



Sintesis PAN-co-PMMA sebagai *Compatibilizer* pada Pencampuran *Natural Rubber* dan *Nitrile Butadiene Rubber*: Aplikasi dalam Pencampuran Karet Perapat

Synthesis of PAN-co-PMMA as a Compatibilizer in Blending Natural Rubber and Nitrile Butadiene Rubber: The Application in Blending Rubber Seal

Megawati Fratiwi^{1*}, Viona Aulia Rahmi², Sindi Wahyu Pratiwi³, Maya Revanola Zainida⁴, Rofiqoh Nur Rohmah⁴

¹Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau, Jl. Tuanku Tambusai, Delima, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru, Riau 28290

³Program Studi D4 Teknik Desain Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

⁴Program Studi D4 Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

*Corresponding Author: megawatifratiwi@ppns.ac.id

Received: 28th November 2025; Revised: 2nd January 2026; Accepted: 3rd January 2026

ABSTRAK

Natural Rubber (NR) dan *Nitrile Butadiene Rubber* (NBR) adalah dua jenis karet yang tidak dapat bercampur karena memiliki parameter kelarutan yang berbeda. Salah satu cara untuk mencampurkan NR dan NBR dibutuhkan *compatibilizer* yang diperoleh melalui kopolimerisasi dari monomer akrilonitril (AN) dan metil metakrilat (MMA) menggunakan inisiator kalium persulfat ($K_2S_2O_8$). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh inisiator terhadap proses sintesis dan karakterisasi PAN-co-PMMA, serta mengevaluasi sifat mekanis *tensile strength* PAN-co-PMMA terpilih sebagai *compatibilizer* pada aplikasi *rubber seal*. PAN-co-PMMA disintesis menggunakan air-ethanol pada suhu kopolimerisasi 65°C selama 3 jam dengan pengadukan 400 rpm, variasi inisiator 1, 2, 3, 4% dari massa monomer, serta rasio monomer AN:MMA yaitu 90:10 (% massa). Karakterisasi menggunakan FTIR, dan evaluasi sifat mekanis *tensile strength* pada PAN-co-PMMA konsentrasi inisiator 4%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spektrum IR memperkuat telah terjadinya kopolimerisasi ditandai adanya ikatan rangkap C≡N dan C=O. Penambahan *compatibilizer* menaikkan nilai *tensile strength* dari 10,3 MPa menjadi 11,4 MPa.

Kata kunci: *Compatibilizer*, kopolimerisasi, PAN-co-PPMA, *natural rubber*, *nitrile butadiene rubber*.

ABSTRACT

Natural rubber (NR) and *Nitrile Butadiene Rubber* (NBR) exhibit poor miscibility due to their differences in their solubility parameters. To improve compatibility, a PAN-co-PMMA compatibilizer was synthesized by copolymerizing acrylonitrile (AN) and methyl methacrylate (MMA) with potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) as the initiator. This study investigates the effect of initiator concentration on the synthesis and characterization of PAN-co-PMMA, as well as to evaluate the tensile strength of the selected PAN-co-PMMA as a compatibilizer for rubber seal application. PAN-co-PMMA was synthesized using a water-ethanol at 65°C for 3 h with a stirring speed of 400 rpm, various initiator concentrations of 1, 2, 3, and 4% wt and an AN: MMA ratio of 90:10 (%wt). The characterization was using FTIR, and the tensile strength was evaluated for PAN-co-PMMA with an initiator 4%. IR analysis confirmed successful copolymerization through the appearance of characteristic C≡N and C=O absorption bands. The addition of PAN-co-PMMA enhanced the tensile strength from 10.3 MPa to 11.4 MPa.

Keywords: *Compatibilizer*, copolymerization, PAN-co-PMMA, *natural rubber*, *nitrile butadiene rubber*.

Copyright © 2026 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

How to cite: Megawati Fratiwi, Viona Aulia Rahmi, Sindi Wahyu Pratiwi, Maya Revanola Zainida, & Rofiqoh Nur Rohmah. *Synthesis of PAN-co-PMMA as a Compatibilizer in Blending Natural Rubber and Nitrile Butadiene Rubber: The Application in Blending Rubber Seal: Sintesis PAN-co-PMMA sebagai Compatibilizer pada Pencampuran Natural Rubber dan Nitrile Butadiene Rubber:Aplikasi dalam Pencampuran Karet Perapat*. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 10(1), 61–67.

Permalink/DOI: [10.32493/jitk.v10i1.55055](https://doi.org/10.32493/jitk.v10i1.55055)



PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi polimer telah berkembang pesat dan aplikasinya terus meningkat. Industri polimer mengembangkan polimer sintesis melalui proses polimerisasi dari monomer-monomer. Polimer dapat digunakan senyawa *compatibilizer* yang dibutuhkan dalam pencampuran karet alam dan karet sintesis. *Compatibilizer* berfungsi untuk menyatukan fase antar polimer menjadi homogen sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis, adhesi antar muka dan morfologi campuran yang baik dan mempercepat waktu pemasakan vulkanisat (Olonisakin et al., 2025).

Karet alam (NR) dan NBR tidak mudah dicampurkan karena memiliki parameter kelarutan yang berbeda. Parameter kelarutan NR yaitu $20,8 \text{ MPa}^{1/2}$ sedangkan NBR bervariasi sesuai kadar akrilonitrilnya. NBR memiliki parameter kelarutan sebesar $19,8 \text{ MPa}^{1/2}$ (Hansen, 2007). Perbedaan parameter kelarutan lebih dari $1 \text{ MPa}^{1/2}$ menunjukkan bahwa polimer NR dan NBR tidak kompatibel, sehingga untuk mencampurkan kedua jenis karet dibutuhkan *compatibilizer* yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis, ketahanan termal dan ketahanan minyak campuran NR/NBR. Polimer yang dapat digunakan sebagai *compatibilizer* adalah polimer yang memiliki kelarutan di antara NR dan NBR (Kinasih & Fathurrohman, 2016). Kandungan akrilonitril dalam NBR mampu meningkatkan ketahanannya terhadap pelarut non polar. *Polyacrylonitrile* (PAN) merupakan polimer yang terbentuk dari polimerisasi monomer akrilonitril yang memiliki sifat densitas rendah, sifat mekanis yang baik, kekuatan yang tinggi serta elastisitas yang besar dan bersifat polar sehingga memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap pelarut nonpolar seperti minyak (Liu et al., 2020). PAN tidak dapat berfungsi secara efektif sebagai *compatibilizer* tunggal karena kelarutannya lebih tinggi dibandingkan NR dan NBR (Liu et al., 2020) yaitu $26,2 \text{ MPa}^{1/2}$ (Hansen, 2007), sehingga PAN harus dipadukan dengan polimer yang mempunyai

parameter kelarutan yang lebih rendah atau setara dengan NR dan NBR seperti *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) yang mempunyai parameter kelarutan sebesar $19,0 \text{ MPa}^{1/2}$ (Hansen, 2007). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rasio monomer dapat mempengaruhi konversi serta sifat morfologi dari kopolimer akrilonitril (AN) dan metil metakrilat (MMA), pada sintesis *Polyacrylonitrile-co-Polymethylmethacrylate* (PAN-co-PMMA) dengan teknik precipitation polymerization, rasio AN:MMA yaitu 90:10 memberikan hasil konversi monomer yang lebih tinggi dibandingkan rasio lain, dan memperbaiki sifat kompatibilitas dengan matriks polimer lain (Eldin et al., 2014). Oleh karena itu, dalam penelitian ini menggunakan rasio AN:MMA adalah 90:10 untuk meningkatkan efektivitas *compatibilizer* dalam sistem campuran NR/NBR. Pada penelitian ini dilakukan sintesis *compatibilizer* PAN-co-PMMA untuk campuran NR dan NBR yang diproses secara kopolimerisasi menggunakan kalium persulfat sebagai inisiator. Reaksi dilakukan pada suhu 65°C selama 3 jam dengan menggunakan *co-solvent* air-ethanol. PAN-co-PMMA yang dihasilkan lalu digunakan dalam campuran NR/NBR pada pembuatan kompon karet perapatan. Karakterisasi yang dilakukan adalah FTIR, serta sifat mekanis dari campuran NR/NBR dan PAN-co-PMMA.

BAHAN DAN METODE

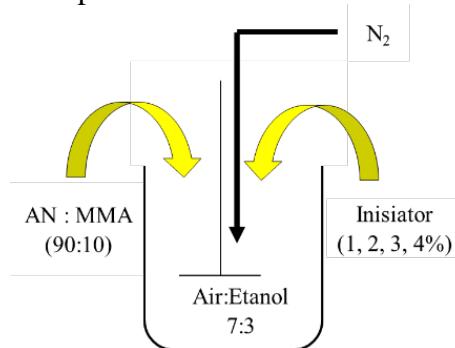
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah akrilonitril p.a, metil metakrilat, kalium persulfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), etanol, aquades.

1. Tahap Kopolimerisasi PAN-co-PMMA

Proses pembuatan PAN-co-PMMA merupakan suatu proses bergabungnya monomer-monomer yang mempunyai ikatan rangkap dengan adanya suatu pemicu berupa radikal bebas yang disebut inisiator. Inisiator yang digunakan adalah kalium persulfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) dengan variasi persen inisiator dari berat monomer yaitu (1%, 2%, 3%, 4%) dan variasi komposisi monomer dengan perbandingan AN:MMA (100:0, 90:10, 0:100) yang dipanaskan pada suhu 65°C



selama 3 jam dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Kopolimerisasi ini menggunakan *co-solvent* berupa campuran air-ethanol dengan perbandingan 7:3. Ilustrasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Larutan PAN-co-PMMA yang dihasilkan dari proses pencampuran lalu disaring untuk memisahkan padatan PAN-co-PMMA dari cairannya, padatan PAN-co-PMMA dikeringkan selama 3 jam pada suhu 100°C hingga diperoleh PAN-co-PMMA serbuk berwarna putih.



Sumber: (Fratiwi & Juwita, 2020)

Gambar 1. Kopolimerisasi PAN-co-PMMA

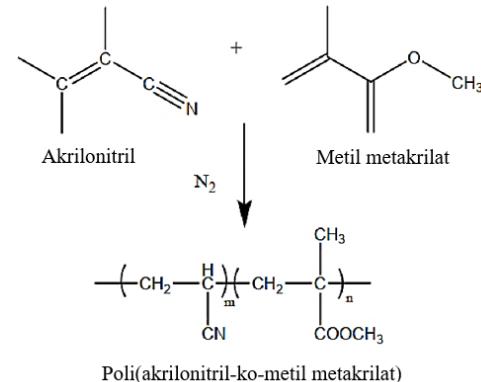
Pencampuran NR, NBR dan *compatibilizer* PAN-co-PMMA untuk pembuatan kompon karet menggunakan *two-roll mill (open mill)*. Proses pencampuran dilakukan pada suhu permukaan roll 60°C untuk mencegah terjadinya pra-vulkanisasi selama proses penggilingan. NR dan NBR digiling hingga homogen, kemudian PAN-co-PMMA ditambahkan secara bertahap ke dalam campuran. Kompon karet yang telah homogen lalu dicetak dan dilakukan proses vulkanisasi menggunakan *hot press* pada suhu 150°C selama 10-15 menit. Setelah proses pengepresan, sampel didinginkan pada suhu ruang sebelum dilakukan pengujian sifat mekanis.

2. Karakterisasi PAN-co-PMMA

Karakterisasi PAN-co-PMMA meliputi FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), uji sifat mekanis vulkanisat *compatibilizer* yaitu diaplikasikan pada pembuatan kompon karet perapat (*rubber seal*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

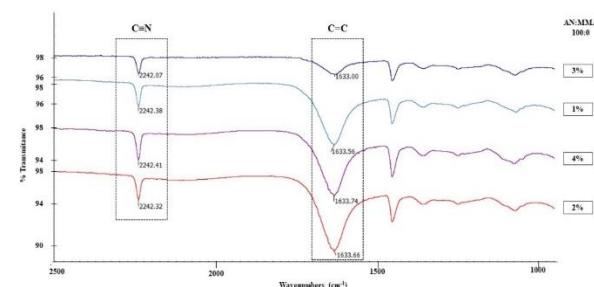
Kopolimerisasi PAN-co-PMMA diawali dengan memanaskan campuran co-solvent berupa air-ethanol dengan rasio 7:3 dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Komposisi monomer AN:MMA adalah 90:10. Penambahan monomer dilakukan saat suhu mencapai 65°C yaitu suhu optimum dekomposisi termal ketika kalium persulfat membentuk radikal bebas (Sonawane et al., 2022). Inisiator $K_2S_2O_8$ ditambahkan terus-menerus secara perlahan ke dalam reaktor untuk mengatur konsentrasi inisiator, laju polimerisasi dan laju pembentukan panas (Lovell & Schork, 2020). Mekanisme reaksi kopolimerisasi PAN-co-PMMA ditampilkan pada Gambar 2.



Sumber: (Gupta et al., 2016)

Gambar 2. Mekanisme kopolimerisasi PAN-co-PMMA

Karakterisasi PAN-co-PMMA dengan FTIR dilakukan untuk membuktikan terjadinya polimerisasi PAN-co-PMMA dari perubahan bilangan gelombang antara AN dan MMA dengan kopolimernya.

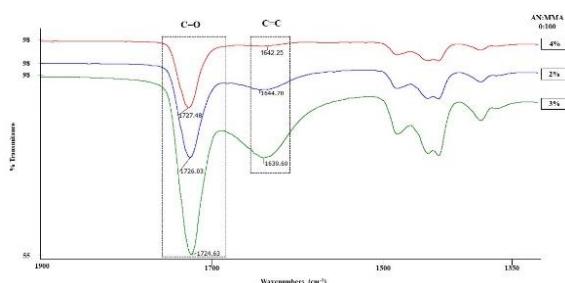


Gambar 3. Spektrum FTIR AN



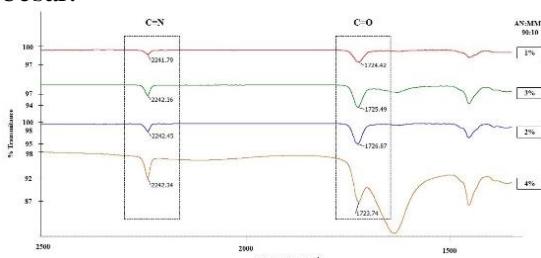
Spektrum monomer akrilonitril pada Gambar 3 menunjukkan adanya *peak* di daerah bilangan gelombang 2242,07 – 2242,41 cm⁻¹ yang menyatakan adanya ikatan rangkap C≡N sedangkan ikatan rangkap C=C terdapat pada daerah bilangan gelombang 1633,00 – 1633,74 cm⁻¹.

Berdasarkan Gambar 4 dapat diamati bahwa spektrum monomer MMA terdapat *peak* yang menunjukkan adanya ikatan rangkap C=O pada bilangan gelombang 1724,63 – 1727,48 cm⁻¹ sedangkan ikatan rangkap C=C di daerah bilangan gelombang 1639,60-1644,70 cm⁻¹. Pada perbandingan AN:MMA dengan komposisi 0: 100 saat konsentrasi inisiator 4% menunjukkan adanya ikatan rangkap C=C yang hilang. Hal ini mengindikasikan bahwa proses polimerisasi telah berlangsung pada gugus ikatan rangkap C=C yang terdapat pada monomer MMA.



Gambar 4. Spektrum FTIR MMA

Pada Gambar 5 menunjukkan telah terjadi kopolimerisasi dari monomer akrilonitril dan metil metakrilat pada PAN-co-PMMA dengan komposisi AN:MMA yaitu 90:10. Selain ditinjau dari hilangnya *peak* yang menunjukkan ikatan rangkap C=C, dapat diamati pula bahwa terdapat pergeseran panjang gelombang dari ikatan C≡N ke arah bilangan gelombang yang lebih besar.



Gambar 5. Spektrum FTIR PAN-co-PMMA

Hal ini dapat diamati pada Gambar 3, monomer akrilonitril saat konsentrasi inisiator 4% memiliki panjang gelombang C≡N adalah 2242,41 cm⁻¹ sedangkan pada PAN-co-PMMA yang ditampilkan pada Gambar 5 memiliki panjang gelombang C≡N sebesar 2242,34 cm⁻¹. Pergeseran panjang gelombang tersebut terjadi akibat berlangsungnya reaksi polimerisasi pada ikatan rangkap C=C dalam akrilonitril, yang mengakibatkan hilangnya sistem ikatan rangkap terkonjugasi dan dapat meningkatkan energi yang diperlukan untuk terjadinya vibrasi peregangan (*stretching*) pada gugus C≡N (Kuswatiningsih, 2010).

Tabel 1. Data Inisiator terhadap Transmision PAN-co-PMMA

Komposisi AN:MMA	Inisiator (%)	Transmision (%)	
		PAN (C≡N)	PMMA (C=O)
90:10	1	98,86	97,15
	2	98,03	95,35
	3	97,06	94,55
	4	92,25	87,13

Dari Tabel 1 dapat diamati bahwa inisiator berpengaruh terhadap transmision. Pada perbandingan AN:MMA dengan komposisi 90:10 menunjukkan bahwa transmision cenderung menurun dengan bertambahnya konsentrasi inisiator. Transmision PAN lebih besar dibandingkan PMMA, hal ini dapat dilihat pada komposisi 90:10 dengan inisiator 2%, PAN memiliki transmision sebesar 98,03% sedangkan PMMA sebesar 95,35%. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi yang diserap oleh PAN sebesar 1,97% sedangkan PMMA 4,65%. Nilai transmision menunjukkan kepekatan dari sampel (Jundullah, 2016). Hal ini terbukti bahwa PAN-co-PMMA yang dihasilkan saat inisiator 4% lebih mengental dan terbentuk endapan (butiran halus) dibandingkan saat 2% sehingga rendahnya nilai transmision menunjukkan semakin kentalnya PAN-co-PMMA yang dihasilkan. Berdasarkan spektrum IR menunjukkan bahwa telah terjadi kopolimerisasi PAN-co-PMMA, hal ini ditandai dengan adanya ikatan rangkap



C≡N dan C=O yang menunjukkan bahwa PAN dan PMMA telah bergabung membentuk kopolimerisasi.

Tabel 2. Hasil Uji Vulkanisat sesuai SNI 7655:2010

Sifat Fisik	Syarat Mutu	Hasil	
		NR/ NBR	NR/NBR + PAN-co- PMMA
Hardness, Shore A	60±5	44	45
Tensile Strength, MPa	Min. 10	10,3	11,4
Elongation at break, %	Min. 300	620	620
Compression set, at 27°C, 72 hrs, %	Maks. 10	8,29	8,00

Pembuatan *rubber seal* dengan cara mencampurkan NR, NBR, dan PAN-co-PMMA konsentrasi inisiator 4%. Hal ini dilakukan saat inisiator 4% menghasilkan rendemen PAN-co-PMMA yang lebih besar. Meningkatnya nilai rendemen dapat disebabkan saat kadar K₂S₂O₈ yang digunakan semakin besar sehingga lebih cepat terjadi radikal bebas. Semakin besar konsentrasi inisiator maka semakin banyak pula radikal bebas yang terbentuk, sehingga ketidakstabilan ikatan rangkap C=C pada monomer menyebabkan mudah bereaksi dengan elektron yang tidak berpasangan pada radikal bebas (Husni, 2008).

Pengujian sifat mekanis vulkanisat karet perapat pada tabung gas LPG berdasarkan SNI 7655:2010 tentang *rubber seal*. Karakterisasi sifat mekanis vulkanisat meliputi kekerasan (*hardness*), kuat tarik (*tensile strength*), perpanjangan putus (*elongation at break*), dan pampatan tetap (*compression set*). Evaluasi sifat mekanis dilakukan untuk mengetahui interaksi antar muka antara fase NR dan NBR. Hasil uji vulkanisat dari kompon karet perapat ditampilkan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh parameter pengujian *rubber seal* telah memenuhi ketentuan dalam SNI 7655:2010, dengan pengecualian pada

parameter *hardness* yang menunjukkan nilai lebih rendah dibandingkan standar mutu yang dipersyaratkan. Pada Tabel 2 dapat diamati bahwa *hardness* dan *elongation at break* tidak mengalami perubahan nilai signifikan ketika adanya penambahan *compatibilizer*, hal ini disebabkan oleh interaksi yang terjadi antara campuran NR dan NBR yang bersifat fisik, serta adanya perbedaan karakteristik antarmuka gugus polimer, meskipun keduanya telah dihubungkan melalui penggunaan *compatibilizer* (Waryat et al., 2013). Selain itu juga disebabkan tidak menggunakan *filler* dalam vulkanisasi *rubber seal* sehingga nilai *hardness* tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Peningkatan nilai kekerasan yang dihasilkan dari penambahan *compatibilizer* cenderung relatif kecil atau tidak signifikan dibandingkan dengan penguatan yang diberikan oleh *filler* seperti *carbon black* dan silika (Rattanasom et al., 2007). Oleh karena itu penggunaan *compatibilizer* PAN-co-PMMA saja tidak dapat meningkatkan *hardness* sehingga diperlukan *filler* untuk meningkatkan sifat mekanis karet.

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa adanya penambahan *compatibilizer* pada campuran NR dan NBR dapat menaikkan nilai *tensile strength* dari 10,3 MPa menjadi 11,4 MPa. Peningkatan ini mengindikasikan adanya perbaikan interaksi antar muka antara fase NR dan NBR, yang memungkinkan transfer tegangan yang lebih efektif selama pembebahan tarik. Namun demikian, keberhasilan kompatibilitas PAN-co-PMMA hanya ditinjau dari sifat mekanis *tensile strength*. Studi lanjutan dengan karakterisasi morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) diperlukan untuk mengetahui secara langsung pengaruh PAN-co-PMMA terhadap ukuran dan distribusi domain NBR dalam matriks NR.

KESIMPULAN

Sintesis PAN-co-PMMA sebagai *compatibilizer* dalam campuran NR dan NBR menunjukkan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi inisiator maka akan meningkatkan padatan PAN-co-



PMMA. Transmision FTIR PAN dan PMMA menurun dengan bertambahnya konsentrasi inisiator, sehingga menunjukkan telah terjadi kopolimerisasi PAN-co-PMMA karena terdapat ikatan rangkap C≡N dan C=O yang menunjukkan bahwa PAN dan PMMA telah bergabung membentuk kopolimerisasi. Penambahan *compatibilizer* PAN-co-PMMA dapat menaikkan nilai *tensile strength* dari 10,3 MPa menjadi 11,4 Mpa, namun demikian perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang analisis morfologi menggunakan SEM untuk mengetahui ukuran dan distribusi domain NBR dalam matriks NR.

DAFTAR PUSTAKA

- Eldin, M. . M., Elaassar, M. ., Elzatahry, A. ., & Al-Sabah, M. M. B. (2014). Poly (acrylonitrile-co-methyl methacrylate) nanoparticles : I . Preparation and characterization. *Arabian Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.10.037>
- Fratiwi, M., & Juwita, D. (2020). *Pembuatan PAN-co-PMMA sebagai Compatibilizer pada Pencampuran Natural Rubber dan Nitrile Butadiene Rubber*. Universitas Sriwijaya.
- Gupta, N., Rai, R., Sikder, A., Nandi, S., Tanwar, A., Khatokar, R., Pask, S. D., & Mitra, S. (2016). Design and development of a poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) copolymer to improve the viscoelastic and surface properties critical to scratch resistance. *RSC Advances*, 6, 37933–37937. <https://doi.org/10.1039/c5ra22264h>
- Hansen, C. M. (2007). *Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Husni, D. A. (2008). *Ikat Silang Selulosa dengan N , N '-metilendialkrilamida (NBA) sebagai Matriks Pencangkokan Monomer Akrilamida (AAm) dan Glisidil Metakrilat-Asam Iminodiasetat (GMA-IDA) dengan Teknik Ozonasi*. Universitas Indonesia.
- Kinasih, N. A., & Fathurrohman, M. I. (2016). Ketahanan n-pentana dan sifat mekanis vulkanisat karet perapat dari campuran karet alam/akrilonitril-butadiena dengan kompatibilisir. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 32(2), 99–110. <https://doi.org/10.20543/mkkp.v32i2.1013>
- Liu, Q., Xu, N., Fan, L., Ding, A., & Dong, Q. (2020). Polyacrylonitrile (PAN)/TiO₂ mixed matrix membrane synthesis by thermally induced self-crosslinking for thermal and organic-solvent resistant filtration. *Chemical Engineering Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115993>
- Lovell, P. A., & Schork, F. J. (2020). Fundamentals of Emulsion Polymerization. *Biomacromolecules*, 21(11), 4396–4441. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00769>
- Olonisakin, K., Mohanty, A. K., Thimmanagari, M., & Misra, M. (2025). Recent advances in biodegradable polymer blends and their biocomposites: a comprehensive review. *Green Chemistry*, 27(38), 11656–11704. <https://doi.org/10.1039/d5gc01294e>
- Rattanasom, N., Saowapark, T., & Deeprasertkul, C. (2007). Reinforcement of natural rubber with silica / carbon black hybrid filler. *Polymer Testing*, 26, 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.12.003>
- Sonawane, S., Rayaroth, M. P., Landge, V. K., Fedorov, K., & Boczkaj, G. (2022). Thermally activated persulfate-based Advanced Oxidation Processes — recent progress and challenges in mineralization of persistent organic chemicals: a review. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 37(3), 100839. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100839>
- Waryat, Romli, M., Suryani, A., Yuliasih, I., & Johan, S. (2013). Penggunaan Compatibilizer untuk Meningkatkan



- Karakteristik Morfologi, Fisik dan Mekanik Plastik Biodegradable Berbahan Baku Pati Termoplastik Polietilen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(3), 214–221.
- Eldin, M. . M., Elaassar, M. ., Elzatahry, A. ., & Al-Sabah, M. M. B. (2014). Poly (acrylonitrile-co-methyl methacrylate) nanoparticles : I . Preparation and characterization. *Arabian Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.10.037>
- Fratiwi, M., & Juwita, D. (2020). *Pembuatan PAN-co-PMMA sebagai Compatibilizer pada Pencampuran Natural Rubber dan Nitrile Butadiene Rubber*. Universitas Sriwijaya.
- Gupta, N., Rai, R., Sikder, A., Nandi, S., Tanwar, A., Khatokar, R., Pask, S. D., & Mitra, S. (2016). Design and development of a poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) copolymer to improve the viscoelastic and surface properties critical to scratch resistance. *RSC Advances*, 6, 37933–37937. <https://doi.org/10.1039/c5ra22264h>
- Hansen, C. M. (2007). *Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Husni, D. A. (2008). *Ikat Silang Selulosa dengan N , N '-metilendiakrilamida (NBA) sebagai Matriks Pencangkokan Monomer Akrilamida (AAm) dan Glisidil Metakrilat-Asam Iminodiasetat (GMA-IDA) dengan Teknik Ozonasi*. Universitas Indonesia.
- Kinasih, N. A., & Fathurrohman, M. I. (2016). Ketahanan n-pentana dan sifat mekanis vulkanisasi karet perapat dari campuran karet alam/akrilonitril-butadiena dengan kompatibilisasi. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 32(2), 99–110. <https://doi.org/10.20543/mkkp.v32i2.1013>
- Liu, Q., Xu, N., Fan, L., Ding, A., & Dong, Q. (2020). Polyacrylonitrile (PAN)/TiO₂ mixed matrix membrane synthesis by thermally induced self-crosslinking for thermal and organic-solvent resistant filtration. *Chemical Engineering Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115993>
- Lovell, P. A., & Schork, F. J. (2020). Fundamentals of Emulsion Polymerization. *Biomacromolecules*, 21(11), 4396–4441. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00769>
- Olonisakin, K., Mohanty, A. K., Thimmanagari, M., & Misra, M. (2025). Recent advances in biodegradable polymer blends and their biocomposites: a comprehensive review. *Green Chemistry*, 27(38), 11656–11704. <https://doi.org/10.1039/d5gc01294e>
- Rattanasom, N., Saowapark, T., & Deeprasertkul, C. (2007). Reinforcement of natural rubber with silica / carbon black hybrid filler. *Polymer Testing*, 26, 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.12.003>
- Sonawane, S., Rayaroth, M. P., Landge, V. K., Fedorov, K., & Boczkaj, G. (2022). Thermally activated persulfate-based Advanced Oxidation Processes — recent progress and challenges in mineralization of persistent organic chemicals: a review. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 37(3), 100839. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100839>
- Waryat, Romli, M., Suryani, A., Yuliasih, I., & Johan, S. (2013). Penggunaan Compatibilizer untuk Meningkatkan Karakteristik Morfologi, Fisik dan Mekanik Plastik Biodegradable Berbahan Baku Pati Termoplastik Polietilen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(3), 214–221.