

Modifikasi Struktur Polistirena Menggunakan Maleat Anhidrida sebagai Pengikat Silang dan Benzoil Peroksida sebagai Inisiator

Tariza Humaira^{1*}, Bagus Kurniawan², Safirda Hasanah³, Elsama Christina⁴,
Jenner Hawckins At-Tsaqib⁵

Universitas Negeri Medan

Corresponding Author: Tariza Humaira tarizahumaira@mhs.unimed.ac.id

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Polistirena, Maleat Anhidrida, Benzoil Peroksida, Fungsionalisasi

Received : 03 September

Revised : 12 September

Accepted: 20 September

©2022 Humaira, Kurniawan, Hasanah, Christina, At-Tsaqib: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

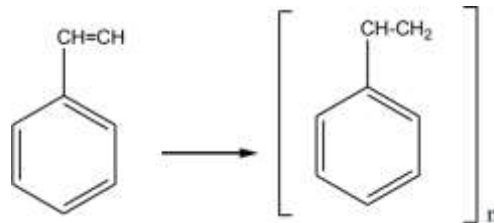


ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai fungsionalisasi polistirena dengan maleat anhidrida (MA) dan benzoil peroksida (BPO) sebagai inisiator menggunakan metode refluks dengan pelarut silena. Refluks dilakukan pada suhu 120°C selama 90 menit dengan 4 variasi MA, yaitu 0,8 gram; 1,6 gram; 2,4 gram; dan 3,2 gram dimana kadar BPO tetap (8% dari massa MA). Lalu dilakukan represipitasi dengan metanol, endapan PS-g- MA yang terbentuk dikeringkan menggunakan oven pada suhu 120°C selama 6 jam. Setelah diperoleh PS-g- MA, dilakukan penentuan derajat *grafting* dengan metode titrasi menggunakan KOH 0,05 N dan dilakukan uji FTIR untuk mengetahui perubahan gugus fungsi yang terjadi. Hasil penentuan derajat *grafting* menunjukkan bahwa variasi massa MA 3,2 gram memberikan nilai derajat *grafting* terbesar. Hasil menunjukkan bahwa terjadi peningkatan derajat *grafting* seiring meningkatnya massa MA yang ditambahkan pada massa 1,6-3,2 gram. Hasil FTIR menunjukkan bahwa terjadi perubahan gugus fungsi, yaitu munculnya puncak serapan (C=O) pada 1738,41 yang merupakan gugus fungsi dari MA, ini membuktikan bahwa MA telah ter*grafting* pada polistirena (PS).

PENDAHULUAN

Polistirena (PS) merupakan salah satu jenis polimer yang paling banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari seperti sebagai kantong plastik, tempat makanan dan minuman, pengemas barang elektronik, dll. Polistirena bersifat lebih tahan panas, keras, fleksibel, dan tidak dapat tembus cahaya. Polistirena termasuk suatu polimer atau makromolekul rantai panjang yang memiliki derajat polimer tinggi. Polistirena termasuk polimer termoplastik, dimana akan lunak bila dipanaskan dan akan mengeras kembali ketika telah dingin. Secara industri, polimerisasi stirena bisa dilakukan menggunakan katalis koordinasi. Proses polimerisasi akan menghasilkan rantai linear yang berbentuk -A-A-A-A-A-, dimana A merupakan stirena [1]. Stirena adalah cairan tak berwarna yang menyerupai minyak dengan bau seperti benzena. Stirena bisa didapatkan dari sumber alam, yaitu *petroleum*. Rumus kimia stirena yaitu $C_6H_5CH=CH_2$ atau C_8H_8 [2]. Stirena berbahaya bagi kesehatan karena bersifat karsinogenik (memicu timbulnya kanker), oleh karena ini efek samping ini perlu diwaspadai [3].



Gambar 1. Reaksi polimerisasi polistirena

Polistirena dapat diisolasi dengan mudah dari *styrofoam*. Bahan dasar *styrofoam* terdiri dari 90-95% polistirena dan 5-10% gas n-butana [4]. Isolasi polistirena dari *styrofoam* dapat dilakukan dengan cara melarutkannya dalam silena atau pelarut non polar lain, kemudian dimurnikan menggunakan metanol sehingga diperoleh endapan polistirena murni berwarna putih [5]. Maraknya penggunaan *styrofoam* menyebabkan dikembangkannya metode untuk memanipulasi polistirena yang terkandung didalamnya menggunakan berbagai aditif sehingga dapat digunakan untuk keperluan lain.

Fungsionalisasi polistirena oleh monomer-monomer polar merupakan suatu cara efektif untuk meningkatkan kepolaran polistirena. Fungsionalisasi bisa dilakukan sebelum pencampuran polimer atau bersamaan ketika proses pencampuran dalam *internal mixer* (mesin pencampur) sehingga akan diperoleh *graft-copolymers*, halogenasi, sulfonasi, formasi *hydroperoxide*, dll. Metode yang diterapkan pada perkembangan terakhir dalam produksi campuran polimer adalah *reactive blending* yang bergantung pada pembentukan langsung kopolimer [6].

Faktanya, berbagai jenis polimer yang *tergrafting* telah banyak digunakan dalam memperbaiki adhesi permukaan antara komponen pada campuran polimer. Fungsionalisasi polimer juga banyak digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat dari papan komposit. Ini dikarenakan polimer yang

telah difungsionalisasi akan lebih mudah bereaksi dengan gugus hidroksil selulosa pada pengisi (*filler*) dan dapat masuk dalam serat-serat selulosa pada papan komposit. Polimer yang telah difungsionalisasi akan memiliki bobot molekul rendah dan rantai lebih pendek akibat adanya inisiator peroksida yang menyebabkan terjadinya pemutusan pada rantai utama [6]. Fungsionalisasi polimer didefinisikan sebagai pencangkakan gugus fungsi tertentu pada polimer yang berperan sebagai pembawa sifat baru pada polimer [7].

Grafting ialah suatu metode sederhana yang secara luas banyak dilakukan karena efektif untuk meningkatkan kompatibilitas dalam campuran reaktif. Secara garis besar, mekanisme *grafting* diawali dengan inisiasi radikal, propagasi serta terminasi pertumbuhan polimer [8]. Metode *grafting* terbagi menjadi empat, yaitu mekanisme ionik, mekanisme koordinasi, mekanisme *coupling* dan mekanisme radikal bebas yang terdiri dari metode kimia, foto *grafting*, radiasi *grafting*, plasma *grafting*, dan kimia mekanik *grafting* [9]. Kelebihan dari metode ini adalah polimer dapat difungsionalisasi sesuai dengan sifat yang diinginkan.

Grafting ialah suatu metode sederhana yang secara luas banyak dilakukan karena efektif untuk meningkatkan kompatibilitas dalam campuran reaktif. Secara garis besar, mekanisme *grafting* diawali dengan inisiasi radikal, propagasi serta terminasi pertumbuhan polimer [8]. Metode *grafting* terbagi menjadi empat, yaitu mekanisme ionik, mekanisme koordinasi, mekanisme *coupling* dan mekanisme radikal bebas yang terdiri dari metode kimia, foto *grafting*, radiasi *grafting*, plasma *grafting*, dan kimia mekanik *grafting* [9]. Kelebihan dari metode ini adalah polimer dapat difungsionalisasi sesuai dengan sifat yang diinginkan.

Polistirena merupakan suatu polimer yang bersifat non-polar. Sifat non-polar pada polistirena ini dapat diubah menjadi polar dengan cara meng*grafting* gugus fungsi polar ke dalam rantainya dengan bantuan inisiator. Dalam penelitian ini, senyawa yang akan di*grafting* pada polistirena adalah maleat anhidrida (MA). Maleat anhidrida (cis-butenadioat anhidrida, anhidrida toksilat, dihidro-2-5-dioksofuran) memiliki rumus kimia $C_4H_2O_3$, berat molekul 98,06, dapat larut dalam air, meleleh pada temperatur 57- 60°C, mendidih pada 202°C dan memiliki gugus polar dan non polar [6]. Maleat anhidrida (MA) digunakan sebagai bahan mentah dalam sintesa plastisizer, kopolimer, bahan aditif, minyak pelumas, pelapisan permukaan karet, deterjen dan resin poliester. Maleat anhidrida memiliki sifat kimia khas, yaitu adanya ikatan etilenik dengan gugus karbonil didalamnya, ikatan ini berperan dalam reaksi adisi [8].

Modifikasi polimer dengan teknik *grafting* melibatkan pembentukan situs aktif berupa radikal bebas terlebih dahulu pada rantai utama polimer. Pembentukan situs aktif bisa dilakukan dengan metode kimia serta fisika. Melalui metode kimia, akan terbentuk radikal akibat abstraksi atom hidrogen oleh radikal inisiator. Pada penelitian ini, inisiator yang digunakan

adalah benzoil peroksida (BPO). Benzoil peroksida (BPO) merupakan jenis inisiator yang umum digunakan.

Uji FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dapat dilakukan untuk membuktikan apakah maleat anhidrida (MA) telah *tergrafting* atau belum pada polistirena. Telah *tergraftingnya* maleat anhidrida (MA) dapat dibuktikan dengan munculnya puncak serapan gugus karbonil (C=O). Sedangkan, banyaknya maleat anhidrida yang *tergrafting* pada polistirena dapat ditentukan melalui titrasi. Selain itu, penentuan derajat *grafting* ini juga bertujuan untuk mengetahui efisiensi *grafting* maleat anhidrida (MA).

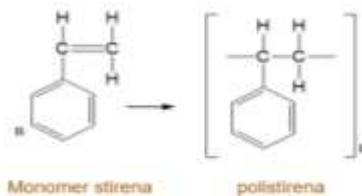
Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan *grafting* maleat anhidrida (MA) pada polistirena dengan bantuan inisiator benzoil peroksida (BPO) untuk meningkatkan kepolaran polistirena. Selanjutnya, diharapkan *grafting* maleat anhidrida (MA) ini dapat diaplikasikan dalam pembuatan papan komposit berbahan dasar polimer dan serat alam untuk meningkatkan kualitasnya (sifat fisis maupun mekanis).

TINJAUAN PUSTAKA

Polistirena (PS)

Polystyrene atau polistirena adalah polimer yang tersusun dari monomer stirena, sebuah hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi. Polistirena perlama kali dibuat pada 1839 oleh Eduard Simon, seorang apoteker Jerman. Polistirena dapat meningkatkan kekuatan regang pada bahan lain yang ditamhkannya. Selain itu, keunggulan lain polistirena antara lain kuat, tahan lama, mudah dibentuk, dan harganya yang murah. Keunggulan ini membuat polistirena sering digunakan sebagai bahan plastik, pemaketan cakram kompak, dan banyak objek lainnya (Qian, 1991).

Polistirena memiliki rantai hidrokarbon panjang dengan gugus fenil terikat pada salah satu gugus karbon dari setiap monomernya, seperti terlihat pada Gambar 2.1. Polistirena murni berbentuk padatan tidak berwarna. Polistirena komersil umumnya bersifat ataktik dan amorf (Febryani, 2008). Pada suhu mangan, polistirena merupakan suatu termoplastik yang berwujud padat, tetapi meleleh pada temperatur 100OC untuk dicetak dan kemudian dibentuk menjadi padatan kembali. Polistirena merupakan plastik keras dengan kelenturan yang terbatas. Gugus vinil yang terdapat pada stirena menjadikan stirena dapat mengalami reaksi adisi kontinu membentuk suatu polimer polistirena (Davis, 2004).



Gambar 2.1 Struktur Polistirena

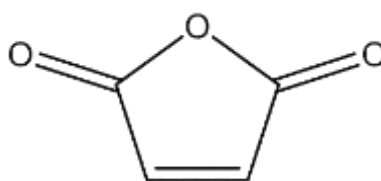
Polistirena (PS) merupakan polimer termoplastik dengan harga murah dan memiliki banyak sifat-sifat yang menguntungkan. Polistirena memiliki

sifat-sifat mekanik dan sifat-sifat termal yang baik, tetapi sedikit rapuh dan melunak di bawah suhu 100°C. Polistirena terurai pada suhu tinggi menjadi monomernya yaitu stirena yang merupakan campuran senyawa dengan bobot molekul rendah (hampir setengahnya). Bau karakteristik dari monomer merupakan identifikasi dari polimer tersebut (Billmeyer, 1971).

Polistirena merupakan bahan termoplastik yang keras, jernih (kecuali jika ditambahkan pewarna atau pengisi), mudah dibentuk tetapi agak rapuh dan melunak pada suhu di bawah 100°C. Polistirena merupakan polimer nonpolar yang tahan terhadap asam, basa, dan zat korosif lainnya, tetapi mudah larut dalam hidrokarbon aromatik. Polistirena banyak digunakan untuk membuat lembaran, penutup, dan barang pencetak. Polistirena berbuisa dipengaruhi oleh pemanasan polistirena yang berisi bahan penghasil gas, dengan uap air, untuk memberikan massa jenis rendah bagi busa-sistem yang sering dipakai adalah butiran polistirena yang menyerap hidrokarbon atsiri, saat dipanasi oleh uap, butiran akan melunak, dan penguapan hidrokarbon bersama-sama dengan difusi uap ke dalam butiran akan menyebabkan butiran mengembang. Polistirena busa digunakan secara besar-besaran sebagai bahan isolator bahang dan pengemas bahang halus (Cowd, 1991).

Maleat Anhidrat

Maleic anhydride atau maleat anhidrida merupakan salah satu senyawa organik yang memiliki rumus molekul ($C_6H_4O_3$). Senyawa ini memiliki rantai siklis dan dapat disintesis dengan mengoksidasi butana (C_4H_{10}) atau benzena (C_6H_6). Maleic anhydride adalah intermediate product yang artinya maleic anhydride merupakan produk yang berfungsi sebagai bahan baku dari produk lainnya. Bahan kimia ini memiliki banyak kegunaan di bidang industri, namun paling banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan unsaturated polyester resin. Sedangkan kegunaan lainnya adalah sebagai alkyl resin, bahan kopolimer, agricultural chemical, dan lubricant additive (Othmer, 1978).



Gambar 2.2 Struktur Maleat Anhidrat

Grafting

Grafting adalah salah satu teknik perbanyakan vegetatif menyambungkan batang bawah dan batang atas dari tanaman yang berbeda sedemikian rupa sehingga tercapai persenyawaan, kombinasi ini akan terus tumbuh membentuk tanaman baru (Hidayat et al., 2002). Grafting ini bukanlah sekedar pekerjaan menyisipkan dan menggabungkan suatu bagian tanaman, seperti cabang, tunas

atau akar pada tanaman yang lain. Melainkan sudah merupakan suatu seni yang sudah lama dikenal dan banyak variasinya (Hidayat et al., 2002). Wudianto (2002) menyatakan bahwa seni grafting ini telah digemari sejak dua abad yang lalu, yaitu sekitar abad ke-15 dia menggambarkan betapa pelik dan banyaknya ragam dari seni grafting ini, ada 119 bentuk grafting dari sekian banyak grafting ini digolongkan menjadi tiga golongan besar, yaitu : 1) Bud-grafting atau budding yang kita kenal dengan istilah okulasi, 2) Scion grafting, lebih populer dengan grafting saja, yaitu sambung pucuk, atau enten dan 3) Grafting by approach atau inarching, yaitu cara menyambung tanaman sehingga batang atas dan batang bawah masih berhubungan dengan akarnya masing-masing.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Berikut adalah alat yang digunakan: seperangkat refluks, beaker glass, kaca arloji, spatula, hot plate, magnetic stirrer, magnetic bar, thermometer. Berikut adalah bahan yang digunakan: *styrofoam*, maleat anhidrida (MA), benzoil peroksida (BPO), silena, metanol, akuades.

Tahapan Penelitian

Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan.

1. *Grafting* Maleat Anhidrida

Styrofoam ditimbang sebanyak 20 gram. Lalu dilarutkan dalam silena sebanyak 200 mL sembari dipanaskan dan diaduk dengan *magnetic stirrer*. Kemudian ditambahkan MA dan BPO, digunakan 4 variasi maleat anhidrida (MA), yaitu 0,8 gram; 1,6 gram; 2,4 gram; dan 3,2 gram, dengan kadar benzoil peroksida (BPO) tetap yaitu 8% dari massa MA. Pencampuran MA dan BPO ke dalam polistirena dilakukan dalam refluks pada suhu 120°C selama 90 menit. Kemudian, dilakukan represipitasi menggunakan metanol sehingga diperoleh endapan PS-g-MA. Selanjutnya endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 6 jam.

2. Penentuan Derajat *Grafting*

Penentuan derajat *grafting* dilakukan menggunakan metode titrasi. Endapan PS-g-MA direfluks kembali dengan 100 mL silena hingga larut. Kemudian, ditambahkan 1 tetes air dan refluks kembali selama 15 menit. Selanjutnya ditambahkan 3 tetes indikator fenolftalein dan dititrasi dengan KOH 0,05 N dalam kondisi panas. Titrasi dihentikan ketika telah terjadi perubahan warna menjadi merah *rose*.

3. Perekaman spektra IR pada PS-g-MA

Dilakukan pada PS-g-MA dengan derajat *grafting* tertinggi. Bertujuan untuk mengetahui perubahan gugus fungsi. Variabel yang digunakan:

1. Variabel bebas: massa MA
2. Variabel terikat: derajat *grafting* PS-g-MA dan gugus fungsi MA pada PS
3. Variabel tetap:
 - Massa *styrofoam* 20 gram yang dilarutkan dalam 200 mL silena

- Kadar BPO yang digunakan yaitu 8% dari massa MA
- Waktu dan suhu proses pencampuran menggunakan refluks, yaitu 120°C selama 90 menit
- Penambahan 1 tetes air dan 3 tetes indikator fenolftalein
- Waktu refluks selama 15 menit setelah penambahan tetes air

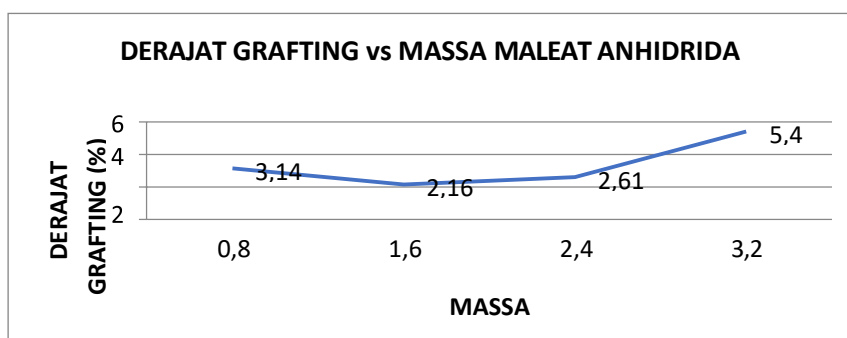
HASIL PENELITIAN

Penentuan Derajat *Grafting*

Dalam penelitian ini, dilakukan pencampuran polistirena (PS), maleat anhidrida (MA) dengan benzoil peroksida (BPO), dimana massa MA divariasikan. Setelah dilakukan pencampuran, dilakukan titrasi untuk menentukan persentase derajat *grafting*. Berikut adalah data-data yang diperoleh.

Tabel 1. Data Hasil Penentuan Derajat *Grafting*

No	PS (g)	MA (g)	BPO (g)	Berat endapan (g)	Volume KOH 0,05 N	Derajat <i>grafting</i> (%)
1	20	0,8	8% dari MA	1,09	1,9	3,14
2	20	1,6		1,02	1,4	2,16
3	20	2,4		1,03	1,6	2,61
4	20	3,2		1,08	2,9	5,4



Gambar 2. Grafik Penentuan Derajat *Grafting* Hasil

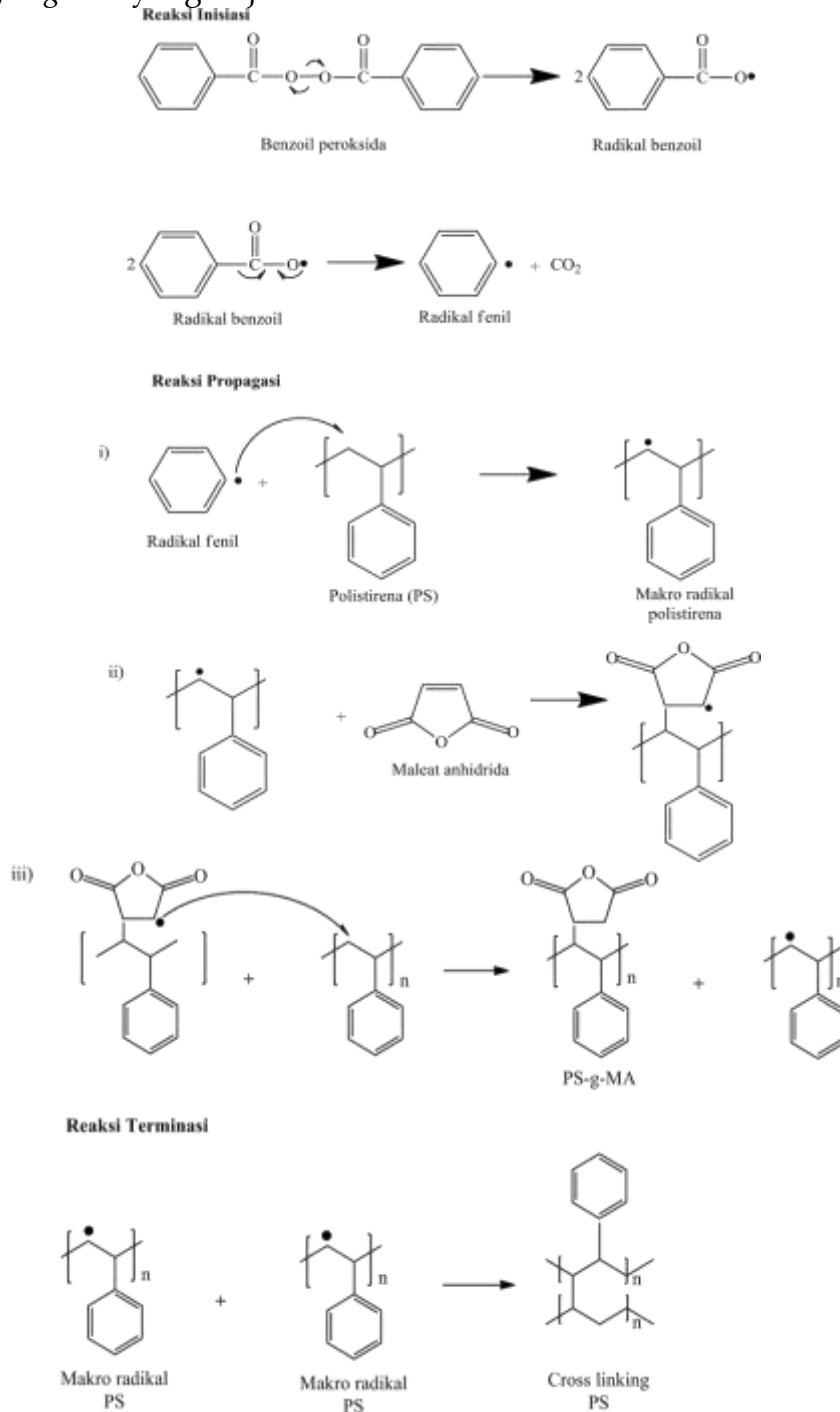
Perhitungan

Pada penambahan 0,8 gMA, berat endapan yang dititrasi = 1,09 g dan diperoleh volume KOH = 1,9 mL. Maka berdasarkan rumus tersebut diperoleh:

PEMBAHASAN

Reaksi radikal bebas dari monomer ke dalam hidrokarbon (poliolefin) merupakan jenis inisiasi melalui alkoksi radikal yang dibentuk dari dekomposisi peroksida. *Grafting* maleat anhidrida ke dalam polistirena terjadi

apabila polistirena berubah menjadi radikal karena adanya suatu inisiator. Pada penelitian ini, yang berperan sebagai inisiator adalah benzoil peroksida (BPO). Benzoil peroksida bersifat tidak stabil terhadap panas serta mampu terurai menjadi radikal-radikalnya pada suhu dan laju tertentu, tergantung dari strukturnya. Benzoil peroksida mengalami homolisis termal untuk membentuk radikal-radikal benzoiloksi [6]. Formasi *grafting* maleat anhidrida ke dalam polistirena dapat berupa disproporsionasi dan *cross-linking* [10]. Berikut adalah reaksi *grafting* MA yang terjadi.



Gambar 3. Reaksi *grafting* MA pada PS

1. Pengaruh Massa Maleat Anhidrida terhadap Derajat *Grafting*

Dari hasil penelitian, diperoleh MA dengan massa 1,6 gram memiliki derajat *grafting* maksimum, yaitu 5,4 %. Ketika nilai derajat *grafting* semakin tinggi, maka semakin banyak pula MA yang ter*grafting* pada polistirena [11].

Tabel 2. Perbandingan Massa MA terhadap Derajat *Grafting*

Massa MA	Derajat <i>Grafting</i>
0,8	3,14
1,6	2,16
2,4	2,61
3,2	5,4

Persentase derajat *grafting* mengalami pertambahan dan stabil pada massa 1,6; 2,4; dan 3,2. Ini menunjukkan bahwa kenaikan derajat *grafting* dikarenakan terjadinya formasi cross-linking polimer dan maleat anhidrida (MA). Kestabilan yang terjadi dikarenakan terjadinya homopolimerisasi, dimana menyebabkan monomer-monomer maleat anhidrida (MA) cenderung membentuk polimer sendiri daripada menempel pada rantai polistirena.

2. Analisa FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

Pengujian spektra IR dalam penelitian kopolimer seharusnya meliputi 2 aspek, yaitu kualitatif serta kuantitatif. Namun, penelitian ini lebih berfokus pada aspek kualitatif dengan cara membandingkan perbedaan gugus fungsi antara polistirena (PS) murni dengan PS-g-MA. Berikut adalah hasil yang diperoleh.

Tabel 3. Bilangan gelombang polistirena (PS)

Sampel	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Gugus fungsi
Polistirena	2848,43	CH ₂
	2920,16	CH
	1600,37	C=C

Tabel 4. Bilangan gelombang polistirena-g-MA dengan derajat *grafting* maksimum

Sampel	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Gugus fungsi
Polistirena	2919,46	CH
	1600,60	C=C
	1738,41	C=O

Data pada tabel di atas menunjukkan telah terjadi interaksi antara polistirena (PS), maleat anhidrida (MA), dan benzoil peroksida (BPO). Ini dibuktikan dari timbulnya puncak serapan khas pada bilangan gelombang 1738,41 cm⁻¹ yang merupakan puncak gugus karbonil (C=O) milik MA. Dengan demikian, terbukti bahwa MA telah ter*grafting* pada polistirena.

KESIMPULAN

Maleat anhidrida telah tergrafting pada polistirena, hal ini dibuktikan dengan munculnya puncak serapan karbonil (C=O) pada hasil spektra IR, dimana gugus karbonil tersebut milik maleat anhidrida. Menggunakan metode titrasi, diperoleh derajat grafting tertinggi dimiliki oleh PS-g-MA dengan massa MA sebesar 3,2 gram.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada lembaga Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Heltina, D., Amri, A., Utama, P. S., & Aman, A. (2020, November). Pemanfaatan sampah *styrofoam* untuk pembuatan lem lateks dalam upaya mengurangi limbah *styrofoam* di TPA Muara Fajar Timur Kecamatan Rumbai Pekanbaru. In *Unri Conference Series: Community Engagement* (Vol. 2, pp. 72- 76).
- Hidayani, T. R. (2018). *Grafting* polipropilena dengan maleat anhidrida sebagai pengikat silang dengan inisiator benzoil peroksida. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA (E-ISSN: 2549-7464)*, 19(1), 56-62. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/127>.
- Kirk, K.E, dan Other, D.F. 1978. *Encyclopedia of Chemical Technology Volume IX 3rd Edition*. New York: John Willey and Sons Inc.
- Kurniawan, R. (2017). Pengaruh Penambahan Divinilbenzena Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel Dari Polipropilena yang Difungsionalisasi Dengan Maleat Anhidrat dan Serbuk Batang Kelapa Sawit yang Telah Dialkalisasi. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Maryani, Y., Kanani, N., & Rusdi, R. (2018). Pembuatan Lem Lateks Dari Limbah *Styrofoam* Yang Digunakan Untuk Kemasan Makanan. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 14(2), 189-200. doi: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v14i2.5873>.
- Qodri, F. (2019). Karakterisasi Komposit Polystirena Termodifikasi Anhidrida Maleat Sebagai Pengikat Agregat Pasir. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Setiorini, I. A. (2017). Sifat Kuat Tarik Dan Morfologi Termoplastik Elastomer Dari Komposit Polypropylene & Natural Rubber. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 8(01), 42-54.
- Singh, R.P. (1992). *Surface Grafting Onto Polypropylene A Survey of Recent Developments*. India: National Chemical Laboratory.
- Siregar, M. S., & Syaputra, I. R. (2015). *Grafting* Maleat Anhidrat Pada Karet Alam Siklis (Cyclic Natural Rubber/CNR) Dengan Inisiator Dicumyl Peroksida. *AGRIUM: Jurnal Ilmu Pertanian*, 17(2). doi: <http://dx.doi.org/10.30596%2Fagrium.v17i2.310>.
- Suka, I. G., & Simanjuntak, W. (2007). Functionalization of Polyethylene Films With pH-Responsive Acrylic Acid Using *Grafting* Technique Induced by UV-Ray. *Jurnal ILMU DASAR*, 8(2), 148-157.
- Sumarni, N. K., Sosidi, H., Rahman, A., & Musafira, M. (2013). KAJIAN FISIKA KIMIA LIMBAH *STYROFOAM* DAN APLIKASINYA. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 2(3). doi: <https://doi.org/10.22487/25411969.2013.v2.i3.1873>.
- Weichel, E. D., Bower, K. S., Ward, T. P., & Hidayat, A. (2002). Epiorneal aspergilloma after penetrating keratoplasty. *Cornea*, 21(8), 825-827.
- Wirahadi, M. (2017). Elemen Interior Berbahan Baku Pengolahan Sampah Styrofoam dan Sampah Kulit Jeruk. *JURNAL INTRA*, 5(2), 144-153.