kekuatan tarik dan perpanjangan putusnya, maka polimer semakin getas seiring bertambahnya dosis iradiasi.

KESIMPULAN

Modifikasi permukaan polimer *UHMWPE* dengan metode *hot press* dengan iradiasi sinar gamma lebih baik dalam meningkatkan ketahananan mekanik tibial *tray* dibandingkan dengan *HDPE* dengan metode *hot press* maupun metode pemanasan. Polimer *HDPE* yang dihasilkan dari metode *hot press* berhasil mempertahankan ikatan silang yang terbentuk dan meningkatkan ketahanan mekanik tibial *tray* pada dosis iradiasi optimum 100 kGy, sedangkan polimer *HDPE* yang dibuat dengan metode pemanasan menunjukkan hasil yang tidak direkomendasi untuk digunakan. Nilai ketahanan mekanik *HDPE* hasil metode *hot press* yang mendekati *UHMWPE* membuat *HDPE* dapat digunakan sebagai tibial *tray* dengan metode tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Agusnar, H. 2004. Penentuan derajat kristalinitas larutan kitin dengan variasi waktu penyimpanan menggunakan difraksi sinar-x (XRD). *Sains Kimia* 8: 43-45.

American Society for Testing and Materials. 2010. *ASTM Standard: D1822-06: Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials.* Philadelphia.

American Society for Testing and Materials. 2010. *ASTM Standard: D2240-05: Rubber Property-Durometer Hardness.* Philadelphia.

Bambang, E. 2011. Pengaruh variasi temperatur pada proses plastic injection molding jenis RN. 350 dengan bahan baku polypropylene murni, campuran polypropylene, polyethylene, dan polystyrene. Skripsi. Universitas Sumatera Utara, Medan. Indonesia.

Batista, G., M. Ibarra, J. Ortiz, and M.Villegas. 2004. Engineering biomechanics of knee replacement. *Engineering Mechanics* 1: 1-12.

Egen, M. and Zentel R. 2004. Surfactant-free emulsion polymerization of various methacrylates; towards monodisperse

colloids for polymer opals. *Macromolecule Chemistry Physical* 205: 1479-1488.

Kim, S and Nho Y.C. 2009. *Controlling of Degradation Effects in Radiation Processing of Polymers*. Wina : IAEA Pr.

Rosario, S.C. and Silva L.G.A. 2006. Characterization of the virgin and recycled ultra high molecular weight polyethylene irradiated [thesis]. Brazil: Cidade University.

Rusianto, T. 2009. Hot pressing metalurgi serbuk alumunium dengan variasi suhu pemanasan. *Teknologi* 2: 89-95.

Sulchan, M. dan Endang N.W. 2007. Keamanan pangan kemasan plastik dan Styrofoam Tesis. Universitas Diponegoro, Semarang. Indonesia.

Wang, S.G. 2007. The mechanical property and tribological behavior of UHMWPE: effect of molding pressure. *Wear* 263: 949-956.

Yuwono, A.H. 2009. *Karakterisasi Material Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Jakarta: UI Pr.