

PENGARUH PERBEDAAN METODE *MELT PROCESSING* DAN SISTEM LARUT TERHADAP HASIL *GRAFT* KOPOLIMERISASI *CYCLIC NATURAL RUBBER (CNR)* DENGAN *GLYCIDYL METHACRYLATE (GMA)*

Eddiyanto^{1*}, Rezwan Mulya Sipahutar¹, Nurfajarini¹, Ahmad Nasir Pulungan¹, Herlinawati¹

¹Program Studi Kimia, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

*Email: eddiyanto@unimed.ac.id

Article History:

Received: October 2, 2024

Revised: November 21, 2024

Accepted: November 24, 2024

Published: December 6, 2024

ABSTRACT

Although natural rubber has many good qualities, its commercial uses are limited by its low chemical reactivity and low heat stability. A derivative with better stability, Cyclic Natural Rubber (CNR), has to be chemically modified to increase its usefulness and broaden its range of applications. Investigating the effects of two different methods, the melt processing and solution system on the FTIR spectra of Cyclic Natural Rubber (CNR) graft copolymerization with Glycidyl Methacrylate (GMA) was the aim of this work. Additionally, an evaluation of the effect of Dicumyl Peroxide (DCP) and Benzoyl Peroxide (BPO) initiators on grafting results was carried out. According to FTIR spectrum analysis, the carbonyl ester (C=O) peak at roughly 1721 cm⁻¹, indicating effective grafting, was more pronounced in the melt processing approach than in the solution procedure. This implied that melt processing resulted in higher grafting efficiency. The absorption bands in the C-H stretching region (2860-2921 cm⁻¹) and the C=C stretching area (1672 cm⁻¹) show that the underlying structure of CNR has not degraded. The carbonyl index values for each composition showed that BPO performed better than DCP in the melt treatment method, however DCP as an initiator in the solution system produced a higher grafting efficiency than BPO.

Keywords: CNR, GMA, grafting, melt processing, solution system

PENDAHULUAN

Karet alam merupakan senyawa polimer yang terpolimerisasi secara alami oleh alam dengan rumus molekul *Cis 1,4 polyisoprene*, (Nasruddin, 2018). Karet alam merupakan elastomer yang memiliki keunggulan diantaranya sifat elastis, kepegasan dan daya tarik. Namun, beberapa kelemahan dari karet alam yaitu tidak tahan terhadap suhu tinggi, mudah teroksidasi dan kelarutannya terhadap pelarut organik (Jaratrotkamjorn et al., 2023). Sifat karet tersebut dapat dimodifikasi secara fisik dan kimia untuk meningkatkan kinerja karet alam dalam variasi aplikasi yakni dengan cara mencampurkan polimer lain yang

kemungkinan dapat meningkatkan kualitas karet alam. Salah cara untuk meningkatkan sifat tersebut yang dapat dilakukan adalah dengan cara *grafting*. *Grafting* merupakan salah satu metode modifikasi karet alam yang sering dilakukan (Zainudin *et al.*, 2021).

Cyclic Natural Rubber (CNR), salah satu hasil modifikasi karet alam, menjadi produk unik dan menarik perhatian karena memiliki sifat-sifat yang khas, seperti stabilitas yang baik, tahan terhadap daya gosok, serta kemudahan dalam pengolahan dan pengaplikasian. Namun, keterbatasan reaktivitas kimia yang membuat CNR memiliki batasan potensi aplikasi di berbagai industri. Kemampuan itu dapat ditingkatkan melalui modifikasi dengan teknik *grafting* yang sering digunakan untuk menambahkan gugus fungsi yang dapat memodifikasi sifat polimer tersebut. Glycidyl Methacrylate (GMA) merupakan sebuah monomer dengan gugus epoksi yang reaktif, dan sering digunakan dalam proses *grafting* karena kemampuannya untuk memperbaiki adhesi, ketahanan termal, dan kompatibilitas dengan material lain (Departemen perindustrian, 2007).

Modifikasi polimer yang dapat dilakukan adalah metode *grafting*, dalam hal ini metode *grafting* yang digunakan sangat mempengaruhi struktur dan sifat material yang dihasilkan. Metode *grafting* yang umum digunakan adalah *melt processing* dan sistem larut. Metode *melt processing* dilakukan pada suhu tinggi dengan pencampuran mekanik, dimana pada proses ini rantai polimer bergerak dan berinteraksi lebih efisien dengan monomer. Di sisi lain, metode sistem larut menggunakan pelarut yang interaksi polimer dan monomer pada suhu yang lebih rendah yang berpotensi menghasilkan modifikasi struktur dan derajat *grafting* yang berbeda (Dobrovolsky *et al.*, 2016).

Cyclic Natural Rubber (CNR), sebagai salah satu hasil modifikasi karet alam, memiliki kelebihan seperti stabilitas termal yang lebih baik, daya tahan terhadap abrasi, dan kemudahan pengolahan. Namun, rendahnya reaktivitas kimia CNR menjadi tantangan utama dalam memperluas penggunaannya di berbagai industri. Untuk mengatasi hal ini, *grafting* dengan *Glycidyl Methacrylate* (GMA) dipilih karena sifatnya yang unik. GMA adalah monomer dengan gugus epoksi reaktif yang dapat meningkatkan adhesi, kompatibilitas material, dan ketahanan termal produk akhir. Dengan demikian, modifikasi CNR menggunakan GMA diharapkan dapat menghasilkan material dengan sifat yang lebih unggul untuk aplikasi industri seperti pelapis, perekat, dan komposit (Juntuek *et al.*, 2011).

Kopolimerisasi *grafting* terhadap CNR telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu dengan berbagai monomer sesuai dengan tujuan penelitian yang diinginkan. Penelitian sebelumnya sudah berhasil mencangkokkan metil metakrilat pada CNR yang Lantanida Journal, 12(2): 124-138

bertujuan untuk meningkatkan sifat adhesi dari CNR (Siregar dkk., 2015). Selain itu, *Grafting* juga sudah dilakukan dengan asam akrilat pada CNR (Dibyantini & Simanungkalit, 2016), dan maleat anhidrat (Siregar dkk., 2021). *Grafting* juga memiliki beberapa teknik yang umum dilakukan antara lain dengan *melt processing* (Siregar dkk., 2021) dan dengan metode sistem pelarut (Mahendra dkk., 2019). Melalui metode *melt processing*, kopolimerisasi *grafting* CNR dengan GMA dilakukan dengan penambahan ko-monomer Divinyl benzene (DVB) dan berhasil diketahui derajat *grafting* paling optimal yaitu 2,27 % (Alfian & Nasution, 2021). Adapun, dalam penelitian lain, kopolimerisasi *grafting* CNR dengan metode sistem larut didapatkan derajat 3 *grafting* paling optimal adalah 22.99 % dengan menggunakan peroksida BPO dan pelarut Xilena (Mahendra dkk., 2019).

Melalui penelitian ini, peneliti menawarkan kebaruan dalam mengeksplorasi efektivitas *grafting* GMA pada CNR dengan menggunakan dua pendekatan proses, yaitu *melt processing* dan sistem larut. dengan fokus pada analisis FTIR untuk mengidentifikasi perbedaan efisiensi *grafting* serta perubahan gugus fungsinya.

METODE PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpang dan alu, neraca digital, alat-alat gelas, *internal mixer* (Brabander Mixer W50 EHT), *stopwatch*, termometer 100 °C (*Fischer*), *hot plate*, *magnetic stirrer*, labu alas leher tiga (250 ml), kondensor liebig, statif dan klem, oven, aluminium foil, dan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Cyclic Natural Rubber* (CNR) yang berasal dari PT. Industri Karet Nusantara, Dikumill Peroksida (DCP) dari Sigma-Aldrich, Benzoil Peroksida (Sigma Aldrich), *Glycidyl Methacrylate* (Sigma-Aldrich), Pelarut Xilena serta Aseton (Teknis) sebagai bahan untuk presipitasi.

Prosedur Kerja

Cyclic Natural Rubber (CNR) yang dipersiapkan selanjutnya menuju proses *grafting* menggunakan *Internal Mixer* dengan metode *melt processing* dan dengan metode sistem larut. Sampel CNR ditumbuk dengan lumpang alu sampai berbentuk partikel granular. Sampel CNR yang sudah disiapkan kemudian dilakukan proses *grafting* pada masing-masing reaktor.

Preparasi Grafting CNR-g-GMA dengan Metode *Melt Processing*

Preparasi sampel dan penentuan inisiator, monomer, keadaan suhu serta waktu reaksi merupakan beberapa hal yang sangat penting dalam proses *grafting* suatu polimer. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode *melt process*. Adapun variasi dari variabel-variabel yang akan diuji dalam proses *grafting* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Grafting CNR g GMA dengan Sistem *Melt Processing*

No.	Komposisi								Kondisi		
	CNR		GMA (BM=142)		Inisiator				Kec. Rotor (rpm)	T (°C)	t (menit)
	phr	G	phr	g	BPO		DCP				
				phr	g	phr	g				
1	100	30	-	-	-	-	-	-	80	160	8
2	100	30	16	4.8	-	-	-	-	80	160	8
3	100	30	16	4.8	1	0.3	-	-	80	160	8
4	100	30	16	4.8	-	-	1	0.3	80	160	8

Langkah awal yaitu mempersiapkan sampel CNR/Resiprene 35 sudah dalam bentuk partikel granular, tujuannya untuk menghindari terjadinya slip pada mesin dan ditimbang dengan massa sesuai dengan Tabel 1. Selanjutnya, dipersiapkan alat pencampur (*internal mixer*) dengan cara menyesuaikan suhu optimal dengan kecepatan rotor *internal mixer* sesuai dengan data kecepatan rotor yang disebutkan dalam Tabel 1. Setelah suhu yang diinginkan sudah sesuai, dapat dilihat melalui layar monitor komputer, alat *internal mixer* siap untuk digunakan. Kemudian, masing-masing rancangan variasi berurutan dimasukkan ke dalam *internal mixer*. Pencampuran tersebut dilakukan selama 8 menit dengan suhu 160 °C (Siregar, dkk., 2021).

Preparasi Grafting CNR-g-GMA dengan Metode Sistem Larut

Proses *grafting* CNR dengan GMA disintesis dalam keadaan larutan dengan bantuan pelarut xilena. Sebanyak 5 g CNR dilarutkan dalam 150 mL xilena pada suhu 140 °C dan dilakukan di dalam reaktor yang terdiri dari Labu alas leher 3 dan kondensor, dipanaskan dan diaduk dengan pemanas hot plate dan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Setelah CNR larut sempurna, kemudian ditambahkan GMA (16 phr) dan inisiator radikal bebas dengan variasi sesuai pada Tabel 2. Reaksi dibiarkan berlangsung pada waktu reaksi yang diinginkan dengan pengadukan terus menerus sampai kopolimerisasi cangkok selesai. Setelah itu, sistem didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Sampel kemudian diendapkan dengan larutan

aseton. Hasil endapan kemudian di oven pada suhu 60 °C untuk menghilangkan sisa pelarut aseton dan GMA yang tak ter-*grafting* (Eddiyanto *et al.*, 2022).

Tabel 2. *Grafting* CNR g GMA dengan Sistem Larut

No.	Komposisi								Kondisi			
	CNR		GMA (BM=142)		Inisiator				Pelarut Xylene ml	Kec. Rotor (rpm)	T (°C)	t (menit)
	phr	G	phr	g	BPO		DCP					
				phr	g	phr	g					
1	100	5	-	-	-	-	-	-	150	80	140	60
2	100	5	16	0.8	-	-	-	-	150	80	140	60
3	100	5	16	0.8	1	0.05	-	-	150	80	140	60
4	100	5	16	0.8	-	-	1	0.05	150	80	140	60

Proses Pemurnian Produk CNR-g-GMA

Produk CNR-g-GMA dengan pencangkakan sistem *melt processing* diendapkan dengan metode sokletasi produk menggunakan 150 mL aseton. Selanjutnya produk dikeringkan dengan cara pemanasan dalam oven selama 8 jam pada suhu 60 °C. Produk CNR-g-GMA dalam keadaan larutan di ditambahkan secara perlahan ke dalam aseton sehingga terbentuk endapan. Kemudian, endapan disaring dengan kertas saring Whatman dengan bantuan vakum. Endapan yang diperoleh dibilas kembali dengan aseton sebelum kemudian dikeringkan lagi dalam oven 60 °C selama 8 jam (Siregar dkk., 2021).

Karakterisasi

Produk CNR-g-GMA yang telah didapatkan setelah proses pemurnian, selanjutnya dilakukan uji karakterisasi. Uji FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dilakukan untuk mengkonfirmasi bahwa reaksi *grafting* produk CNR-g-GMA berhasil dilakukan berdasarkan adanya puncak serapan baru pada rentang bilangan gelombang 1600-1800 cm^{-1} yang merupakan serapan khas gugus karbonil (C=O) yang berasal dari molekul GMA (Eddiyanto, 2007).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Reaksi *Grafting* CNR-g-GMA

Dua teknik utama digunakan dalam penyelidikan pencangkakan CNR dengan GMA, yaitu sistem larut dan metode *melt processing*. Proses pencangkakan melibatkan reaksi kimia yang menggabungkan monomer ke struktur molekul utama. Polimer cangkok dengan karakteristik fisik dan kimia yang diubah atau ditingkatkan dibuat selama proses

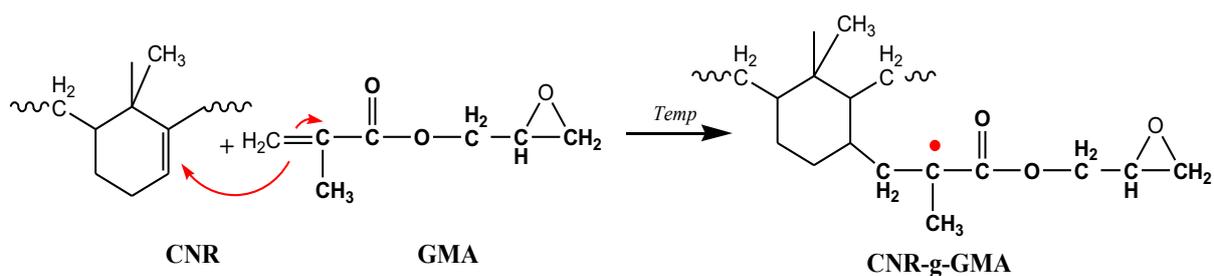
pencangkakan. Pemilihan proses pencangkakan yang tepat, jenis inisiator, dan pendekatan karakterisasi sangat penting untuk mendapatkan hasil yang optimal.

CNR digiling menjadi partikel berbentuk granular untuk proses reaksi pencangkakan ini dan ditimbang 30 gram. Selama proses pencangkakan dalam *internal mixer*, pastikan alat bersih dan bebas dari sisa material. Setelah mengatur kecepatan rotor ke 80 rpm dan suhu alat mixer internal ke 160 °C, suhu yang diinginkan tercapai. Bahan-bahan selanjutnya harus disiapkan dengan menimbang CNR, GMA, dan Inisiator sesuai dengan komposisi Tabel 1. Selanjutnya, ruang pencampuran internal harus dibuka, dan bahan-bahan harus dimasukkan secara berurutan, dengan CNR dimasukkan terlebih dahulu setelah meleleh dan tercampur rata. Setelah semua bahan dimasukkan, *chamber* ditutup dan campuran diaduk selama 8 menit pada suhu 160 °C dan kecepatan 80 rpm, setelah itu sampel dikeluarkan dari *chamber* dan ditimbang. GMA, VPO, dan DCP dicampurkan sesuai dengan komposisi pada Tabel 1. Setelah itu, produk *grafting* dimurnikan menggunakan pelarut metanol dan teknik presipitasi soxhletasi. Selanjutnya, dilakukan analisis FTIR untuk mengetahui keberhasilan proses *grafting*.

Melalui metode sistem larut, CNR dihaluskan menjadi partikel berbentuk granular dan kemudian ditimbang sebanyak 5 gram. Pelarut xilena (teknis) disiapkan dalam jumlah hingga 150 ml. Larutan dibuat dalam reaktor dengan kondensor dan labu dengan tiga leher. Selanjutnya, CNR ditambahkan ke reaktor yang sudah berisi xilena, dipanaskan, dan diaduk dengan pengaduk magnetik dan *hot plate* untuk memastikan CNR larut sepenuhnya. Terakhir, GMA ditambahkan ke larutan sesuai dengan variasi yang tercantum dalam Tabel 2. kemudian inisiator juga ditambahkan ke dalam larutan sesuai dengan variasi yang diuji. Setelah proses *grafting* selesai, larutan produk diproses untuk memurnikan CNR-g-GMA dari sisa monomer dan produk samping. Hasil dari proses *grafting* dianalisis menggunakan FTIR.

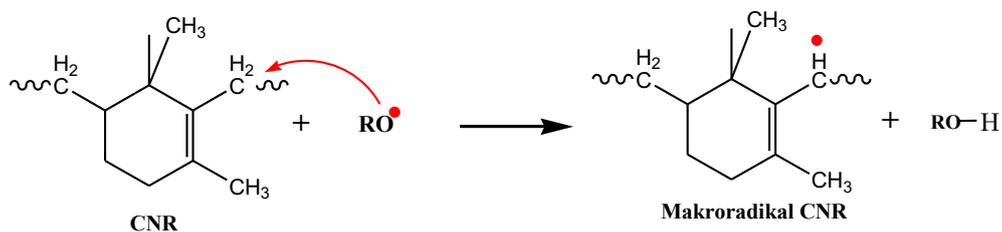
Mekanisme Reaksi *Grafting*

Reaksi Inisiasi Termal

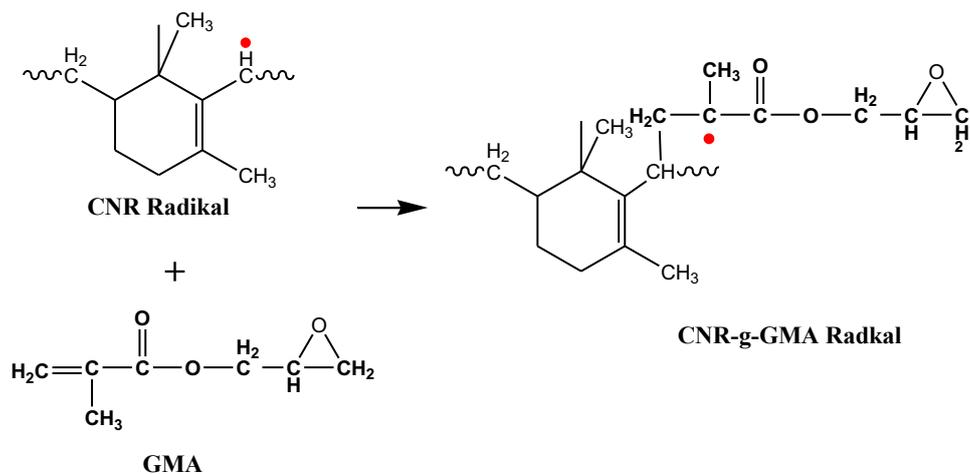


Reaksi Inisiasi Peroksida

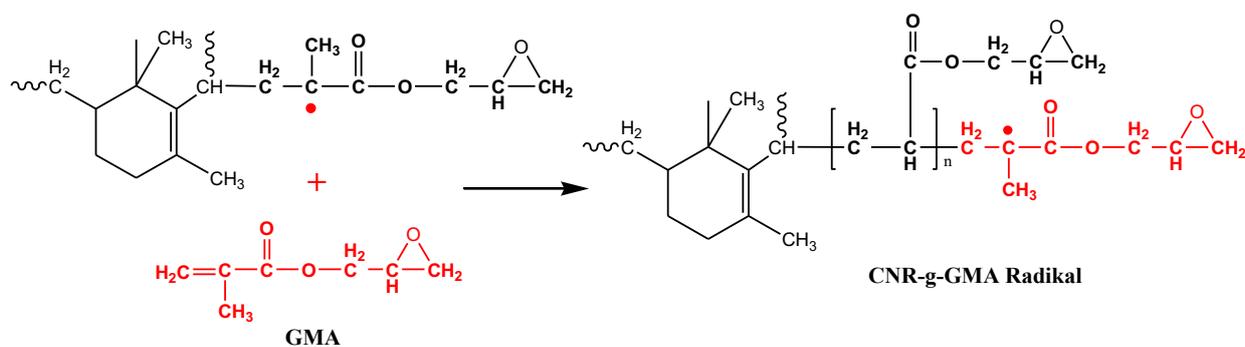
Tahap Inisiasi

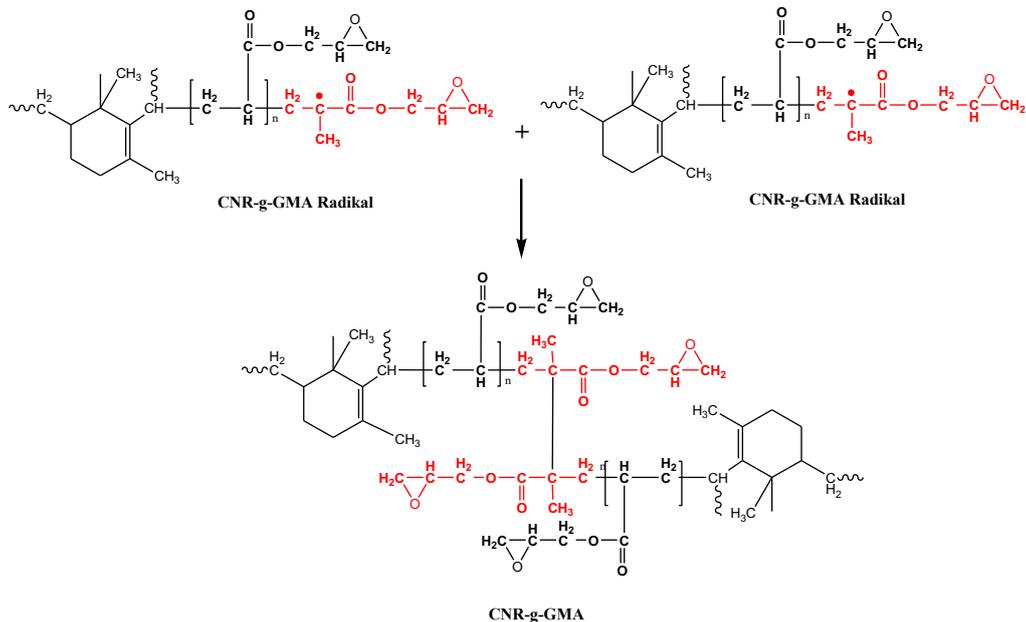


Tahap Propagasi



Tahap Terminasi

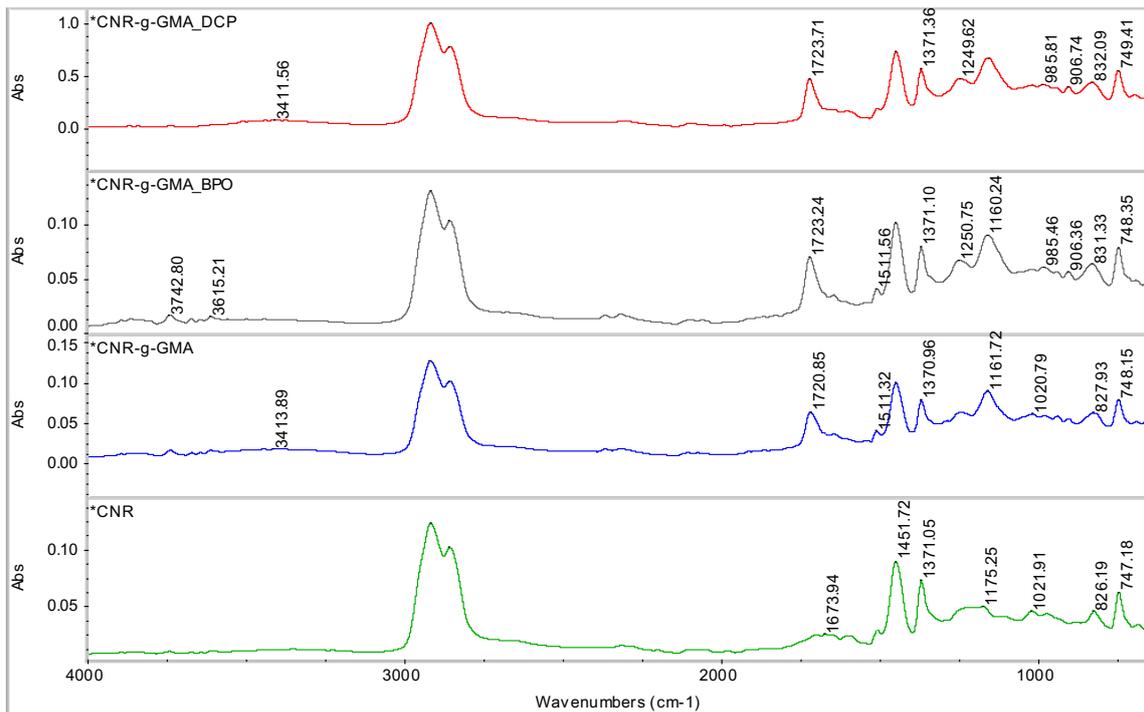




Gambar 1. Usulan Mekanisme Reaksi Grafting CNR dengan GMA

Analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Analisis FTIR merupakan teknik spektroskopi yang digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi dalam suatu zat. Dalam penelitian ini, spektrum CNR murni dalam proses pada suhu tinggi dan CNR yang telah dicangkok dengan GMA yang ditambah dengan peroksida (BPO dan DCP) dibandingkan menggunakan analisis FTIR. Berdasarkan teori Hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa luas daerah serapan suatu larutan berbanding lurus dengan konsentrasi zat yang diserap dan semakin tinggi konsentrasi zat yang diukur, maka semakin besar pula jumlah serapan yang dihasilkan (Al-Malaika & Eddiyanto, 2010). Hasil analisis FTIR dari kopolimerisasi *graft* CNR dengan GMA dengan metode *melt processing* dapat dilihat pada Gambar 2.

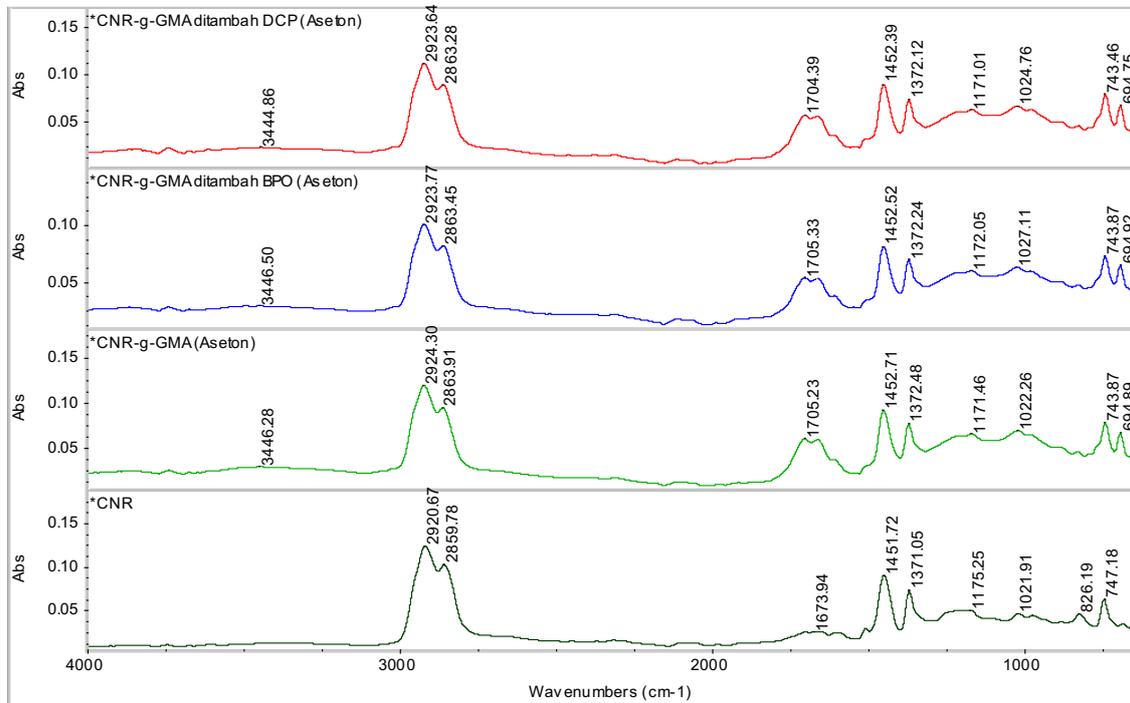


Gambar 2. Perbandingan Hasil analisis FTIR *Graft* Kopolimerisasi Metode *Melt Processing*

Gambar 2 menunjukkan 4 jenis komposisi dari CNR yang dianalisis dengan FTIR. Spektra FTIR diatas menunjukkan bahwa pada absorpsi yang sama keempatnya tampak beberapa intensitas puncak yang berbeda berdasarkan komposisi CNR-nya. Terlihat jelas perbedaan CNR dengan CNR yang telah ter-*grafting* GMA yang memiliki intensitas C=O yang tinggi. Munculnya puncak serapan gugus karbonil (C=O) merupakan salah indikator keberhasilan *grafting* GMA pada CNR dalam penelitian ini. Spektra FTIR pada Gambar 2 mengkonfirmasi bahwa pada setiap variasi CNR-g-GMA muncul serapan dari gugus karbonil. CNR yang ter-*grafting* GMA tanpa adanya peroksida muncul karbonil pada bilangan gelombang $1720,85\text{ cm}^{-1}$, pada variasi *grafting* yang menggunakan peroksida BPO puncak serapan C=O nya muncul pada bilangan gelombang $1723,24\text{ cm}^{-1}$, lalu pada hasil *grafting* yang menggunakan peroksida DCP puncak serapan C=O nya muncul pada bilangan gelombang $1723,71$.

Lebih jauh lagi, dalam kedua pendekatan, penyerapan maksimum di area CH-Stretching ($2850\text{--}2950\text{ cm}^{-1}$) dan wilayah C=C Stretching (1650 cm^{-1}) tetap tidak berubah. Ini menunjukkan bahwa baik dalam sistem larut maupun metode *melt processing*, struktur dasar CNR tidak memburuk selama prosedur *grafting*. Hasil ini menunjukkan bahwa integritas polimer CNR tidak dirusak oleh pendekatan pencangkakan ini. Lebih jauh lagi, dalam kedua pendekatan, penyerapan maksimum di area peregangan C-H ($2850\text{--}2950\text{ cm}^{-1}$)

(Hou *et al.*, 2018). Perbedaan antara kedua metode dapat diamati dari hasil analisis dari kopolimerisasi *graft* CNR dengan GMA metode sistem larut pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan Hasil analisis FTIR *Graft* Kopolimerisasi Metode Sistem Larut

Berdasarkan Gambar 3, spektrum FTIR metode Sistem Larut dari CNR yang ter-*grafting* dengan GMA menunjukkan modifikasi pada struktur kimia senyawa tersebut. Intensitas CNR yang telah dicangkokkan dengan GMA meningkat mendekati puncak serapan gugus peregangan C-H, yang merupakan gugus kerangka CNR. Hal ini terutama berlaku untuk CNR-g-GMA dengan inisiator DCP. Puncak serapan peregangan C-H diamati pada bilangan gelombang 2921 dan 2860 cm^{-1} . Gugus C=O adalah puncak serapan yang menunjukkan apakah pencangkokan GMA berhasil; gugus ini muncul dalam jumlah yang bervariasi pada setiap permutasi. Intensitas karbonil CNR-g-GMA dengan inisiator DCP adalah maksimum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Bilangan gelombang di mana puncak serapan karbonil terlihat adalah 1705 cm^{-1} .

Spektrum FTIR hasil pencangkokan CNR menggunakan GMA menunjukkan perbedaan yang mencolok antara pendekatan sistem terlarut dan pendekatan *melt processing*. Perbedaan ini paling terlihat pada intensitas puncak serapan gugus karbonil (C=O) pada 1720 cm^{-1} , yang menunjukkan bahwa pencangkokan GMA ke rantai CNR berhasil. Puncak serapan karbonil (C=O) dalam pendekatan *melt processing* lebih intens daripada dalam metode sistem

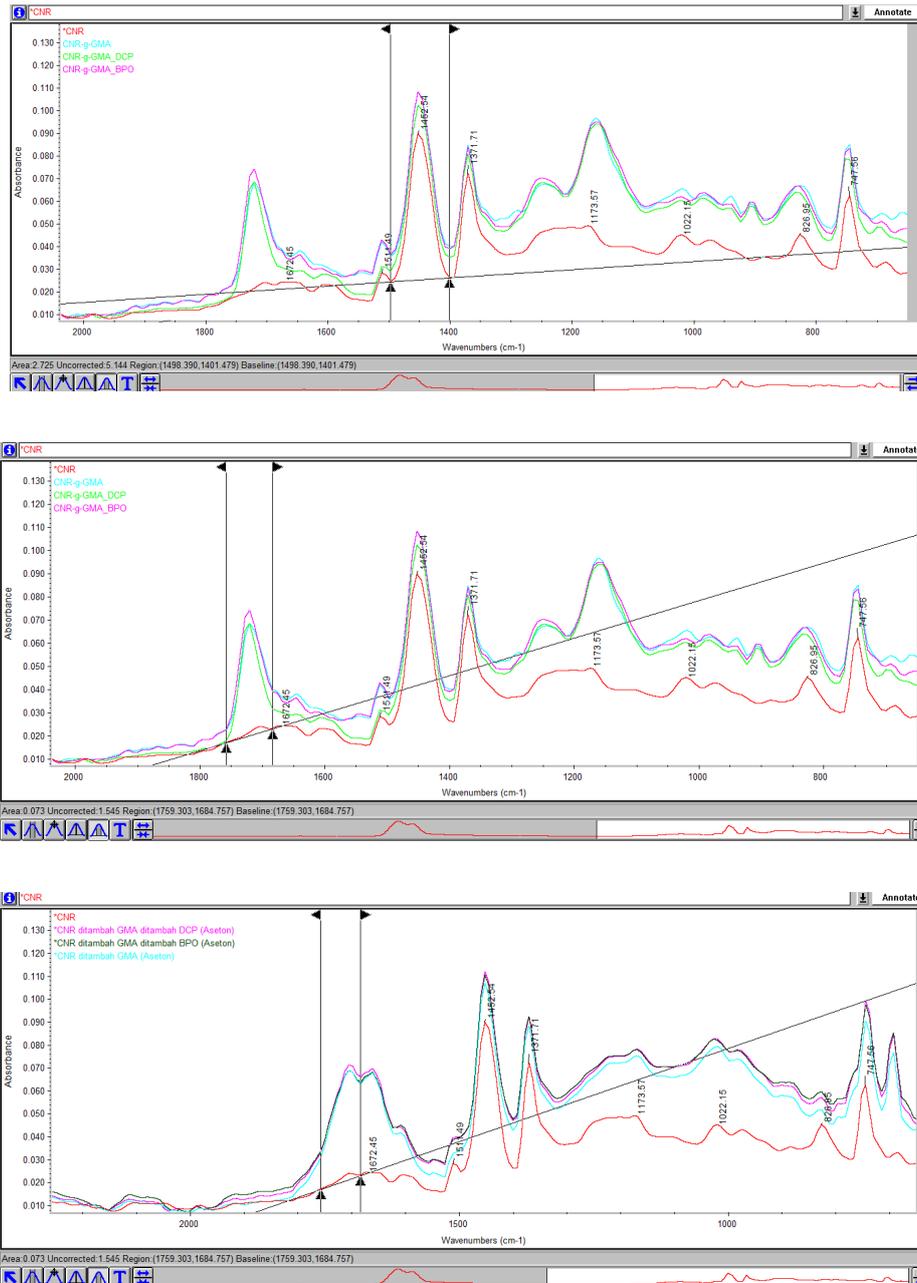
terlarut. Hal ini menunjukkan bahwa pencangkakan GMA pada metode *melt processing* lebih efektif. Faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi dalam *melt processing* adalah distribusi panas yang lebih merata dan suhu yang lebih tinggi, yang mempercepat reaksi pencangkakan. Potensi GMA yang menempel pada rantai CNR meningkat karena suhu tinggi dalam pemrosesan lelehan, yang menyebabkan peroksida yang bertindak sebagai inisiator, seperti Benzoin Peroksida (BPO) dan Dikumul Peroksida (DCP), terurai lebih cepat sehingga menghasilkan radikal bebas yang memulai reaksi pencangkakan (Juntuek *et al.*, 2011).

Efisiensi *Grafting* pada Metode *Melt Processing* dan Sistem Larut

Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa metode *melt processing* menghasilkan intensitas puncak karbonil (C=O) yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem larut, terutama pada penggunaan inisiator BPO. Hal ini mengindikasikan efisiensi *grafting* yang lebih baik dalam metode *melt processing*. Penemuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Siregar *et al.* (2021), yang melaporkan bahwa suhu tinggi dalam proses *melt processing* meningkatkan efisiensi reaksi pencangkakan karena distribusi panas yang lebih merata dan percepatan pembentukan radikal bebas. Selain itu, hasil ini juga didukung oleh temuan Juntuek *et al.* (2011), yang menyatakan bahwa suhu tinggi dan waktu reaksi yang optimal sangat penting untuk meningkatkan derajat *grafting* dalam modifikasi karet alam menggunakan monomer fungsional seperti GMA.

Penentuan derajat *grafting* GMA pada struktur CNR dapat dilakukan dengan menghitung luas absorbansi daerah serapan (C=O) 1600–1800 cm⁻¹. kemudian dibandingkan dengan luas absorbansi daerah pembanding (*Peak Reference*) sehingga menghasilkan nilai index karbonil (C=O) dengan menggunakan *software* OMNIC. Angka indeks karbonil dapat digunakan sebagai tolak ukur membandingkan efektivitas *grafting* antara metode *melt processing* dengan sistem larut (Eddiyanto, *et al.*, 2022). Indeks karbonil dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut (Almond *et al.*, 2020).

$$\text{Indeks Karbonil} = \frac{\text{Luas Area Serapan Karbonil (C = O)}}{\text{Luas Area Serapan Peak Reference}}$$



Gambar 4. (a) Perhitungan Luas Absorbansi *Peak Reference*; (b) Perhitungan Luas Absorbansi Hasil *Graft* Kopolimerisasi CNR dengan GMA Metode *Melt Processing*; dan (c) Perhitungan Luas Absorbansi Hasil *Graft* Kopolimerisasi CNR dengan GMA Metode Sistem Larut

Lalu, *software OMNIC* digunakan untuk setiap komposisi dari masing-masing metode agar dapat dihitung nilai index karbonilnya. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Indeks Karbonil (C=O) dari *Grafting* dengan Metode *Melt Processing*

Jenis Variasi	LA C=O	LA <i>Peak</i> <i>Reference</i> (C-H)	Indeks Karbonil
CNR-g-GMA	1,227	2,618	0,468
CNR-g-GMA_BPO	1,515	2,761	0,548
CNR-g-GMA_DCP	1,245	2,402	0,518

Tabel 2. Indeks Karbonil (C=O) dari *Grafting* dengan Metode Sistem Larut

Jenis Variasi	LA C=O	LA <i>Peak</i> <i>Reference</i> (C-H)	Indeks Karbonil
CNR-g-GMA	0,571	2,283	0,250
CNR-g-GMA_BPO	0,423	1,645	0,257
CNR-g-GMA_DCP	0,539	2,043	0,264

Dibandingkan dengan sistem larut, nilai indeks karbonil yang lebih tinggi dalam pendekatan *melt processing* menyiratkan peningkatan efisiensi pencangkokan. Dapat kita lihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 bahwasannya nilai index karbonil *melt processing* lebih tinggi dibanding sistem larut, dan komposisi yang paling tinggi adalah *graft* kopolimerisasi CNR dengan GMA menggunakan peroksida BPO = 0,548. Temuan ini sesuai dengan penelitian Dobrovolsky *et al.* (2016), yang menemukan bahwa efisiensi inisiator bergantung pada suhu dekomposisi dan kondisi reaksi. BPO, dengan suhu dekomposisi lebih rendah, lebih efektif pada suhu tinggi *melt processing*, sedangkan DCP lebih stabil pada suhu sedang yang digunakan dalam sistem larut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dipaparkan, diperoleh kesimpulan bahwa, metode *melt processing* terbukti lebih efisien dalam proses *grafting* CNR dengan GMA yang ditunjukkan dengan intensitas puncak serapan karbonil pada daerah serapan 1721 cm^{-1} terutama dengan inisiator BPO. Berdasarkan nilai indeks karbonil, *melt processing* juga memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu 0.469; 0.548; 0.518. lebih tinggi dibandingkan dengan metode sistem larut dengan nilai masing-masing variasi adalah 0.250; 0.257; 0.264 Namun, Metode sistem larut tetap menunjukkan keberhasilan *grafting* dengan mengamati Spektra FTIR keberadaan puncak serapan karbonil (C=O) terdeteksi tetapi intensitasnya lebih rendah daripada *melt processing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, Z., & Nasution, N. (2021, November). Addition of divinyl benzene comonomer to glycidyl methacrylate grafting to cyclic natural rubber. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 912, No. 1, p. 012099). IOP Publishing.
- Al-Malaika, S., & Eddiyanto, E. (2010). Reactive processing of polymers: Effect of bifunctional and tri-functional comonomers on melt grafting of glycidyl methacrylate onto polypropylene. *Polymer degradation and stability*, 95(3), 353-362.
- Almond, J., Sugumaar, P., Wenzel, M., Hill, G., & Wallis, C. (2020). Determination of the carbonyl index of polyethylene and polypropylene using specified area under band methodology with ATR-FTIR spectroscopy. *E-Polymers*, 20, 369–381.
- Departemen perindustrian. (2007). *Gambaran Sekilas Industri Karet*.
- Dibyantini, R. E., & Simanungkalit, F. (2016). Modifikasi Cyclic Natural Rubber (Cnr) Melalui Metode Epoksidasi Dan Grafting Monomer Asam Akrilat Menggunakan Benzoil Peroksida (Bpo). Universitas Negeri Medan.
- Dobrovolsky, V. N., Pacheco-Martinez, M. M., McDaniel, L. P., Pearce, M. G., & Ding, W. (2016). In vivo genotoxicity assessment of acrylamide and glycidyl methacrylate. *Food and Chemical Toxicology*, 87, 120–127.
- Eddiyanto. (2007). *Functionalisation of polymers: reactive processing, structure and performance characteristics*. Aston University.
- Eddiyanto, E., Nababan, A., & Sinaga, A. (2022). Modification Of Natural Rubber Sir-20 With Cyclisation and Grafting Methods with Maleic Anhydride. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 5(2), 67.
- Eddiyanto, E., Nainggolan, B., & Sipayung, M. (2022). Process and Characterization of Modification of Natural Rubber (SIR-20) with Grafting Maleat Anhydride. *AIP Conference Proceedings*, 2659(July 2004).
- Hou, X., Lv, S., Chen, Z., & Xiao, F. (2018). Applications of Fourier transform infrared spectroscopy technologies on asphalt materials. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 121(March), 304–316.
- Jaratrotkamjorn, R., Hayeemasae, N., Zakaria, Z., & Masa, A. (2023). *In fl uence of acid concentration on thermomechanical , tensile and thermal properties of cyclized natural rubber*.
- Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., & Chumsamrong, P. (2011). Glycidyl Methacrylate Grafted Natural Rubber : Synthesis , Characterization , and Mechanical Property. *Journal of Applied Polymer Science*, 122, 3152–3159.
- Mahendra, I. P., Wijosentono, B., Tamrin, T., & Ismail, H. (2019, January). Modifikasi Resiprene-35 Dengan Asam Metakrilat Melalui Teknik Pencangkokan Dalam Sistem Pelarut. In *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)* (Vol. 2, No. 1, pp. 52-59).

- Nasruddin. (2018). Sifat Mekanik Rubber Waves Dari Komposit Karet Alam Dan Karet Sintesis Menggunakan Multi Filler. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 29(1), 35–45.
- Siregar, M. S., Astuti, R. P., Fuadi, M., Ardilla, D., Nasution, A., D.M., M., & Eddiyanto. (2021). Pencangkokan Anhidrida Maleat Pada Karet Alam Siklis: Penambahandivinil Benzen Untuk Meningkatkan Derajat Pencangkokan (Grafting of Maleic Anhydride Onto Cyclized Natural Rubber: the Presence of Divinyl Benzeneto Increase Thegrafting Degree). *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15(2), 222–230.
- Siregar, M. S., Mentari, E. C., Ardilla, D., M D, M., Nasution, A., & Eddiyanto, E. (2021). Studi Suhu Transisi Gelas Produk Pencangkokan Anhidrida Maleat Pada Karet Alam Siklis: Metode Differential Scanning Calorimetry. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 19(1), 45–50.
- Siregar, M. S., Thamrin, M., Basuki, W. S., & Eddiyanto. (2015). Modifikasi Kimia Karet Alam Siklis (Cyclic Natural Rubber/Cnr) Dengan Teknik Grafting: Menggunakan Monomer Metil Metakrilat Dan Inisiator Benzoil Peroksida. *Agrium*, 17((23). 172-175
- Zainudin, Z., Baharulrazi, N., Hajjar, S., & Man, C. (2021). Natural rubber derivatives for adhesives applications: A review. *Chemical Engineering Transactions*, 83(September), 493–498.