

---

## **KARAKTERISTIK KEKUATAN TARIK DAN DERAJAT KRISTALINITAS POLIPROPILENA TERIRADIASI**

**Mutiah\***  
**Noormandsuriah Surdia\*\***

\*Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir, BATAN

\*\*Jurusan Kimia FMIPA, ITB

### **ABSTRAK**

**KARAKTERISTIK KEKUATAN TARIK DAN DERAJAT KRISTALINITAS POLIPROPILENA TERIRADIASI.** Polipropilena (PP) yang telah diiradiasi mengalami perubahan kekuatan tarik dan derajat kristalinitas. Perubahan sifat fisik lain yang mengikutinya adalah titik leleh, massa jenis dan perubahan struktur molekul. Dibandingkan dengan yang belum diiradiasi, PP yang telah diiradiasi mengalami kenaikan pada sifat fisik dan mekanik tersebut. Kekuatan tarik meningkat sesuai dengan peningkatan dosis iradiasi yang diberikan. Demikian pula dengan derajat kristalinitas, titik leleh dan massa jenis, mengalami kenaikan sesuai dengan kenaikan dosis iradiasi, terutama pada dosis >20 kGy. Penyimpanan sampai dengan 3 bulan pada temperatur kamar tidak memberikan efek nyata pada perubahan sifat. Hal ini menunjukkan bahwa PP teriradiasi lebih baik kualitasnya. Analisis spektroskopi IR tidak menunjukkan munculnya puncak-puncak baru pada daerah pita serapan maupun daerah sidik jari.

**Kata kunci :** polipropilena, iradiasi, hubungan silang

### **ABSTRACT**

**CHARACTERISTICS OF TENSILE STRENGTH AND DEGREE OF CRYSTALLINITY OF IRRADIATED POLYPROPYLENE.** Tensile strength and the degree of crystallinity of polypropylene changed after irradiation. Other physical changes that would follow were melting point, density and molecular structure. Physical and mechanical properties of irradiated polypropylene had higher values compared to unirradiated one. Tensile strength of polypropylene increased proportional to irradiation dose. The same result was observed on its crystallinity, melting point and density, especially for irradiation doses higher than 20 kGy. Storage of polypropylene up to 3 months at room temperature gave no significant effect to its physical characteristics. This result shows that irradiated polypropylene had better quality than

unirradiated one. Infra red spectroscopy analysis indicates that there was no new peaks appeared either at absorbed band or finger print areas.

**Key words :** polypropylene, irradiation, crosslink

## PENDAHULUAN

Polipropilena adalah polimer termoplastik yang memiliki struktur monomer sebagai berikut :  $-\text{CH}_2=\text{CH}_2$ . Polipropilena dibagi menjadi tiga macam yaitu PP isotaktik, PP sindiotaktik dan PP ataktik. Pembagian tersebut didasarkan pada letak atom karbon dan gugus metil dalam rantai molekul. PP isotaktik dan sindiotaktik merupakan polimer semikristalin yang terdiri dari bagian kristalin dan amorf. Sifat-sifat kekuatan PP dipengaruhi oleh berat molekul dan kristalinitas atau derajat kristalinitas. Beberapa sifat fisik maupun sifat mekanik lainnya yang dimiliki PP antara lain adalah tidak tahan sinar matahari, sehingga akan mengalami degradasi bila kena sinar UV, memiliki kekakuan yang akan muncul pada temperatur kamar, dan pada temperatur  $140^{\circ}\text{C}$  PP mulai melunak. Kekerasan PP sedikit lebih tinggi dari *high density polyethylene* (HDPE), ketahanan retak tegangannya sangat baik, kekuatan tariknya lebih tinggi daripada HDPE, ketahanan oksidasi PP lebih kecil daripada polietilena. Sifat-sifat tersebut, salah satunya disebabkan oleh struktur molekul PP, yang memiliki atom karbon tersier dengan gugus metil sebagai rantai utama dan atom hidrogen yang terikat pada atom karbon tersier yang mudah bereaksi dengan atom lain terutama oksigen.

Perkembangan penelitian mengenai interaksi radiasi dengan polimer diawali oleh dua kepentingan yang berbeda<sup>[4]</sup>. Di satu sisi, teknik nuklir membutuhkan informasi mengenai sifat-sifat plastik dan karet yang ditempatkan di daerah yang selalu terkena radiasi, dalam rangka mencari bahan yang cocok untuk aplikasi teknologi nuklir. Di sisi lain diketahui bahwa iradiasi yang terkontrol dapat memberikan sifat

yang menguntungkan pada beberapa polimer. Oleh karenanya perhatian ahli kimia polimer terpusat pada kegunaan radiasi energi tinggi pada industri plastik. Penelitian awal dilakukan oleh Newton pada tahun 1929<sup>[5]</sup> yang melakukan vulkanisasi lembaran karet dengan menggunakan berkas elektron dari tabung sinar katoda yang bekerja pada 250 kV. Hasil vulkanisasi yang baik diperoleh setelah iradiasi selama 20-25 detik. Jika iradiasi dilakukan dalam waktu lebih lama, maka karet berubah menjadi material yang keras dan rapuh. Berdasarkan hal tersebut dan untuk kepentingan pengembangan kualitas PP sebagai bahan dasar pengemas produk jadi dan bahan dasar pembuatan produk keperluan rumah tangga, maka perlu dilakukan beberapa pengujian pada beberapa sifat yang mempengaruhi kekuatan PP tersebut antara lain rapat massa, kristalinitas, kekuatan tarik, titik leleh, perubahan struktur molekul setelah PP mengalami iradiasi.

## **BAHAN DAN TATA KERJA**

Spesimen dalam bentuk lempengan yang siap untuk uji tarik berdasarkan ASTM D 638-72 tipe IV, dan PP yang digunakan adalah PP jenis HGZ : 80.02 BN 88125 yang diperoleh dari Lab. Pusat Pengendalian Mutu Petrokimia Pertamina, Pulogadung Jakarta. Peralatan yang digunakan meliputi : alat uji tarik merk Instron model 1121, difraktometer sinar-x merk "Jeol", dan Differential Scanning Calorimeter (DSC) Perkin Elmer. Ketiga alat tersebut ada di Lab. Metalurgi Fisik, Jurusan Teknik Mesin ITB. Selain itu digunakan juga peralatan lain berupa Spektrofotometer IR dan Piknometer yang berada di Lab. Jurusan Kimia ITB.

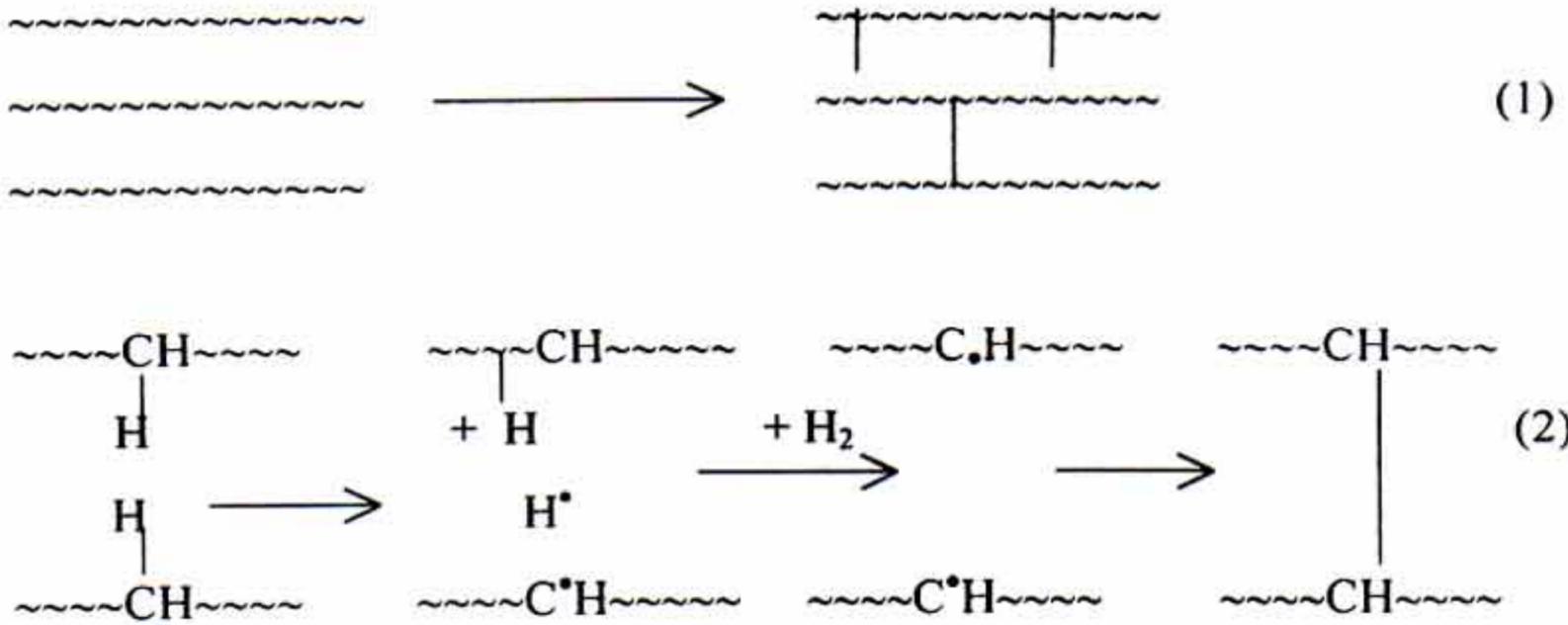
Perlakuan awal spesimen dilakukan dengan mengiradiasi spesimen dalam kondisi vakum menggunakan sumber sinar gamma Co-60 dari iradiator Serbaguna P3TIR-BATAN, Pasar Jumat, Jakarta. Setelah iradiasi, spesimen disimpan selama 1, 2, dan 3 bulan dalam ruangan terbuka yang bertemperatur kamar 24-29<sup>0</sup>C dengan kelembapan 64-90 %. Sebelum dilakukan pengujian, spesimen dikondisikan pada

temperatur  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  dengan kelembapan  $60 \pm 5\%$  selama 24 jam sesuai dengan prosedur ASTM D 685. Selanjutnya ditentukan derajat kristalinitasnya, kekuatan tarik, titik leleh, rapat massa dan perubahan struktur molekul.

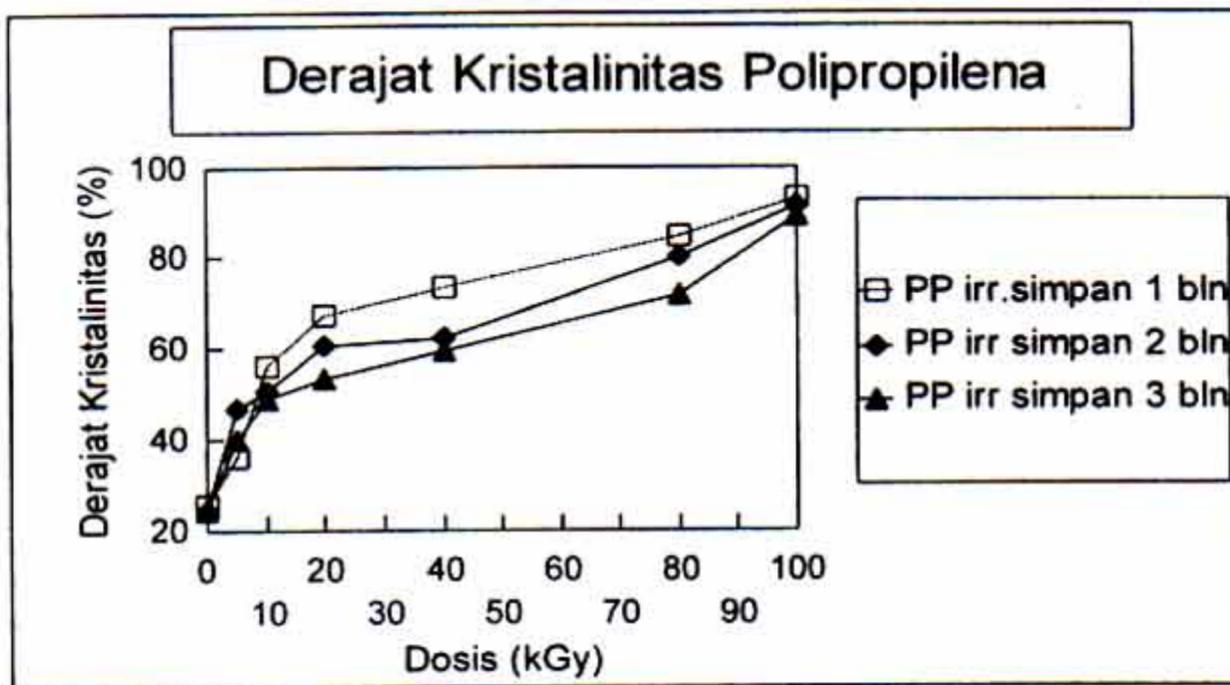
## HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

### Derajat Kristalinitas

Derajat kristalinitas menyatakan perbandingan antara luas bagian kristalin dengan luas keseluruhan bagian polimer tersebut<sup>[6]</sup>. Derajat kristalinitas PP yang tidak terkena radiasi  $< 25\%$  <sup>[4]</sup>. Sedangkan PP yang diiradiasi pada rentang dosis 5-100 kGy, derajat kristalinitasnya berkisar antara 35-90%. Berarti terjadi kenaikan derajat kristalinitas sesuai dengan peningkatan dosis iradiasi. Hal ini disebabkan karena efek iradiasi memberikan perubahan struktur kristalin ke arah yang makin luas dan makin mampat sebagai akibat terjadinya hubungan silang (*crosslink*). Hubungan silang merupakan proses terbentuknya rantai cabang sampai dengan jaring-jaring tiga dimensi. Hubungan silang ini terjadi karena energi radiasi yang begitu besar memutus ikatan C-H pada suatu rantai polimer yang menghasilkan satu atom hidrogen, kemudian diikuti dengan abstraksi atom hidrogen yang kedua dari rantai yang berdekatan dan menghasilkan H<sub>2</sub>. Akhirnya kedua molekul polimer tersebut bergabung membentuk hubungan silang <sup>[1,2,7]</sup>. Untuk lebih jelasnya, mekanisme reaksi pembentukan hubungan silang ini dapat digambarkan oleh persamaan reaksi sebagai berikut.



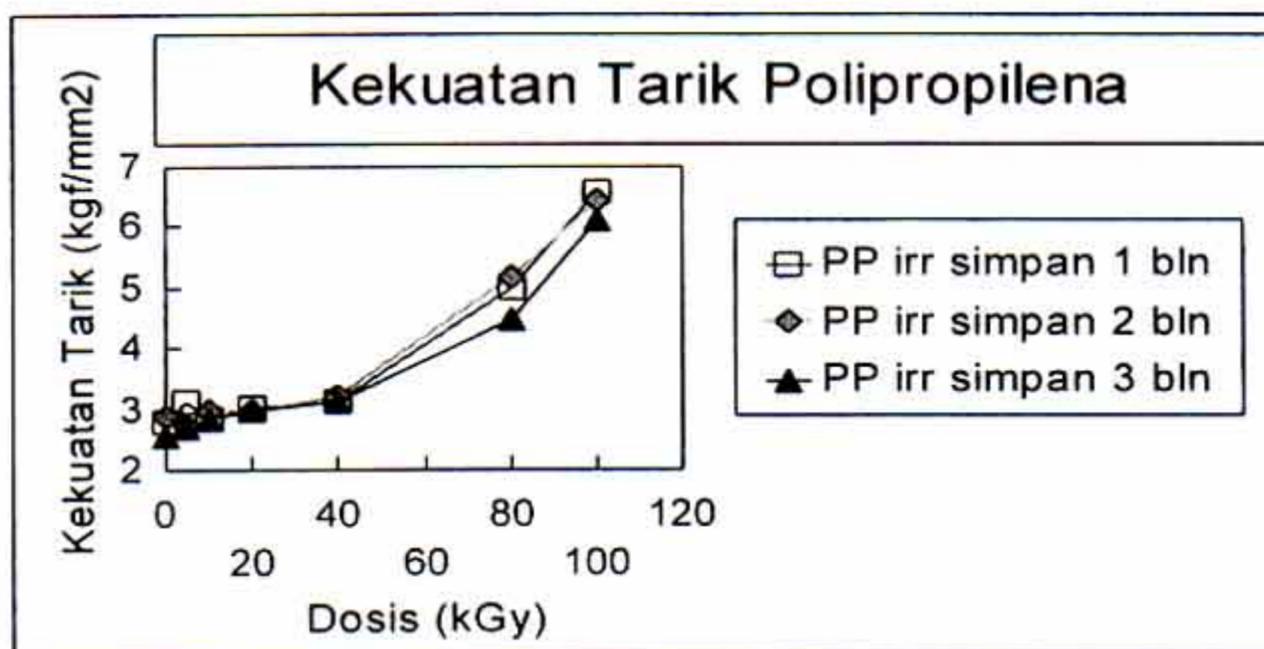
Gambar 1 menampilkan derajat kristalinitas lempeng PP yang telah mengalami iradiasi. Penyimpanan selama 1, 2, dan 3 bulan setelah iradiasi, tidak berpengaruh pada perubahan derajat kristalinitas PP (uji statistik nilai derajat kristalinitas, menunjukkan bahwa perbedaan nilai antara penyimpanan 1, 2 dan 3 bulan relatif tidak berarti).



Gambar 1. Perubahan derajat kristalinitas PP setelah iradiasi 5-100 kGy serta penyimpanan selama 1, 2 dan 3 bulan

## Kekuatan Tarik

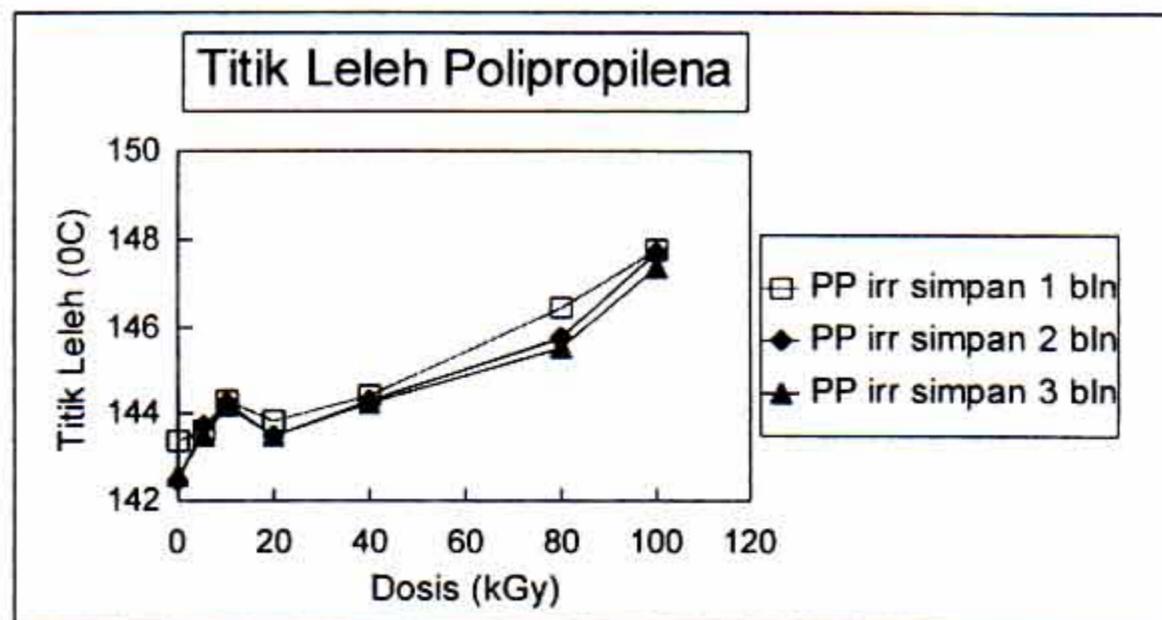
Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat mekanik polimer. Kekuatan tarik didefinisikan sebagai besar beban maksimum ( $F$  maksimum) pada saat *yield stress* dibagi dengan luas penampang. Kekuatan tarik diperoleh dari kurva tegangan - regangan. Sifat mekanik kekuatan tarik timbul karena adanya hubungan yang erat antar atom dalam rantai berupa ikatan kimia primer dan gaya antar molekul yang merupakan ikatan kimia sekunder. Kekuatan tarik polimer termoplastik yang tidak diiradiasi adalah sekitar  $0,7 - 8,4 \text{ kgf/mm}^2$ . Pada penelitian ini, diperoleh hasil uji terhadap PP yang tidak diiradiasi, yaitu  $1,87 - 2,55 \text{ kgf/mm}^2$ ; serta setelah diiradiasi pada rentang dosis 5-100 kGy, kekuatan tarik meningkat menjadi antara  $3 - 6,57 \text{ kgf/mm}^2$ . Meskipun nilai tersebut masih dalam rentang kekuatan tarik polimer termoplastik yang tidak diiradiasi<sup>[6]</sup> namun perubahan tersebut menunjukkan adanya peningkatan kekuatan tarik. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik setelah penyimpanan selama 1, 2 dan 3 bulan tidak berbeda secara berarti, jadi relatif sama.



Gambar 2. Perubahan kekuatan tarik PP setelah iradiasi 5-100 kGy serta penyimpanan 1, 2 dan 3 bulan

## Titik Leleh

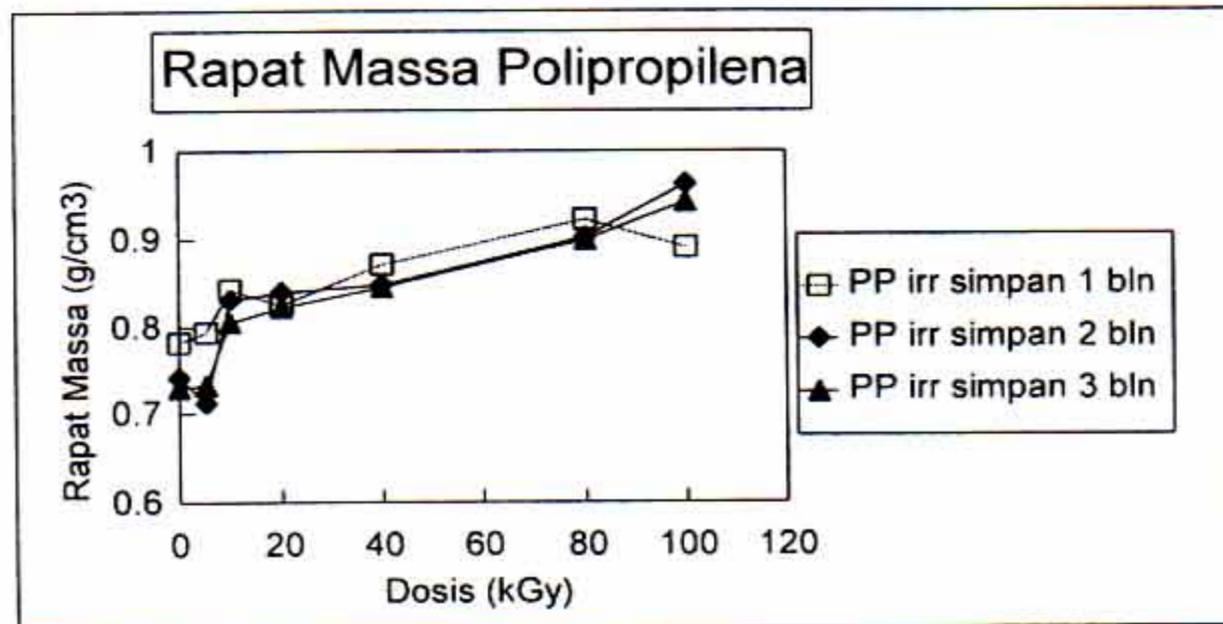
Titik leleh merupakan salah satu sifat yang dimiliki oleh materi padat. Titik leleh dipengaruhi oleh gaya antar molekul dan juga fleksibilitas rantai serta fasa kristalinitasnya. Dari hasil penelitian<sup>[6]</sup>, titik leleh PP yang tidak teriradiasi berkisar antara 142,499 - 143,387 °C, sedangkan titik leleh setelah iradiasi pada rentang dosis 5 - 100 kGy berkisar antara 143,519 - 147,784 °C. Titik leleh mengalami kenaikan sesuai dengan peningkatan dosis iradiasi. Hal ini disebabkan PP yang teriradiasi mengalami peningkatan fasa kristalin sehingga panas yang diperlukan untuk menghilangkan fasa kristalin tersebut makin besar, akibatnya titik lelehnya makin tinggi. Berdasarkan analisis statistik penyimpanan selama 1, 2 dan 3 bulan tidak menyebabkan terjadinya perubahan titik leleh yang berarti (masih relatif sama). Gambar 3 menunjukkan titik leleh PP setelah iradiasi.



Gambar 3. Perubahan titik leleh PP setelah iradiasi 5-100 kGy serta penyimpanan selama 1, 2 dan 3 bulan

## Massa Jenis / Rapat Massa

Rapat massa merupakan salah satu sifat polimer yang menyangkut banyak sifat-sifat lain seperti sifat mekanik (kekuatan tarik, modulus Young, kekakuan, kekerasan) dan sifat fisik seperti ketahanan aberasi, titik leleh dan sebagainya. Setiap polimer semi kristalin, kerapatan daerah kristalinnya lebih besar daripada daerah amorf. Rapat massa PP yang tidak teriradiasi adalah  $0,731 - 0,781 \text{ g/cm}^3$  [6], sedangkan rapat massa PP teriradiasi dengan rentang dosis 5 - 100 kGy berkisar antara  $0,792 - 0,963 \text{ g/cm}^3$ . Dosis 5 kGy tidak memberikan perubahan rapat massa. Rapat massa mengalami kenaikan sesuai dengan kenaikan dosis iradiasi, yang disebabkan oleh terjadinya hubungan silang. Dengan adanya hubungan silang ini, struktur menjadi lebih rapat, akibatnya kerapatan makin tinggi. Secara statistik, penyimpanan 1, 2 dan 3 bulan pada temperatur kamar, tidak menyebabkan perubahan rapat massa. Berikut ini gambaran mengenai kenaikan rapat massa PP setelah iradiasi ( Gambar 4).

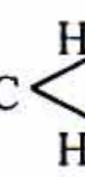


Gambar 4. Perubahan rapat massa PP setelah iradiasi 5-100 kGy serta penyimpanan selama 1, 2 dan 3 bulan

## Struktur Molekul

Dari analisis spektrum infra merah PP teriradiasi, diperoleh hasil spektrum seperti tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis spektroskopi infra merah PP teriradiasi

Bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Identifikasi
810, 840	PP isotaktik
900, 940	lentur luar bidang $\text{C}=\text{C}$ 
1300	lentur luar bidang  C-H
1370	gugus metil
1460, 2900	regang CH pada $\text{CH}_2$

Puncak-puncak tajam yang muncul di daerah pita serapan tersebut, sama persis dengan puncak-puncak hasil analisis spektrum infra merah dari PP yang tidak diiradiasi. Jadi, tidak terlihat adanya puncak baru yang muncul pada daerah pita serapan, akibat iradiasi. Pada daerah sidik jari pun tidak ada puncak tajam yang muncul. Berarti PP tidak mengalami perubahan struktur molekul akibat iradiasi. Kenyataan ini sangat baik untuk industri plastik pengemas bahan makanan, karena bila terjadi perubahan struktur molekul maka radikal yang mungkin terbentuk dapat lepas dari kantung pengemas, mengakibatkan makanan tercemar atau rusak. Penyimpanan 1, 2 dan 3 bulan tidak mempengaruhi perubahan struktur molekul.

---

## **KESIMPULAN**

Iradiasi akan mengakibatkan peningkatan beberapa sifat fisik dan mekanik terutama kekuatan tarik, derajat kristalinitas, titik leleh, dan massa jenis dari PP. Berdasarkan acuan<sup>[1,2,7]</sup>, peningkatan sifat tersebut disebabkan polimer mengalami hubungan silang bila terkena radiasi. Peningkatan sifat sesuai dengan peningkatan dosis iradiasi. Pada umumnya kenaikan nilai sifat dimulai pada iradiasi dengan dosis 20 kGy. Penyimpanan selama 1, 2, 3, bulan pada temperatur ruang, secara umum tidak berpengaruh pada perubahan sifat fisik maupun mekaniknya. Pengujian dengan spektroskopi infra merah menunjukkan tidak munculnya puncak baru pada daerah pita serapan maupun daerah sidik jari, sehingga dapat disimpulkan tidak terjadi perubahan struktur molekul, yang berarti bahwa polipropilena teriradiasi aman sebagai pengemas makanan (tidak mencemari). Di samping itu, karena sifat fisik dan mekaniknya meningkat, polipropilena teriradiasi tidak mudah terdegradasi oleh pengaruh antara lain cuaca dan lingkungan asam-basa, sehingga polipropilena teriradiasi sangat baik sebagai bahan dasar pembuatan barang kebutuhan rumah tangga maupun industri.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan P3TIR-BATAN Pasar Jumat beserta stafnya, atas izin dan bantuannya dalam menggunakan fasilitas Irradiator Serbaguna P3TIR. Terima kasih pula kepada Pimpinan dan staf Lab. Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin ITB atas izin dan bantuannya dalam menggunakan peralatan yang ada di Lab. tersebut. Kepada Prof Dr. Noormandsuriah Surdia dan Dr. Harjoto Dj. penulis juga menyampaikan terima kasih atas bimbingannya selama melakukan penelitian ini.