

Pengaruh Radiasi Gamma Terhadap Sifat HDPE untuk Tibial Tray

The Influence of Gamma Radiation on HDPE Properties for Tibial Tray

Sulistioso Giat S.¹⁾, Dewi Ramandhani K.²⁾, Maria Christina P.²⁾, dan
Nada Marnada³⁾

¹⁾ Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN

²⁾ Sekolah Tinggi Teknik Nuklir, BATAN

³⁾ Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

Diterima 24 April 2012; Disetujui 01 November 2012

ABSTRAK

Pengaruh Radiasi Gamma Terhadap Sifat HDPE untuk Tibial Tray. Telah dilakukan penelitian untuk HDPE sebagai tibial tray. yang merupakan bagian dari sendi lutut buatan total Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi pengaruh radiasi gamma terhadap sifat fisik, kimia, dan mekanik HDPE serta mempelajari dosis optimum yang diperlukan HDPE agar diperoleh sifat fisik, kimia, dan mekanik yang baik sehingga dapat digunakan sebagai tibial tray. Film HDPE diradiasi dengan sinar gamma pada variasi dosis 0 kGy, 25 kGy, 50 kGy, 75 kGy, 100 kGy, 125 kGy, dan 150 kGy dan laju dosis 9 kGy/jam. HDPE yang telah diradiasi, diuji sifat kimia, dan mekaniknya. Uji sifat kimia, meliputi *crosslinking* dan radikal bebas. Uji sifat mekanik, meliputi kekerasan, kekuatan tarik, dan perpanjangan putus. Hasil yang diperoleh adalah radiasi gamma dari IRKA kategori IV mengubah sifat kimia HDPE dalam hal persentase *crosslinking* dan jumlah radikal, serta sifat mekanik HDPE dalam hal kekerasan, kekuatan tarik, dan perpanjangan putus dengan perubahan yang berbeda dari keadaan awal sebelum radiasi serta dosis optimum untuk memperoleh kimia, dan mekanik HDPE yang lebih baik, yaitu pada 75 kGy; persentase *crosslinking* sebesar 99,71%; tinggi kurva radikal peroksida sebesar 13 cm; kekerasan (*shore A*) sebesar 94,33; modulus elastisitas sebesar 1113,03 N/mm²; tegangan yield sebesar 26,38 N/mm²; kekuatan tarik sebesar 31,11 N/mm²; dan perpanjangan putus sebesar 440,37%, sehingga HDPE berpotensi sebagai tibial tray.

Kata kunci : radiasi gamma, sifat kimia, sifat mekanik, HDPE, dan tibial tray

ABSTRACT

The Influence of Gamma Radiation on HDPE Properties for Tibial Tray. A research on HDPE as tibial tray in total knee joint replacement surgery has been done. The aims of this research were to characterize the influence of gamma radiation on chemical, and mechanical properties on HDPE is made by using hot press method then irradiated with various doses of gamma rays of 0 kGy, 25 kGy, 50 kGy, 75 kGy, 100 kGy, 125 kGy, and 150 kGy at a dose rate 9 kGy/h. The irradiated HDPE were tested for their chemical, and mechanical properties. The chemical properties test, involve *crosslinking* and free radicals. The mechanical properties test, involve hardness, tensile strength, and elongation at break. The results showed that gamma radiation from IRKA IVth category can enhance the, chemical properties of HDPE in terms of percentage and number of radical *crosslinking* and mechanical properties of HDPE in terms of hardness, tensile strength and elongation at break with different changes from the initial state before radiation also the optimum dose to obtain better physical, chemical, and mechanical properties of HDPE, *crosslinking* percentage at 99.71%; height of radical peroxide curve at 13 cm; hardness (*shore A*) at 94.33; modulus of elasticity at 1113.03 N/mm²; yield stress at 26.38 N/mm²; tensile strength at 31.11 N/mm²; and elongation at break at 440.37% , so that HDPE can be used as tibial tray.

Key words: gamma radiation, chemical properties, mechanical properties, HDPE and tibial tray

PENDAHULUAN

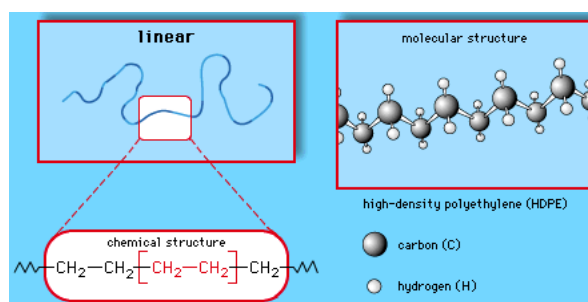
Salah satu aplikasi Poli Etilen dalam bidang kesehatan adalah sebagai komponen tibial tray pada sendi lutut (*Total Knee Joint Replacement*) bagi para penderita osteoarthritis (peradangan sendi lutut). Banyak penelitian yang rata-rata menggunakan UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*) sebagai tibial tray. Telah banyak penelitian yang melaporkan pembuatan tibial tray dari *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) dengan memodifikasi metode agar dapat meningkatkan ketahanan mekaniknya, di antaranya metode pemanasan dengan iradiasi sinar gamma, dan radiasi berkas elektron (*electron beam*) [1], serta metode *molding pressure* tanpa iradiasi gamma [2]. Permukaan yang halus dari polimer dapat menghasilkan gesekan yang rendah dengan material lain sehingga dapat meningkatkan ketahanan ausnya. Kekerasan UHMWPE semakin meningkat seiring bertambahnya dosis iradiasi pada kisaran 0-500 kGy dengan nilai kekerasan 64-68 shore [3]. UHMWPE memiliki ketahanan yang paling baik diantara polimer lainnya namun memiliki harga jual yang tinggi. Pada penelitian ini digunakan polimer HDPE (*High Density Polyethylene*) untuk alternatif lain pembuatan tibial tray dengan alasan pemilihan yang didasarkan atas kemiripan sifatnya dengan UHMWPE. Kemiripan sifat HDPE dengan UHMWPE memungkinkan UHMWPE digantikan oleh HDPE, dengan modifikasi untuk meningkatkan sifat mekanik dan kimia HDPE dengan mengkorelasikan sifat mekanik dan kimia dari UHMWPE. Pada penelitian ini film HDPE dibuat dengan cara *hot press* kemudian diiradiasi permukaannya menggunakan radiasi γ untuk meningkatkan sifat mekanik dan kimianya agar HDPE dapat digunakan untuk menggantikan UHMWPE sebagai tibial tray.

TEORI

UHMWPE merupakan polimer linier dengan berat molekul rata-rata mencapai 6

juta g/mol. Tingginya massa molekul membuat plastik ini sangat kuat, namun mengakibatkan pembentukan rantai panjang menjadi struktur kristal tidak efisien dan memiliki kepadatan lebih rendah dari pada HDPE.

HDPE (*High Density Polyethylene*) merupakan polimer linier dengan berat molekul mencapai 200.000 g/mol serta memiliki massa jenis tinggi, yaitu 0,941 g/cm³ [4]. HDPE mempunyai struktur rantai lurus dengan sedikit cabang pendek sehingga memiliki sifat kristalinitas yang tinggi dan kaku. [5]. HDPE memiliki struktur kimia $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{poly}(\text{ethylene})$ atau $-\text{CH}_2-\text{poly}(\text{methylene})$ dan struktur molekul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Kimia dan Struktur Molekul HDPE. [5]

Perbandingan HDPE dan UHMWPE

Hampir semua sifat dari HDPE mendekati sifat UHMWPE perbedaan yang paling menonjol adalah pada *tensile ultimate strength* dan *tensile ultimate elongation* yang signifikan antara keduanya, seperti pada Tabel 1. HDPE memiliki kelebihan dibandingkan UHMWPE dengan nilai *tensile ultimate strength* yang lebih rendah sehingga HDPE lebih keras daripada UHMWPE, namun HDPE memiliki nilai *tensile ultimate elongation* yang lebih tinggi sehingga perlu diubah melalui iradiasi sehingga bisa mengimbangi atau mendekati nilai *tensile ultimate strength* UHMWPE.

Tabel 1. Perbandingan Sifat Fisik dan Mekanik HDPE dan UHMWPE [4].

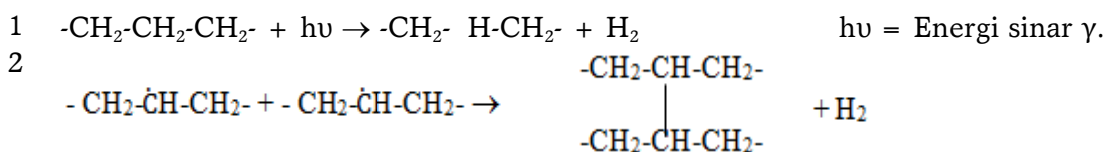
Properti	HDPE	UHMWPE
Tensile Modulus of Elasticity* (GPa)	0.4-4.0	0.8-1.6
Tensile Yield Strength* (N/mm ²)	26-33	21-28
Tensile Ultimate Strength* (N/mm ²)	22-31	39-48
Tensile Ultimate Elongation* (N/mm ²)	10-1200	350-525
Degree of Crystallinity (%)	60-80	39-75

*uji konduksi pada 23°C

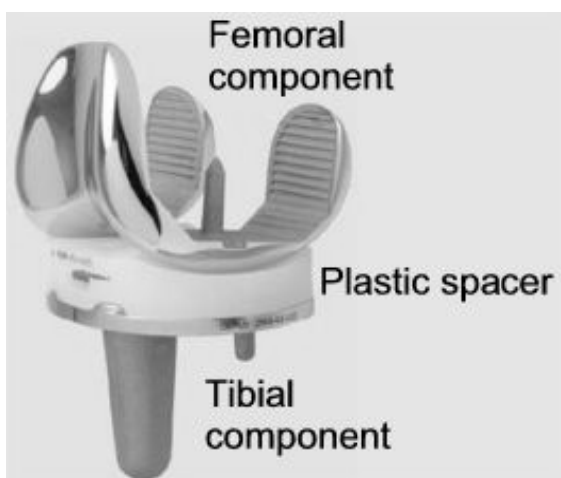
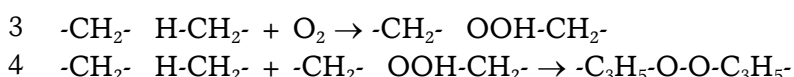
Pengaruh Radiasi Gamma terhadap HDPE

Radiasi gamma dapat mengubah sifat fisik, kimia, dan mekanik HDPE. Tapi jika HDPE diradiasi dalam dua kondisi yang berbeda, vakum dan dalam medium udara, maka akan dihasilkan reaksi yang berbeda pula [6,7] seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1), (2), (3), dan (4), yaitu:

Kondisi vakum



Dalam medium udara



Gambar 2. Letak Tibial Tray pada Total Knee Joint Replacement [8]

Tibial Tray

Tibial tray adalah bagian dari sendi lutut tiruan total (Total knee joint). Tibial tray berbentuk plastik spacer yang berguna sebagai bantalan lutut pada operasi penggantian sendi lutut. Letak tibial tray dapat dilihat pada Gambar 2.

Karakter Bahan untuk Tibial Tray

Agar suatu bahan dapat digunakan sebagai tibial tray, paling tidak harus memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 800-1600 N/mm², tegangan yield sebesar 21-28 N/mm², kuat tarik sebesar 22-31 N/mm², dan perpanjangan putus sebesar 350-525 N/mm²[9].

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan adalah butiran HDPE (Mr HDPE = 200.000 g/mol) dan

pelarut toluene (M_r $C_6H_5CH_3 = 92,14$ g/mol).

Peralatan yang digunakan meliputi alat *hot press*, alat *cold press*, aluminium foil, gunting, cawan pijar, krus tang, clipper, furnace, alat pencetak *dumb bell*, mikrometer sekrup, labu didih, pemanas, soxhlet, kasa kawat, timbangan digital, kuvet, alat uji kekuatan tarik dan perpanjangan putus *Strograph* VGS 5-E Toyoseiki, alat uji kekerasan *Zwick shore A*, alat uji keberadaan radikal bebas ESR (*Electron Spin Resonance*) JES-RE1X JEOL, alat uji mikrostruktur SEM (*Scanning Electron Microscopy*) JEOL JSM-6510LA, alat uji warna *Chromameter* Minolta CR-200b, dan Irradiator Gamma IRKA (Irradiator Karet Alam) Kategori IV.

Preparasi Sampel HDPE Metode *Hot Press*

Wadah cetakan berbentuk persegi dengan panjang sisi 14,5 cm dan tebal 0,5 mm disiapkan, diisi butiran HDPE sebanyak 12 gram di bagian tengah cetakan pada suhu ruang. Sampel dalam cetakan tersebut dimasukkan dalam alat tekan panas dan dipanaskan dengan suhu tinggi sebesar 170 °C selama 3 menit. Kemudian ditekan dengan tekanan sebesar 200 kg/cm² 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 empat belas buah dan dicetak sesuai standard masing-masing pengujian.

Iradiasi Gamma

Film HDPE diradiasi dengan radiasi gamma yang berasal dari Irradiator Karet Alam (IRKA) Kategori IV dengan laju dosis 9 kGy/jam yang dilakukan dalam medium udara. Ragam dosis yang digunakan, yaitu 0 kGy, 25 kGy, 50kGy, 75 kGy, 100 kGy, 125 kGy dan 150 kGy.

Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan dengan metode shore A [10]. Film tipis HDPE

diletakkan di tempat yang rata kemudian indentor dari alat uji kekerasan *Zwick shore A* diletakkan di atas permukaan sampel dengan beban 1 kg, kemudian dicatat besarnya nilai kekerasan yang ditunjukkan pada skala. Nilai kekerasan berdasarkan skala shore A berkisar antara 0-100.

Pengujian Fraksi Gel

Kasa kawat bersih ditimbang. Film dibungkus dengan kasa kawat kemudian ditimbang, dimasukkan ke dalam *soxhlet* dan di refluks selama 24 jam dalam pelarut toluene pada suhu 60-70°C. Film dan kasa yang telah direfluks dikeringkan kemudian ditimbang, dan dihitung persentase fraksi gelnya.

Pengujian ESR

Sampel HDPE yang telah dipotong kecil-kecil dimasukkan ke dalam kuvet ESR yang berdiameter 2,5 mm sebanyak 0,05 gram untuk semua dosis. Kuvet yang telah berisi sampel dimasukkan pada *holder* dengan posisi tepat (*vertical* dan *center*). Pengukuran dilakukan pada frekuensi 9,44 GHz. Hasil akan muncul dalam bentuk kurva absorpsi yang menyatakan banyaknya radikal.

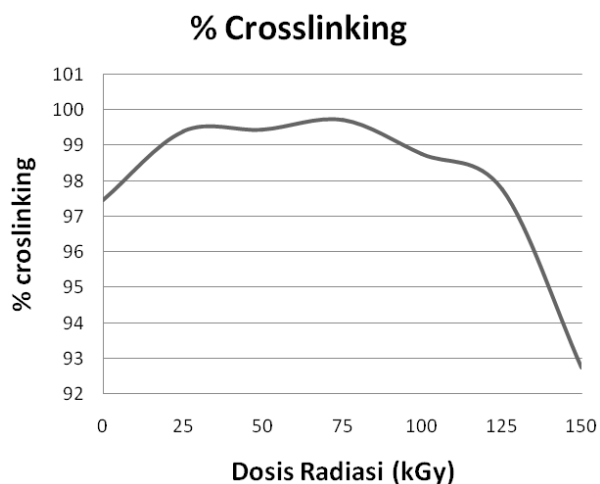
Pengujian Kekuatan Tarik dan Perpanjangan Putus

Analisis sifat mekanik dilakukan dengan Utility Test Machine (UTM) merk Toyoseiki dengan standar ASTM D1822-L [11]. Film HDPE dibuat sample uji tarik berbentuk *dumb bell* dan diukur tebal bagian tengahnya menggunakan mikrometer sekrup, kemudian sampel dijepit pada penjempit sampel yang disebut *chuck* dalam alat uji tarik. Pengukuran dilakukan dengan memasukkan data pada program komputer *Strograph* VGS 5-E dengan kecepatan tarik 50 mm/menit dan gaya sebesar 250 N. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali ulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Fraksi Gel

Untuk mengetahui pengaruh radiasi terhadap sifat kimia HDPE yang diradiasi, maka perlu dilakukan uji fraksi gel (padatan tidak larut) menggunakan soxhlet untuk mengetahui persentase ikatan silang pada HDPE dengan menggunakan pelarut toluene dan direfluks selama 24 jam di bawah titik didih toluene sekitar 70°C. Toluene dapat digunakan sebagai pelarut HDPE yang belum berubah strukturnya karena keduanya sama-sama memiliki sifat nonpolar. Jika kedua jenis molekul yang dicampur sama-sama nonpolar, maka mereka sama-sama netral, tidak memiliki dipol. Sehingga keduanya dapat bercampur secara homogen [12]. Jika larut, berarti belum terbentuk ikatan silang pada HDPE atau terjadi degradasi, begitu pula sebaliknya. Persentase *crosslinking* dihitung berdasarkan padatan sisa (yang tidak larut)[13], sehingga diperoleh grafik seperti Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Dosis vs % ikatan silang

Dengan menghubungkan dosis dan persentase *crosslinking* dapat dilihat pada Gambar 3 semakin tinggi dosis, maka semakin banyak *crosslinking* yang terbentuk, hingga suatu ketika terjadi degradasi akibat semakin tingginya dosis yang diberikan yang menyebabkan putusannya ikatan C-C sehingga

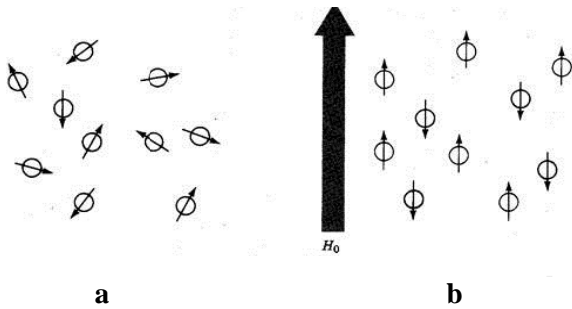
grafik persentase *crosslinking* turun. Berdasarkan Gambar 3 jelas terlihat bahwa dosis optimum terjadinya *crosslinking* pada HDPE sebesar 75 kGy.

Uji ESR

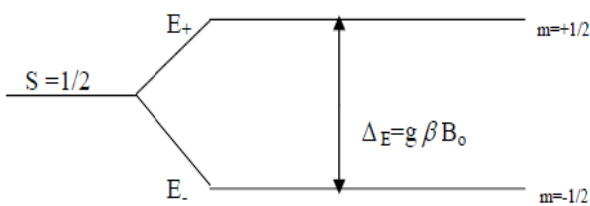
Uji ESR dilakukan untuk mengetahui jenis radikal dan jumlah radikal yang tersisa pada HDPE setelah beberapa hari diradiasi. Polimer yang diradiasi akan mengalami perubahan struktur dengan diawali terbentuknya radikal. Radikal utama yang terbentuk adalah alkyl radikal. Kemudian alkyl radikal tersebut akan membentuk *crosslinking* dengan melakukan rekombinasi, sedangkan alkyl radikal yang tersisa akan menangkap oksigen di udara akibat penyimpanan yang cukup lama dalam ruang terbuka. Keberadaan radikal menunjukkan adanya elektron yang tidak berpasangan sehingga menyebabkan HDPE memiliki sifat paramagnetik dan bahan yang bersifat paramagnetik memiliki spin random. Spin ini akan menjadi sejajar dan atau berlawanan arah ketika diberi medan magnet dari luar sehingga menyebabkan perbedaan energi (Gambar 4) yaitu spin yang melawan medan magnet eksternal (-1/2) mempunyai energi yang lebih besar dibandingkan spin yang searah (+1/2) dengan medan magnet eksternal. Di dalam pengukuran menggunakan ESR, spin yang searah dari elektron bebas akan dibuat berlawanan arah dengan memberikan energi sebesar delta energi (Gambar 5). Energi yang diserap untuk mengubah arah spin elektron tersebut menjadi searah akan tergambar dalam bentuk kurva absorpsi [14, 15].

Jika HDPE yang telah diradiasi langsung dilakukan pengujian dengan ESR akan muncul kurva seperti kurva pertama pada Gambar 6 yang secara kualitatif menunjukkan adanya alkyl radikal. Namun seiring lamanya waktu penyimpanan, puncak-puncak kurva akan semakin berkurang seperti tampak pada perubahan bentuk kurva 2, 3, dan 4 yang akan berujung pada hilangnya puncak-puncak kurva absorpsi samping dengan bentuk kurva absorpsi seperti pada kurva ke lima

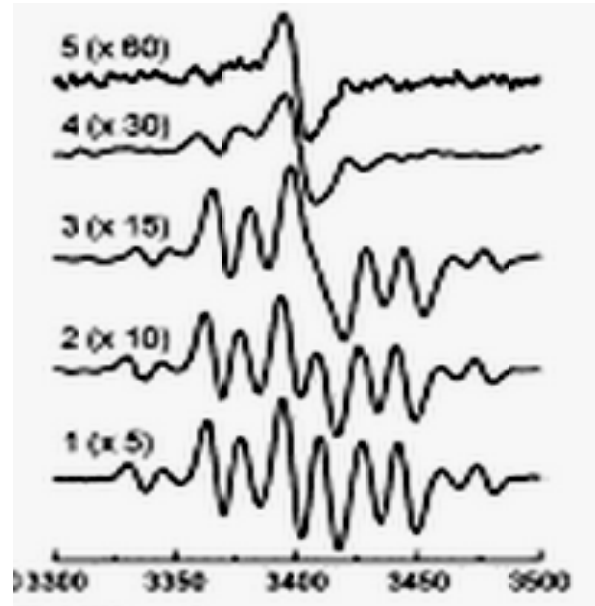
(paling atas) yang menunjukkan bahwa alkyl radikal telah berubah menjadi peroksida radikal seiring lama waktu penyimpanan dalam media udara, akibat adanya oksigen yang bereaksi dengan alkyl radikal membentuk radikal peroksida.



Gambar 4. Arah Spin (a) Sebelum Diberi Medan Magnet Eksternal dan (b) Sesudah Diberi Medan Magnet Eksternal

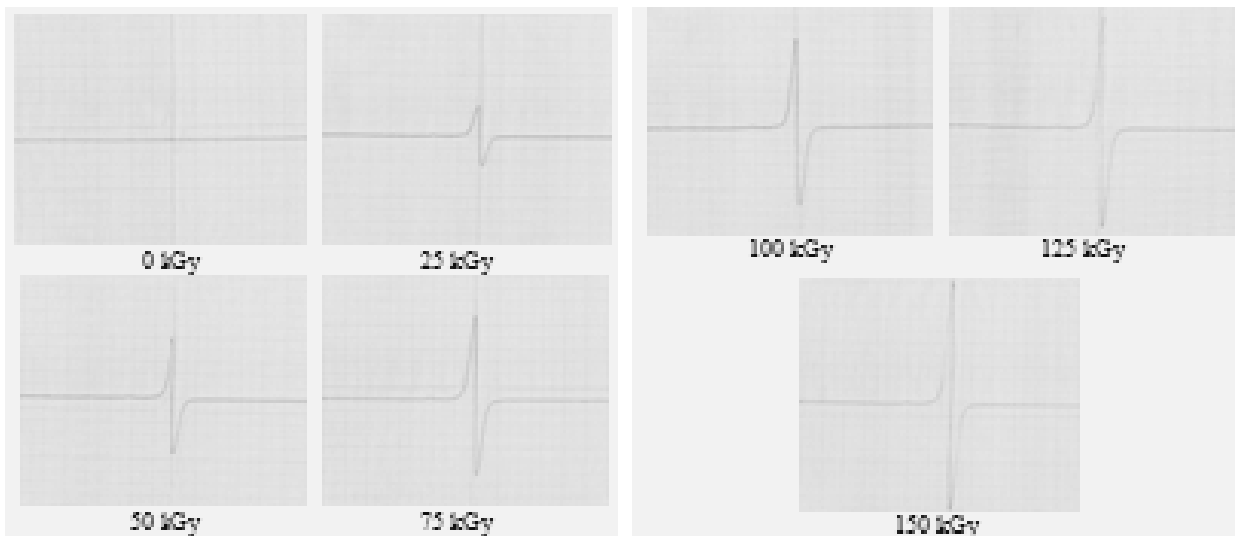


Gambar 5. Perbedaan Energi Spin [16]



Gambar 6. Hasil Uji ESR pada Sampel Polietilen sebagai fungsi waktu [17].

Jika HDPE yang telah diradiasi langsung dilakukan pengujian dengan ESR akan muncul kurva seperti kurva pertama pada Gambar 6 yang secara kualitatif menunjukkan adanya alkyl radikal. Namun seiring lamanya waktu penyimpanan, puncak-puncak kurva akan semakin berkurang seperti tampak pada perubahan

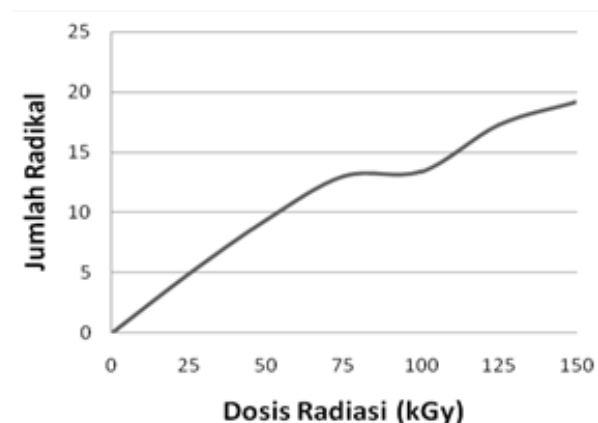


Gambar 7. Kurva Hasil Uji ESR pada HDPE yang telah Diradiasi setelah 1 Bulan

bentuk kurva 2, 3, dan 4 yang akan berujung pada hilangnya puncak-puncak kurva absorpsi samping dengan bentuk kurva absorpsi seperti pada kurva ke lima (paling atas) yang menunjukkan bahwa alkyl radikal telah berubah menjadi peroksida radikal seiring lama waktu penyimpanan dalam media udara, akibat adanya oksigen yang bereaksi dengan alkyl radikal membentuk radikal peroksida.

Lamanya waktu penyimpanan dalam medium udara yang menyebabkan bentuk kurva menjadi seperti kurva ke lima (paling atas) pada Gambar 6 terbukti pada penelitian ini, yaitu HDPE yang telah diradiasi dan disimpan dalam kurun waktu 1 bulan memiliki bentuk kurva seperti pada Gambar 7 setelah diuji dengan ESR.

Pada Gambar 7 tersebut, alkyl radikal telah berubah seluruhnya menjadi radikal peroksida karena hanya memiliki satu bentuk kurva absorpsi seperti kurva ke lima pada Gambar 7. Pengujian dengan ESR pada setiap sampel HDPE dengan ragam dosis radiasi yang telah berumur 1 bulan tersebut dilakukan pada frekuensi 9,44 GHz (daerah pita X) dengan kuat medan magnet (B) sebesar 0,3357 Tesla dengan faktor *lande* (g) sebesar 2,0073. Tinggi kurva absorpsi untuk masing-masing dosis diukur, dengan tinggi kurva absorpsi sebanding dengan jumlah radikal sehingga dapat diplotkan dalam grafik dosis vs jumlah radikal seperti Gambar 8.

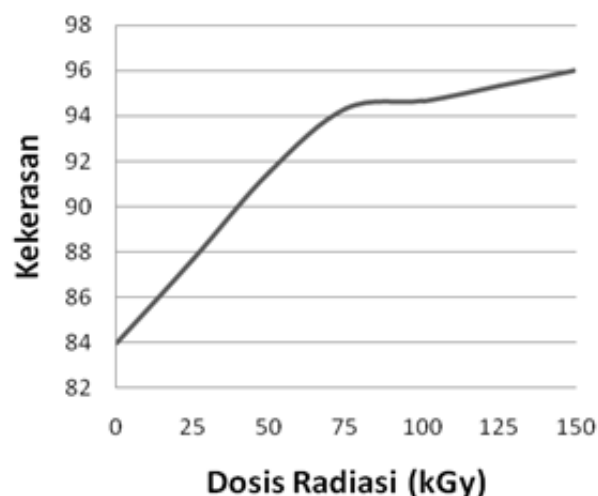


Gambar 8. Grafik Dosis vs Jumlah Radikal

Dari Gambar 8 tersebut dapat diketahui bahwa banyaknya jumlah radikal yang diproduksi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya dosis radiasi yang digunakan. Makin tingginya jumlah radikal peroksida yang dihasilkan menyebabkan semakin besarnya peluang untuk terjadinya degradasi polimer HDPE karena keberadaan radikal peroksida mengindikasikan adanya oksigen yang mendifusi ke dalam ikatan C-C dan dapat menyebabkan rantai ikatan C-C terputus (terjadi degradasi) sehingga dapat mempengaruhi kualitas HDPE yang akan digunakan sebagai tibial tray. Berdasarkan pendekatan hasil antara konsentrasi radikal pada dosis 75 kGy dan 100 kGy dengan kenaikan jumlah radikal yang tidak terlalu signifikan, maka dipilih dosis 75 kGy sebagai dosis optimum radiasi.

Sifat Mekanik HDPE

HDPE yang diinginkan sebagai tibial tray harus memiliki sifat mekanik yang cukup baik agar memiliki ketahanan pakai yang lebih lama. Untuk meningkatkan sifat mekaniknya, maka dilakukan radiasi terhadap HDPE dengan rentang dosis 0 kGy-150 kGy. Sifat mekanik dapat diketahui dengan uji kekerasan dengan alat *Zwick Shore A* sehingga diperoleh nilai kekerasan seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Dosis vs Kekerasan

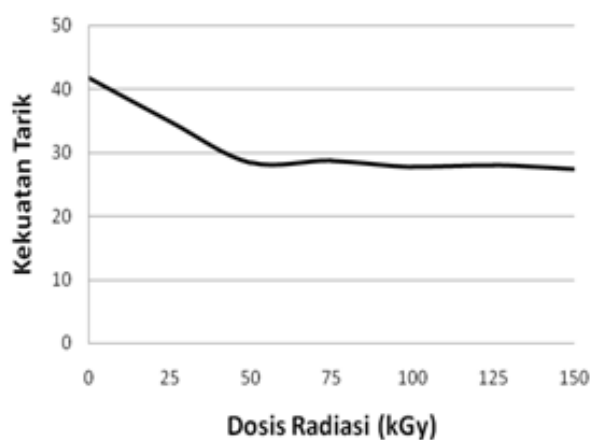
Berdasarkan grafik tersebut, dapat diamati bahwa makin tinggi dosis yang digunakan maka kekerasannya pun makin tinggi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan bahwa kekerasan permukaan polimer polietilen semakin meningkat seiring dengan meningkatnya dosis radiasi [18]. Kekerasan dapat diidentifikasi berdasarkan terbentuknya *crosslinking* maupun terjadinya degradasi polimer. Penyebab semakin kerasnya bahan pada kenaikan dosis 25 kGy sampai 75 kGy karena terbentuknya *crosslinking* yang menyebabkan ikatan rantai HDPE lebih kuat sehingga kekerasannya meningkat sedangkan pada kekerasan di atas dosis 75 kGy disebabkan oleh putusannya ikatan silang sehingga bahan lebih kristalin dan menjadi keras namun mudah rapuh. Berdasarkan pendekatan dengan beberapa parameter pengujian sebelumnya, maka dengan melihat Gambar 9 tersebut pun dapat ditentukan dosis optimumnya berada pada kisaran dosis 75 kGy.

Uji Kekuatan Tarik dan Perpanjangan Putus

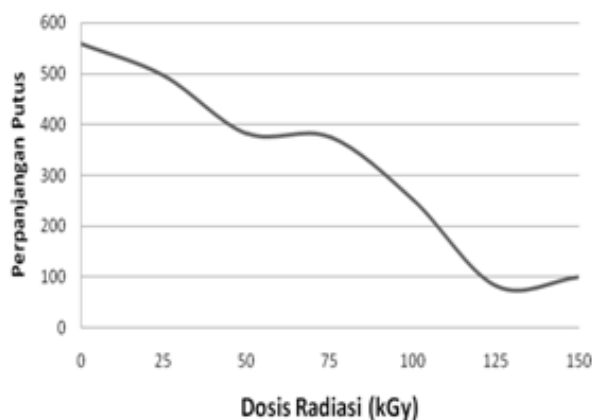
Bahan yang akan digunakan sebagai tibial tray harus mempunyai kekuatan tarik dan perpanjangan putus yang optimal, dalam hal ini kekuatan tarik setara dengan kegetasan. maka jika kekuatan tarik mengecil, material tersebut cenderung getas, karena itu kekuatan tarik harus diimbangi dengan perpanjangan putus yang dapat disetarakan dengan keuletan [5], sebagai tibial tray HDPE, selain harus menahan beban dari tubuh manusia juga gesekan dari sendi lutut sehingga sifat ulet dan getas harus dipertahankan agar kedua sifat tersebut saling memperkuat. Kekuatan tarik dan perpanjangan putus yang optimum diambil dari Gambar 10 dan 11.

Radiasi dapat mengurangi besarnya perpanjangan putus akibat putusnya rantai namun radiasi juga dapat menaikkan besarnya kekuatan tarik bila terjadi *crosslinking*[10]. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, makin tinggi dosis yang diberikan maka kekuatan tarik dan

perpanjangan putusnya akan semakin kecil karena semakin getasnya polimer akibat terjadinya degradasi rantai HDPE. Berdasarkan Gambar 10 dan 11, dosis iradiasi untuk kekuatan tarik dan perpanjangan putus yang optimum, adalah pada dosis 75 kGy . Untuk menentukan dosis optimum, maka besarnya modulus elastisitas, tegangan maksimum, kuat tarik, dan perpanjangan putus pada pengujian ini harus dibandingkan dengan rentang syarat bahan untuk tibial tray (Tabel 1).



Gambar 10. Grafik Kekuatan Tarik VS Dosis radiasi



Gambar 11. Grafik Perpanjangan Putus VS Dosis radiasi

Pada tabel 2, seluruh nilai modulus elastisitas dan tegangan *yield* masih berada pada rentang yang diizinkan (modulus

Tabel 2. Modulus Elastisitas, Tegangan *Yield*, Kekuatan Tarik, dan Perpanjangan Putus

Dosis (kGy)	Modulus Elastisitas (N/mm ²)	Tegangan <i>Yield</i> (N/mm ²)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Perpanjangan Putus (%)
0	1057,30	25,92	41,69	558,50
25	989,13	26,25	34,90	496,17
50	1072,97	26,78	28,44	382,70
75	1113,03	26,38	31,11	440,37
100	1051,40	27,79	27,79	252,47
125	1259,40	28,06	28,06	83,20
150	1205,67	27,37	27,37	113,33

elastisitas pada rentang 800-1600 N/mm² dan tegangan *yield* pada rentang 21-28 N/mm²), namun hal ini perlu dikorelasikan dengan besarnya kuat tarik dan perpanjangan putus. Kekuatan tarik pada dosis 0 kGy dan 25 kGy melampaui rentang kuat tarik yang diizinkan (kuat tarik pada rentang 22-31 N/mm²) sehingga bahan akan memiliki sifat kekerasan yang rendah, yaitu jika diimplankan maka akan mudah mulur. Oleh sebab itu, diambil nilai kuat tarik sebesar 31,11 N/mm² pada dosis 75 kGy dengan mengkorelasikan nilai perpanjangan putus yang tinggi, yaitu sebesar 440,37% namun tidak melebihi rentang yang diizinkan (perpanjangan putus pada rentang 350-525 N/mm²), maka dosis 75 kGy dapat ditentukan sebagai dosis optimum.

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh perpatahan ulet lebih disukai karena bahan yang ulet umumnya lebih tangguh dan memberikan indikasi sebelum terjadinya perpatahan [19]. HDPE yang memiliki sifat keras dan ulet berada pada dosis 75 kGy sehingga HDPE pada dosis 75 kGy berpotensi untuk digunakan sebagai bahan *tibial tray*.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Radiasi gamma dari IRKA kategori IV dapat mengubah sifat kimia HDPE

dalam hal persentase ikatan silang dan jumlah radikal, serta sifat mekanik HDPE dalam hal kekerasan, modulus elastisitas, tegangan maksimum, kekuatan tarik, dan perpanjangan putus.

2. Dosis optimum untuk memperoleh sifat kimia, dan mekanik HDPE yang lebih baik, yaitu pada 75 kGy, persentase ikatan silang sebesar 99,71%; kekerasan (*shore A*) sebesar 94,33; modulus elastisitas sebesar 1113,03 N/mm²; tegangan *yield* sebesar 26,38 N/mm²; kekuatan tarik sebesar 31,11 N/mm²; dan perpanjangan putus sebesar 440,37%, maka HDPE yang diradiasi berpotensi digunakan sebagai bahan baku *tibial tray*.

DAFTAR PUSTAKA

1. McKELLOP, *et al.*, Development of an extremely wear-resistant ultra high molecular weight polyethylene for total hip replacements, *J. Orthop Res* 17: 157-167 (1999).
2. WANG S., Ge S., The mechanical property and tribological behaviour of UHMWPE : Effect of molding pressure, *Wear* 263: 949 - 956 (2007).
3. ROSARIO SC, SILVA LGA, Characterization of the virgin and recycled ultra high molecular

- weight polyethylene irradiated [thesis], Brazil: Cidade University, (2006).
4. KURTZ, S.M., The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement, Philadelphia, PA 19104 (2003).
 5. SAPTONO, RAHMAT, *Pengetahuan Bahan, Departemen Metalurgi dan Materia*, FTUI (2008).
 6. EDIDIN, A.A. and KURTZ, S.M., The Influence of Mechanical Behavior on The Wear of Four Clinically Relevant Polymeric Biomaterials In A Hip Simulator. *J Arthroplasty* 15:321-331 (2000).
 7. SPINKS, J.W. and WOODS, R.J., *An Introduction to Radiation Chemistry*, 2nd Edition, New York (1976).
 8. MELISSA GRUNLAN, INTRODUCTION TO BIOMATERIALS BMEN 343, www.biomed.tamu.edu/biomaterials/bmen482/1_Jan_19_2010_post.ppt
 9. COTA, S.S., VASCONCELOS, V., SENNE Jr., M., CARVALHO, L.L., REZENDE, D.B., and CÔRREA, R.F., Changes In Mechanical Properties Due To Gamma Irradiation Of High-Density Polyethylene (HDPE), Brazil (2007).
 10. SHORE TEST METHOD, http://www.instron.us/wa/applications/test_types/hardness/shore.aspx
 11. ADVANCE RUBBER TEST TECHNOLOGY, <http://www.worldoftest.com/pdf/rubber.pdf>.
 12. MASSEY, L.K., *The Effect of Sterilization Methods on Plastics and Elastomers*, 2nd Edition, USA (2005).
 13. J.-P. BASLY, Radiation induced effects on cephalosporins: an ESR study, *International Journal of Radiation Biology*, Vol. 75, No. 2 : Pages 259-263 (1999).
 14. B. SIMOVIC, *Introduction to the Technique of Electron Spin Resonance (ESR) Spectroscopy*, Physics Laboratory Course (2004).
 15. WENAS, D.R. dan BUJUNG, C.A.N., *Analisis Bahan Bakar Arang Tempurung Kelapa Sebagai Fungsi Suhu Dengan Teknik Resonansi Spin Elektron*, Manado: UNIMA (2010).
 16. ZHAO, Y., WANG, M., TANG, Z., and WU, G., ESR Study of Free Radicals in UHMW-PE Fiber Irradiated by Gamma Rays, China (2009).
 17. GROBBELAAR, C.J., DU PLESSIS, T.A., and MARAIS, F., *The Radiation Improvement Of Polyethylene Prosthesis*, Department of Orthopaedics of the University Pretoria (1978).
 18. WULANDARI, R., *Modifikasi Permukaan Polimer UHMWPE dan HDPE dengan Iradiasi Sinar Gamma Untuk Meningkatkan Ketahanan Mekanik Tibial Tray*. Bogor: IPB (2011).
 19. YUWONO, A.H., *Karakterisasi Material Pengujian Merusak (Destructive Testing)*, Jakarta: UI (2009).