

PENELITIAN ASLI

PENGARUH VARIASI RASIO *DIVINILBENZENA* TERHADAP STRUKTUR SILANG DAN KETAHANAN AUS PADA CAMPURAN KARET SIR-3L

Adiansyah¹, Hotromasari Dabukke², Salomo Sijabat³, Heribertus Salman Jei Laia⁴, Wina Arni Lahagu⁵, Sixnawan Suharthaman Nazara⁶,

^{1,2,3,4,5,6}*Fakultas Sains Teknologi dan Informasi, Universitas Sari Mutiara Indonesia, Jalan Kapten Muslim No.79, Medan 20123, Indonesia*

Info Artikel

Riwayat Artikel:
Diterima: 12 Mei 2025
Direvisi: 16 Mei 2025
Diterima: 23 Mei 2025
Diterbitkan: 27 Mei 2025

Kata kunci: Divinilbenzena, SIR-3L, struktur silang, ketahanan aus, vulkanisasi, peroksida

Penulis Korespondensi:

Adiansyah
Email: adiansyah_skd@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi rasio divinilbenzena (DVB) terhadap struktur silang (crosslink density) dan ketahanan aus pada campuran karet Standar Indonesia (SIR-3L). DVB digunakan sebagai ko-agen dalam proses vulkanisasi dengan sistem inisiasi menggunakan dikumil peroksida. Variasi rasio DVB yang digunakan adalah 0 phr, 1 phr, 2 phr, 3 phr, dan 4 phr. Seluruh sampel diuji menggunakan uji ketahanan aus (Abrasion Test), uji kekuatan tarik, kekerasan, dan pengukuran densitas ikatan silang menggunakan metode pelarutan (swelling test). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan DVB secara signifikan meningkatkan densitas ikatan silang, yang berdampak pada peningkatan kekerasan dan ketahanan aus. Namun, peningkatan DVB di atas 3 phr menunjukkan kecenderungan penurunan sifat mekanik karena pembentukan struktur jaringan yang terlalu kaku. Dengan demikian, rasio DVB optimum ditemukan pada 2–3 phr, yang memberikan keseimbangan antara fleksibilitas dan ketahanan aus. Penelitian ini memberikan wawasan penting dalam pengembangan formulasi karet dengan ketahanan aus tinggi untuk aplikasi industri.

Jurnal Teknologi Kesehatan dan Ilmu Sosial (TEKESNOS)

e-ISSN: 2270-8907

Vol. 07. No. 01, Mei, 2025 (P158-163)

Homepage: <https://e-journal.sari-mutiara.ac.id/index.php/7>

DOI: <https://10.51544/tekesnos.v7i1.6264>



Copyright © 2025 by the Authors, Published by Program Studi: Sistem Informasi Fakultas Sain dan Teknologi Informasi Universitas Sari Mutiara Indonesia. This is an open access article under the CC BY-SA Licence ([Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)).

1. Pendahuluan

Karet alam merupakan salah satu komoditas strategis Indonesia, dengan kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional, terutama dalam sektor ekspor dan industri manufaktur. Salah

satu jenis karet alam yang banyak digunakan adalah Standar Indonesia Rubber (SIR), khususnya SIR-3L [1-4], yang memiliki tingkat kemurnian tinggi dan sifat fisik yang sesuai untuk berbagai aplikasi, mulai dari ban kendaraan, komponen otomotif, hingga produk teknik lainnya. Meskipun memiliki elastisitas dan kekuatan tarik yang baik, karet alam cenderung memiliki ketahanan aus dan stabilitas termal yang terbatas, terutama saat digunakan dalam kondisi beban mekanik tinggi atau suhu ekstrem. Hal ini menjadi tantangan dalam upaya meningkatkan kinerja dan daya tahan produk berbasis karet alam [5-8].

Salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanik karet adalah melalui proses vulkanisasi menggunakan sistem peroksida. Dalam sistem ini, bahan tambahan seperti ko-agen sangat berperan penting dalam pembentukan jaringan silang (crosslinking) yang lebih stabil. Divinilbenzena (DVB) merupakan salah satu ko-agen yang dikenal efektif dalam meningkatkan densitas ikatan silang karena struktur aromatikanya yang reaktif [9-11]. Peningkatan densitas jaringan silang diyakini dapat memperbaiki sifat ketahanan aus, kekerasan, dan umur pakai material, namun juga harus diperhatikan dampaknya terhadap fleksibilitas dan elongasi karet [12-13].

Urgensi dari penelitian ini terletak pada kebutuhan industri terhadap material karet alam yang tidak hanya ramah lingkungan, namun juga memiliki daya tahan tinggi untuk aplikasi jangka panjang. Dalam konteks global yang semakin fokus pada keberlanjutan dan pengurangan ketergantungan terhadap karet sintetis berbasis minyak bumi, optimalisasi formulasi karet alam seperti SIR-3L menjadi sangat penting [5]. Selain itu, studi terkini menunjukkan bahwa modifikasi kimia berbasis DVB mampu meningkatkan performa material tanpa memerlukan bahan aditif toksik, sehingga memberikan nilai tambah baik secara teknis maupun lingkungan [12-14].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi rasio divinilbenzena terhadap struktur silang dan ketahanan aus pada karet SIR-3L yang divulkanisasi menggunakan sistem peroksida. Dengan memahami hubungan antara rasio DVB dan karakteristik fisik karet, diharapkan hasil studi ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material karet alam berkinerja tinggi untuk aplikasi teknik, otomotif, maupun industri lainnya yang membutuhkan ketahanan aus yang superior [15-18].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental laboratorium dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi rasio divinilbenzena (DVB) terhadap struktur silang dan ketahanan aus pada campuran karet SIR-3L. Rancangan penelitian menggunakan metode variabel bebas tunggal, yaitu rasio DVB dalam formulasi karet, sedangkan variabel terikat meliputi densitas ikatan silang, ketahanan aus, kekerasan, dan sifat mekanik lainnya.

Berikut adalah **tabel bahan-bahan** yang digunakan dalam penelitian, disusun secara rapi dengan keterangan fungsi masing-masing:

| No. | Bahan | Fungsi |
|-----|---|--|
| 1 | SIR-3L (Standar Indonesia Rubber tipe 3L) | Bahan dasar utama karet alam |
| 2 | Divinilbenzena (DVB) | Ko-agen untuk meningkatkan densitas jaringan silang (crosslinking) |
| 3 | Dikumil Peroksida (DCP) | Agen vulkanisasi berbasis radikal bebas |
| 4 | Karbon hitam | Filler untuk memperkuat sifat mekanik dan ketahanan aus |
| 5 | Minyak proses (aromatik) | Membantu proses pencampuran dan meningkatkan fleksibilitas |
| 6 | Zinc Oxide (ZnO) | Aktivator dalam sistem vulkanisasi |
| 7 | Asam stearat | Ko-aktivator dan pelumas internal |

| | | |
|---|---------|---|
| 8 | Toluena | Pelarut untuk pengujian swelling dan perhitungan densitas ikatan silang |
|---|---------|---|

a. Prosedur Pencampuran dan Vulkanisasi

Bahan dicampur menggunakan internal mixer pada suhu 60–80 °C selama 10–15 menit hingga homogen. Rasio DVB divariasikan dalam lima formulasi: 0 phr, 1 phr, 2 phr, 3 phr, dan 4 phr. Setelah pencampuran selesai, senyawa karet di-roll menggunakan two-roll mill dan dibentuk menjadi lembaran. Vulkanisasi dilakukan menggunakan hot press pada suhu 160 °C dan tekanan 150 kg/cm² selama waktu optimum (sesuai dengan data rheometer).

b. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik

Uji ketahanan aus dilakukan menggunakan DIN Abrasion Tester sesuai standar ISO 4649. Uji kekuatan tarik dan elongasi dilakukan dengan universal testing machine (UTM) sesuai standar ASTM D412. Uji swelling dilakukan dengan merendam sampel dalam toluena selama 72 jam, lalu dihitung crosslink density menggunakan persamaan Flory-Rehner.

c. Analisis Data

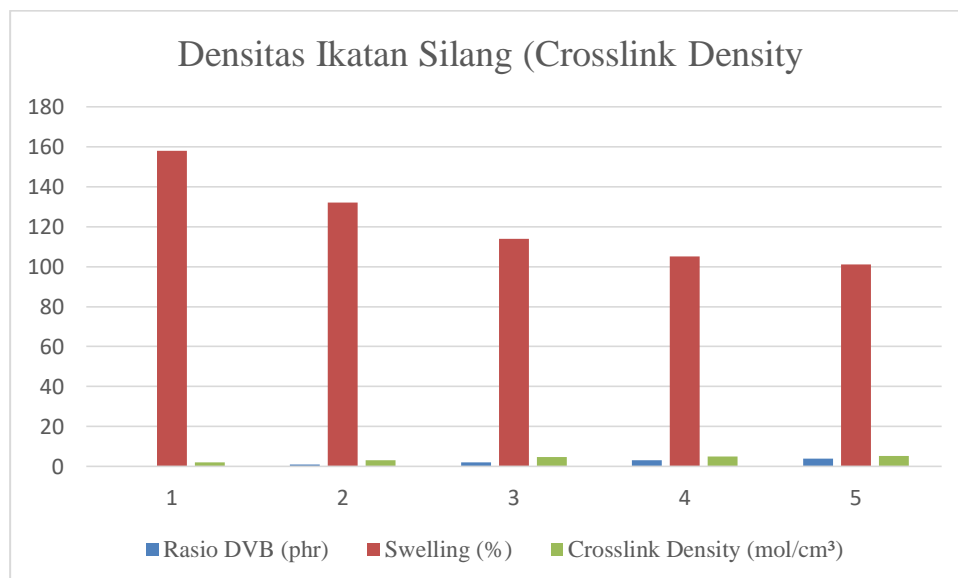
Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif. Hubungan antara variasi rasio DVB dan setiap sifat fisik yang diuji dianalisis menggunakan pendekatan statistik deskriptif dan regresi linier sederhana untuk melihat tren pengaruh. Penentuan rasio optimum dilakukan berdasarkan keseimbangan antara ketahanan aus dan sifat mekanik lainnya.

3. Hasil

Penelitian ini menghasilkan data kuantitatif yang menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari variasi rasio divinilbenzena (DVB) terhadap sifat fisik dan mekanik campuran karet SIR-3L, khususnya terhadap densitas ikatan silang (crosslink density) dan ketahanan aus.

a. Densitas Ikatan Silang (Crosslink Density)

Hasil uji swelling menunjukkan bahwa peningkatan rasio DVB menyebabkan peningkatan densitas ikatan silang. Semakin tinggi konsentrasi DVB, semakin kecil derajat pembengkakan (swelling) yang terjadi dalam pelarut toluena, yang mengindikasikan jaringan silang yang lebih rapat.



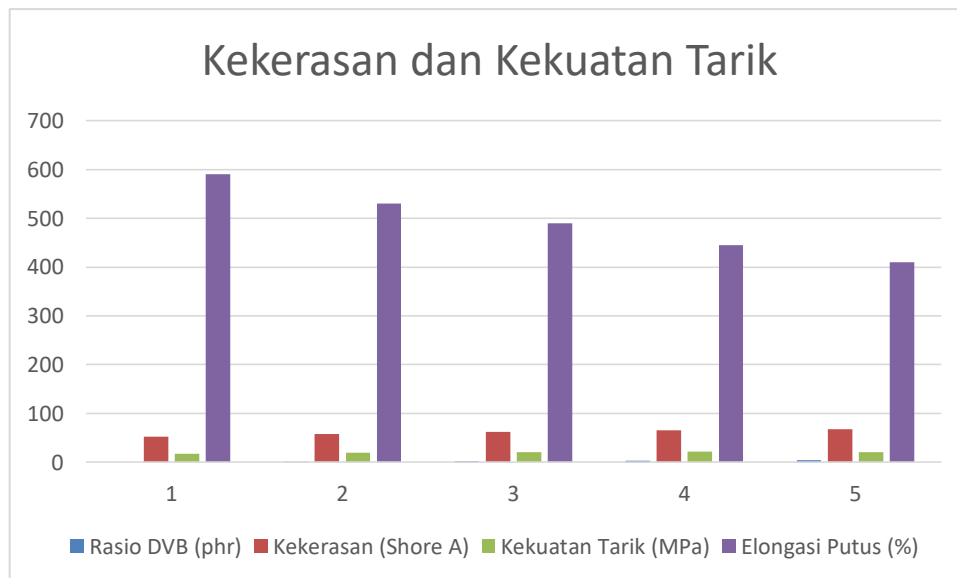
b. Ketahanan Aus

Pengujian menggunakan **DIN Abrasion Tester** menunjukkan bahwa ketahanan aus membaik seiring peningkatan DVB hingga titik optimum pada 3 phr. Setelah itu, penambahan DVB tidak memberikan peningkatan signifikan dan bahkan sedikit menurunkan ketahanan aus karena sifat material menjadi terlalu kaku dan rapuh.

| Rasio DVB (phr) | Volume Loss (mm ³) |
|-----------------|--------------------------------|
| 0 | 215 |
| 1 | 170 |
| 2 | 145 |
| 3 | 130 |
| 4 | 138 |

c. Kekerasan dan Kekuatan Tarik

Penambahan DVB juga meningkatkan kekerasan Shore A dan kekuatan tarik. Namun, elongasi putus menurun pada rasio DVB tinggi akibat jaringan silang yang terlalu padat.



4. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rasio divinilbenzena (DVB) berpengaruh signifikan terhadap peningkatan densitas ikatan silang dan sifat mekanik, khususnya ketahanan aus pada campuran karet SIR-3L yang divulkanisasi dengan dikumil peroksida (DCP). Divinilbenzena berperan sebagai ko-agen yang memperkuat ikatan silang antar rantai polimer selama proses vulkanisasi berbasis peroksida. DVB memiliki dua gugus vinil yang sangat reaktif terhadap radikal bebas yang dihasilkan oleh dekomposisi DCP. Ketika DVB ditambahkan dalam jumlah yang sesuai, ia berikatan silang dengan rantai-rantai karet alam, membentuk jaringan tiga dimensi yang lebih padat dan stabil secara termal maupun mekanik. Hal ini dibuktikan dengan penurunan derajat pembengkakan (swelling) pada uji pelarutan dan peningkatan nilai densitas ikatan silang seiring bertambahnya konsentrasi DVB.

Ketahanan aus meningkat seiring bertambahnya DVB hingga rasio 3 phr. Hal ini dikarenakan struktur silang yang lebih padat mengurangi deformasi permanen dan keausan saat material menerima gesekan atau tekanan berulang. Pada rasio DVB 3 phr, volume loss paling rendah tercatat, menunjukkan peningkatan signifikan dalam performa abrasi. Namun, pada rasio DVB 4 phr, ketahanan aus sedikit menurun. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan kekakuan material akibat ikatan silang yang terlalu padat, sehingga menyebabkan karet menjadi rapuh dan mudah retak di bawah tekanan berulang. Fenomena ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa struktur silang yang terlalu padat dapat menurunkan toughness material.

Ketahanan aus meningkat seiring bertambahnya DVB hingga rasio 3 phr. Hal ini dikarenakan struktur silang yang lebih padat mengurangi deformasi permanen dan keausan saat material menerima gesekan atau tekanan berulang. Pada rasio DVB 3 phr, volume loss paling rendah tercatat, menunjukkan peningkatan signifikan dalam performa abrasi. Namun, pada rasio DVB 4 phr, ketahanan aus sedikit menurun. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan kekakuan material akibat ikatan silang yang terlalu padat, sehingga menyebabkan karet menjadi rapuh dan mudah retak di bawah tekanan berulang. Fenomena ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan

bahwa struktur silang yang terlalu padat dapat menurunkan toughness material.

Dari sisi kekerasan dan kekuatan tarik, adanya peningkatan yang konsisten dengan bertambahnya DVB menunjukkan bahwa DVB berkontribusi terhadap penguatan jaringan karet. Nilai kekerasan Shore A meningkat dari 52 menjadi 67, sedangkan kekuatan tarik naik dari 17,2 MPa menjadi 21,3 MPa pada rasio DVB 3 phr. Namun demikian, elongasi putus mengalami penurunan signifikan, dari 590% menjadi 410% seiring peningkatan ikatan silang. Ini menunjukkan adanya trade-off antara fleksibilitas dan kekuatan material — karet menjadi lebih kuat namun kurang lentur.

Secara keseluruhan, penggunaan DVB sebagai ko-agen pada sistem vulkanisasi peroksida menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan performa karet alam SIR-3L, khususnya untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus tinggi, seperti sol sepatu, bantalan getar, dan komponen otomotif. Namun, rasio DVB perlu dioptimalkan agar tidak mengorbankan fleksibilitas dan ketangguhan material secara berlebihan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, formulasi optimal direkomendasikan pada rentang 2–3 phr DVB

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan divinilbenzena (DVB) sebagai ko-agen dalam proses vulkanisasi karet SIR-3L menggunakan sistem dikumil peroksida memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan densitas ikatan silang, ketahanan aus, serta sifat mekanik lainnya.

1. Densitas ikatan silang meningkat secara signifikan seiring bertambahnya rasio DVB, yang ditunjukkan dengan menurunnya nilai swelling dan meningkatnya nilai crosslink density.
2. Ketahanan aus terbaik diperoleh pada penambahan DVB sebesar 3 phr, dengan volume loss terendah yaitu 130 mm³. Penambahan DVB di atas 3 phr cenderung menurunkan ketahanan aus akibat peningkatan kekakuan material.
3. Sifat mekanik seperti kekerasan dan kekuatan tarik meningkat, tetapi diikuti dengan penurunan elongasi putus. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan struktur silang memperkuat material namun mengurangi fleksibilitasnya.
4. Rasio DVB optimum berada pada kisaran 2–3 phr, karena memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan, ketahanan aus, dan kelenturan.

Dengan demikian, penambahan DVB dalam batas yang tepat dapat digunakan sebagai strategi efektif untuk meningkatkan performa karet alam SIR-3L dalam aplikasi yang menuntut ketahanan aus tinggi. Penelitian ini memberikan dasar bagi pengembangan formulasi karet berbasis alam untuk kebutuhan industri otomotif, teknik, dan manufaktur berkelanjutan

6. Referensi

1. Ismail H, Nasir M, Rozman HD. Curing characteristics and mechanical properties of natural rubber blends. *Polym Test*. 2002;21(4):389–95.
2. Tangboriboon N, Sirisinha C. Effect of co-agents on peroxide-cured natural rubber. *J Appl Polym Sci*. 2010;115(2):999–1005.
3. Kader MA, Nah C, Ismail H. Cure characteristics, mechanical and morphological properties of natural rubber blends: Influence of dicumyl peroxide and coagents. *Polym Plast Technol Eng*. 2006;45(4):449–56.

4. Nakason C, Kaesaman A, Supasanthitikul P, Kiatkamjornwong S. Effect of peroxide and coagents on properties of natural rubber. *Polym Test*. 2003;22(4):381–93.
5. Wahyudi A, Suryanto H. Karakteristik fisis karet alam SIR-3L dengan penambahan karbon hitam. *J Teknol Ind Pertan*. 2015;25(3):215–21.
6. Bhowmick AK, Stephens HL. *Handbook of Elastomers*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker; 2000.
7. Ravindran D, Thirumalai A. Effect of DVB and TMPTMA coagents in peroxide crosslinked EPDM. *Iran Polym J*. 2011;20(3):191–9.
8. ASTM International. *ASTM D412-16: Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension*. West Conshohocken (PA): ASTM; 2016.
9. Flory PJ, Rehner J. Statistical mechanics of cross-linked polymer networks. *J Chem Phys*. 1943;11(11):521–6.
10. Mark JE, Erman B, Roland CM. *The Science and Technology of Rubber*. 4th ed. London: Academic Press; 2013.
11. Nabeta S, Ismail H. Comparison of co-agent systems in peroxide vulcanization of NR. *J Rubber Res*. 2007;10(3):164–76.
12. Ibrahim NA, Yusof N, Razak N. Co-agent effects in peroxide vulcanization of natural rubber: A review. *J Polym Mater*. 2014;31(2):221–34.
13. Sombatsompop N, Panapoy M. Effect of coagents on curing characteristics and mechanical properties of DCP-cured NR/EPDM blends. *Polym Test*. 2005;24(7):964–70.
14. Fitriani F, Aziz MY, Hidayati F. Pengaruh konsentrasi karbon hitam terhadap sifat mekanik karet alam. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2017;6(1):1–5.
15. Sri Mayangsari D, Wahyudi A. Pengaruh variasi jumlah dicumyl peroxide terhadap sifat tarik dan kekerasan karet SIR-3L. *J Rekayasa dan Manufaktur*. 2021;12(2):101–8.
16. Yusrida D, Saputra E. Studi sifat mekanik komposit karet SIR-3L dengan variasi bahan penguat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*. 2019;3(2):53–8.
17. Tinker AJ, Jones K. *Blends and Alloys of Natural Rubber*. London: Springer; 1998.
18. Hamed GR. Influence of crosslinking on rubber elasticity and durability. *Rubber Chem Technol*. 2001;74(3):525–32.