

OBSERVASI TIPE DAN EVALUASI FAKTOR PENYEBAB KERUSAKAN SUKU CADANG SLOW MOVING BERBAHAN KARET SELAMA PENYIMPANAN

Observation on Type of Damage and Factor Causing Damage to Rubber Based Slow Moving Spare Part During Storage Period

Muhammad Irfan Fathurrohman, Santi Puspitasari, Asron Ferdian Falaah, dan Anwar Tavip

Unit Bogor Getas, PT Riset Perkebunan Nusantara,
Jalan Salak Nomor 1A Bogor 16128 Jawa Barat
Email: santi.puspitasari.ppk@gmail.com

Diterima 23 Oktober 2025 / Direvisi 20 Desember 2025 / Disetujui 27 Desember 2025

Abstrak

Manajemen inventaris stok barang merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap optimalisasi proses bisnis suatu perusahaan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tipe kerusakan dan faktor penyebab kerusakan produk *slow moving* berbahan karet selama penyimpanan. Gudang persediaan lokasi penelitian berada di Kota Yogyakarta, Surabaya, dan Lahat. Analisis tipe kerusakan dilakukan secara kuantitatif dengan mengukur kondisi iklim lingkungan di sekitar gudang persediaan dan tingkat perubahan kekerasan produk. Analisis juga dilakukan secara kualitatif dengan mengobservasi tingkat elastisitas, perubahan warna, munculnya retakan atau sobek, dan timbulnya bercak di permukaan produk karet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebanyak 847 buah dari total 969 buah produk atau sekitar 87% suku cadang *slow moving* berbahan karet mengalami kerusakan selama masa penyimpanan, terutama produk yang berukuran kecil, tipis, dan tidak dikemas dengan baik. Jenis kerusakan didominasi dengan timbulnya bercak sebesar 64%, peningkatan kekerasan sebesar 52%, kehilangan elastisitas sebesar 52% dan retak permukaan sebesar 16%. Kerusakan tersebut disebabkan karena paparan ozon dan produk mengalami penuaan oksidatif panas yang dipicu oleh suhu dan kelembaban tinggi di lokasi Gudang persediaan pada suhu di

kisaran 22 – 35°C dan kelembaban 70-80%. Dengan demikian dapat diketahui bahwa kerusakan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet selama penyimpanan dapat dipicu oleh kondisi lingkungan gudang yang tidak ideal.

Kata kunci: Analisis kerusakan, inventori *slow moving*, penuaan oksidatif panas, produk karet, suku cadang

Abstract

Inventory management is one of factors that influence optimization of a company business process. The research was aimed to identify the types of damage and factors causing damage on slow moving rubber based product during storage. Warehouse were located in Yogyakarta, Surabaya, and Lahat. Analysis on damage type was carried out quantitatively by measuring the environmental condition and level of hardness change in the product. Analysis was also conducted qualitatively by observing the level of elasticity, color changes, the appearance of cracks and bloom in the product surface. The result showed that 847 products equal to 87% of the total 969 product of rubber based slow moving stock experienced fail/damage during storage, especially product that were small, thin, and poorly packed. The types of damage were dominated with blooming as 64% and increasing hardness as 52% followed with loss of elasticity as 52% and crack surface as 16%. This type of damage was caused by ozone exposure and thermal oxidative aging which

were triggered by high temperature and humidity at the warehouse location as 22 – 35°C and 70-80%, respectively. Therefore, it can be concluded that damage on slow moving rubber based product during storage can be caused by inappropriate warehouse environment.

Keywords: Damage analysis, rubber products, slow moving inventory, spare parts, thermal oxidative aging

Pendahuluan

Suatu aktivitas bisnis baik barang maupun jasa tentu memerlukan keberadaan fasilitas gudang. Gudang dapat difungsikan sebagai sarana manajemen inventaris yang efisien serta pusat distribusi untuk memperlancar rantai pasok. Oleh karena itu, aktivitas gudang tidak terbatas sebagai titik simpan tetapi juga sebagai pusat informasi persediaan. Ketersediaan barang dalam gudang harus menjadi fokus utama melalui pengendalian persediaan untuk menjamin perputaran barang berjalan dengan baik sesuai kegunaan (Rodjimin *et al.*, 2023). Berdasarkan analisis *inventory turnover ratio*, jenis persediaan barang dapat dikelompokkan menjadi cepat (*fast*, F), lambat (*slow*, S), dan tidak bergerak (*non-moving*, N) sehingga perusahaan dapat memprioritaskan pengadaan barang inventori sesuai frekuensi penggunaan (Habibi & Ulkhaq, 2025). Barang inventori yang termasuk dalam kategori pergerakan lambat (*slow moving*) dicirikan memiliki tingkat perputaran atau frekuensi penggunaan yang lambat dan cenderung bertahan lama di gudang penyimpanan. Salah satu contoh barang inventori *slow moving* adalah komponen suku cadang untuk mendukung kinerja mesin atau alat produksi. Manajemen inventaris komponen suku cadang yang sesuai sangat penting dalam memenuhi kebutuhan perusahaan yang mendesak terutama pada saat terjadinya kerusakan mesin atau alat sehingga proses bisnis tidak terganggu (Agustin & Hidayat, 2025).

Banyak dijumpai komponen suku cadang pada kendaraan bermotor, alat dan mesin produksi yang terbuat dari material polimer

karet khususnya karet sintetik. Komponen suku cadang berbahan karet umumnya akan berkontak langsung dengan oksigen, ozon, oli, gemuk, tekanan, dan suhu tinggi saat diaplikasikan. Kondisi lingkungan tersebut tidak dapat dipenuhi oleh karet *alam* yang tidak tahan terhadap pelarut non polar, oksigen, ozon, uap panas, dan suhu tinggi. Karet *alam* yang berkontak dengan pelarut non polar akan mengalami pengembangan volume (*swelling*) dan apabila berkontak dengan oksigen dan panas akan mengalami *thermal oxidative aging* (Chen *et al.*, 2025; Ngudsuntar *et al.*, 2025; Omar *et al.*, 2025). Kedua kondisi tersebut akan memicu kerusakan produk berbasis karet *alam* akibat terdegradasinya karakeristik karet *alam* (Zhou *et al.*, 2023). Oleh karena itu dalam produksi komponen suku cadang berbahan karet sering dirancang menggunakan karet sintetik tipe CR, NBR, HNBR, EPDM, dan Fluoroelastomer (FKM) yang tahan terhadap kondisi lingkungan saat aplikasi (Liu *et al.*, 2018; Han *et al.*, 2024; Costa *et al.*, 2024; Simon *et al.*, 2023).

Produk karet yang mengalami kerusakan terutama saat penyimpanan atau sebelum digunakan tentu akan memberikan dampak kerugian yang signifikan bagi pengguna. Kerusakan dapat menyebabkan cacat mutu produk sehingga produk mengalami gagal fungsi. Secara umum, kerusakan produk karet dapat disebabkan oleh tiga faktor utama yaitu lingkungan operasional, batas umur pakai, dan kegagalan mekanis. Lingkungan operasional misalnya suhu ekstrim, kontak bahan kimia, dan paparan UV dan ozon. Suhu tinggi, ozon dan oksigen memicu terjadinya *thermal oxidative aging*. Sementara, contoh kegagalan mekanis misalnya deformasi, tekanan dan beban tinggi. Pemakaian produk yang telah melewati batas umur pakai juga dapat menimbulkan kerusakan material karet. Oleh karena itu penting untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan produk karet terutama selama masa penyimpanan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis kerusakan yang dialami oleh produk suku cadang *slow moving* berbahan karet selama masa penyimpanan meskipun

belum pernah digunakan sebelumnya. Selain itu penelitian dimaksudkan untuk mengetahui faktor penyebab kerusakan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet selama penyimpanan sehingga dapat diambil langkah mitigasi terjadinya risiko kerusakan produk karet selama penyimpanan untuk menimbalisir timbulnya kerugian.

Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan menggunakan objek uji berupa produk karet untuk komponen suku cadang kategori *slow moving product* yang belum pernah digunakan namun tersimpan dalam gudang penyimpanan. Lokasi gudang penyimpanan objek uji berada di Kota Yogyakarta Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Kota Surabaya Provinsi Jawa Timur, dan Kota Lahat Provinsi Sumatera Selatan. Kegiatan observasi dilaksanakan pada periode September 2024 hingga Oktober 2024. Ruang lingkup kegiatan penelitian meliputi survei untuk melakukan pengujian dan pengamatan langsung terhadap objek uji serta kondisi lingkungan gudang penyimpanan objek uji, pengelompokan objek uji berdasarkan tipe dan penentuan kategori kerusakan objek uji serta penentuan faktor penyebab kerusakan produk uji berdasarkan data hasil pengujian.

Pengujian dilaksanakan secara kuantitatif dan kualitatif. Uji kuantitatif meliputi pengukuran kondisi lingkungan (suhu dan kelembaban) dan parameter uji kekerasan menggunakan *portable hardness tester* (pada satuan Shore A). Prosedur pengujian kekerasan mengacu pada ISO 48 dilakukan pada beberapa titik (3 – 5 titik) pada permukaan objek uji yang rata atau datar. Ketebalan objek uji yang akan diukur kekerasan harus minimal 6 mm. Nilai kekerasan ditetapkan sebagai rentang yang diperoleh dari pengukuran beberapa titik tersebut. Kekerasan awal objek uji yang

diperoleh dari literature digunakan sebagai standar acuan atau pembanding dalam menentukan terjadinya peningkatan kekerasan pada objek uji.

Pengujian elastisitas, bercak (*blooming*), warna dan timbulnya retakan (*cracks*) dilakukan secara visual. Pengujian tingkat elastisitas dilakukan mengacu pada ISO 37 dengan cara menarik, menekan, dan/atau meregangkan objek uji. Apabila setelah terjadinya deformasi tersebut, bentuk dan dimensi objek uji masih dapat kembali pada bentuk dan dimensi semula maka objek uji dinilai masih memiliki tingkat elastisitas yang baik (Pal *et al.*, 2023). Sementara, pengujian terhadap timbulnya bercak, ketidakseragaman warna, dan timbulnya retakan dilakukan dengan mengamati secara langsung permukaan objek uji menggunakan kaca pembesar. Permukaan objek uji harus dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran dan debu yang menempel sebelum dilakukan observasi. Adanya kontaminasi yang menempel pada permukaan objek uji dapat mengganggu pengamatan.

Penentuan kerusakan atau cacat mutu terhadap objek uji selama masa penyimpanan mengacu pada indikator utama dan pendukung sebagaimana diuraikan pada Tabel 1. Indikator pendukung mencakup dua kategori yaitu timbulnya bercak dan terjadinya ketidak seragaman warna objek uji. Sementara indikator utama objek uji dinilai mengalami kerusakan terdiri atas kriteria berikut:

1. Terjadinya peningkatan kekerasan yang ditentukan dengan cara membandingkan kekerasan objek uji yang diukur pada pengujian terhadap nilai kekerasan acuan
2. Berkurannya atau hilangnya elastisitas objek uji sehingga objek uji tidak memiliki sifat elastis (tidak dapat kembali ke dimensi atau bentuk semula setelah deformasi)
3. Timbulnya retakan pada permukaan objek uji

Tabel 1. Indikator penentuan kerusakan objek uji selama penyimpanan

Parameter	Nilai	Keterangan	Kondisi	
			Rusak	Baik
Kekerasan	Ya	Objek uji mengalami peningkatan kekerasan	✓	
	Tidak	Objek uji tidak mengalami peningkatan kekerasan		✓
Elastisitas	Ya	Objek uji masih memiliki sifat elastis		✓
	Tidak	Objek uji kehilangan sifat elastis	✓	
Bercak	Ya	Muncul bercak pada permukaan objek uji		✓
	Tidak	Tidak muncul bercak pada permukaan objek uji	✓	
Warna	Ya	Objek uji memiliki keseragaman warna		✓
	Tidak	Warna objek uji tidak seragam, pudar, luntur	✓	
Retakan	Ya	Muncul retakan pada permukaan objek uji		✓
	Tidak	Tidak muncul retakan pada permukaan objek uji	✓	

Hasil dan Pembahasan

Kondisi Lingkungan pada Gudang Penyimpanan

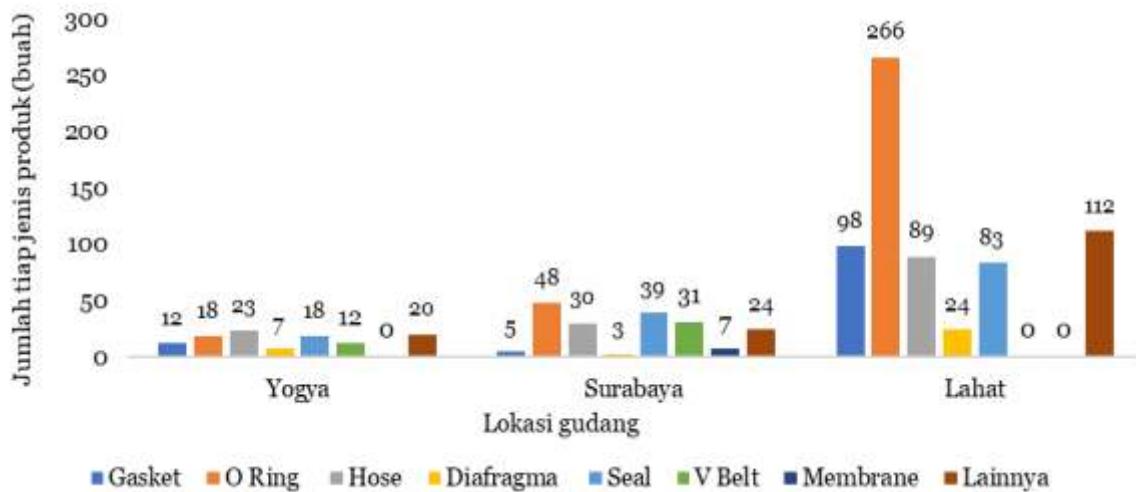
Pengamatan dilakukan di tiga lokasi berbeda yaitu Yogyakarta, Surabaya, dan Lahat. Kondisi gudang penyimpanan teramat pada ruangan tertutup, hanya sedikit ventilasi tanpa adanya tambahan alat pengatur suhu seperti blower atau penyejuk udara (AC) serta pengatur kelembaba atau humidifier. Sementara kondisi lingkungan yang berpengaruh terhadap mutu dan kinerja produk karet adalah suhu dan kelembaban. Kondisi iklim Kota Yogyakarta memiliki suhu rata-rata 26 – 27°C dengan tingkat kelembaban rata-rata 70-80%. Sedangkan suhu rata-rata di Kota Surabaya cenderung lebih tinggi pada rentang 28 – 35°C dan tingkat kelembaban rata-rata sebesar 70-80%. Untuk kondisi lingkungan di Kota Lahat mencapai suhu rata-rata sebesar 22 – 32°C dengan tingkat kelembaban rata-rata sebesar 70-80%. Dengan demikian dapat diketahui bahwa ketiga lokasi memiliki tingkat suhu lingkungan rata-rata yang berbeda namun tingkat kelembaban yang sama yang mencerminkan iklim geografis di kawasan tropis.

Mengacu pada ISO 2230 mengenai panduan penyimpanan produk karet menyatakan bahwa kondisi ideal untuk penyimpanan produk karet adalah pada suhu sekitar 25°C, kelembaban di bawah 65%,

disimpan pada tempat yang kering, tidak terpapar langsung oleh sumber panas (misal sinar matahari, cahaya lampu, radiasi UV), dan memiliki sirkulasi udara yang baik untuk mengurangi tingkat kelembaban. Oleh karena itu, secara alami kondisi iklim di tiga lokasi gudang dianggap kurang ideal untuk penyimpanan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet, akibat suhu dan kelembaban yang tinggi.

Tipe dan Jumlah Suku Cadang Slow Moving Berbahan Karet

Jumlah produk suku cadang *slow moving* berbahan karet yang dianalisis kerusakannya di Gudang Yogyakarta sebanyak 110 buah produk, dengan rincian gasket (12 buah, 11%), ring (18 buah, 17%), selang (23 buah, 21%), diafragma (7 buah, 6%), seal (18 buah, 16%), V-belt (12 buah, 11%), dan aneka produk *slow moving* lainnya (20 buah, 18%). Sementara di Gudang Surabaya sebanyak 187 buah produk dengan rincian gasket (5 buah, 3%), ring (48 buah, 26%), selang (30 buah, 16%), diafragma (3 buah, 1%), seal (39 buah, 21%), V-Belt (31 buah, 16%), membrane (7 buah, 4%), dan aneka produk lainnya (24 buah, 13%). Sedangkan di Gudang persediaan Lahat dilakukan pengamatan terhadap 672 buah produk suku cadang *slow moving* berbahan karet dengan rincian terdiri atas gasket (98 buah, 15%), ring (266 buah, 40%), selang (89 buah, 13%), diafragma (24 buah, 4%), seal (83



Gambar 1. Komposisi produk suku cadang *slow moving* berbahan karet yang dianalisis

bahan, 12%), kit (11 buah, 2%), grommet (6 buah, 1%), sleeve (15 buah, 2%), dan aneka produk lainnya (80 buah, 12%). Secara lengkap rincian setiap produk suku cadang *slow moving* berbahan karet di setiap lokasi Gudang persediaan disajikan pada Gambar 1.

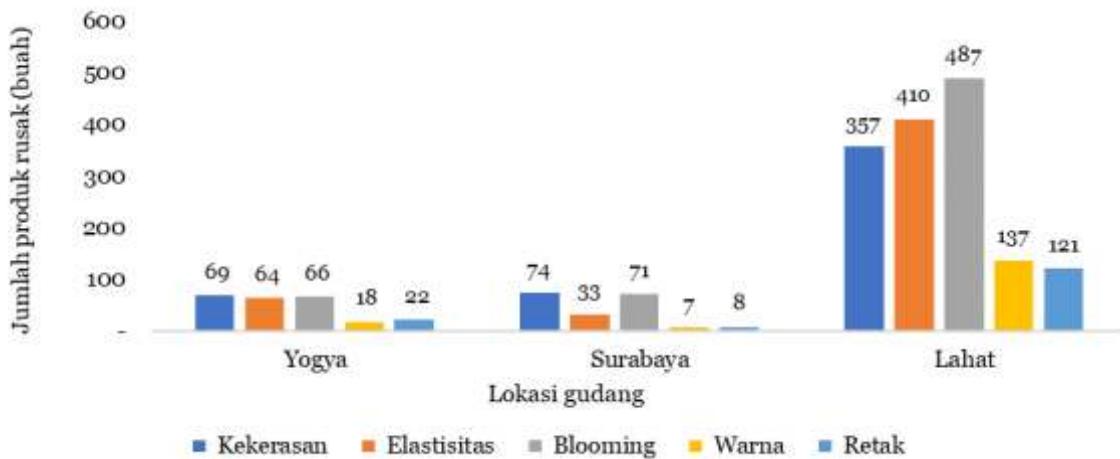
Dengan keunggulan sifat stabilitas termal pada suhu tinggi dan ketahanan terhadap bahan kimia yang baik maka karet sintetik FKM sering kali digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan cincin perapat (seal), gasket, diafragma, membrane dan O-ring yang saat diaplikasikan berkontak dengan suhu tinggi (Simon *et al.*, 2023). Lebih lanjut, karet NBR dikenal sebagai bahan baku utama dalam pembuatan membrane, diafragma, seal oli dan gasket karena kemampuan NBR dalam menahan perubahan karakteristik saat berkontak dengan minyak, oli, dan gemuk meskipun menunjukkan kerusakan pada paparan suhu tinggi (Omran *et al.*, 2010; Nihmath & Ramesan, 2020). Karet HNBR dapat digunakan untuk pembuatan produk karet yang aplikasinya berkontak langsung dengan suhu tinggi dan minyak berbasis minyak bumi (Alcock & Jorgensen, 2015). Lebih lanjut, karet CR dan EPDM dengan keunggulan dalam menahan paparan ozon, sinar UV, dan cuaca sesuai digunakan dalam produksi barang karet untuk aplikasi luar ruangan seperti V-belt, seal, dan selang

(Ahmed *et al.*, 2012). Berdasarkan hasil observasi langsung di gudang penyimpanan dan berbekal pengetahuan tentang jenis polimer penyusun produk karet maka faktor penyebab kerusakan pada produk karet *slow moving* saat penyimpanan menjadi lebih mudah diidentifikasi.

Identifikasi Jenis Kerusakan Suku Cadang *Slow Moving* Berbahan Karet

Selama pengamatan di lokasi tampak bahwa tata cara penyimpanan produk karet turut berpengaruh terhadap tingkat kerusakan produk karet tersebut. Produk karet yang disimpan dengan cara dibungkus dengan kantong plastik vakum cenderung lebih awet daripada produk yang disimpan pada kondisi terbuka. Pada produk yang dibungkus dengan kantong plastik vakum maka kontak langsung antara molekul polimer karet dengan udara (oksigen dan ozon) dapat dihindari. Selain itu, produk karet yang disimpan dengan cara ditekuk atau dilipat menunjukkan kerusakan parah terutama di bagian tekanan atau lipatan tersebut. Oleh karena itu, produk karet harus disimpan bebas dari tegangan, regangan, tekanan dan potensi penyebab deformasi fisik lainnya secara berlebihan.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan dapat teridentifikasi jenis kerusakan yang dialami komponen suku cadang *slow moving*

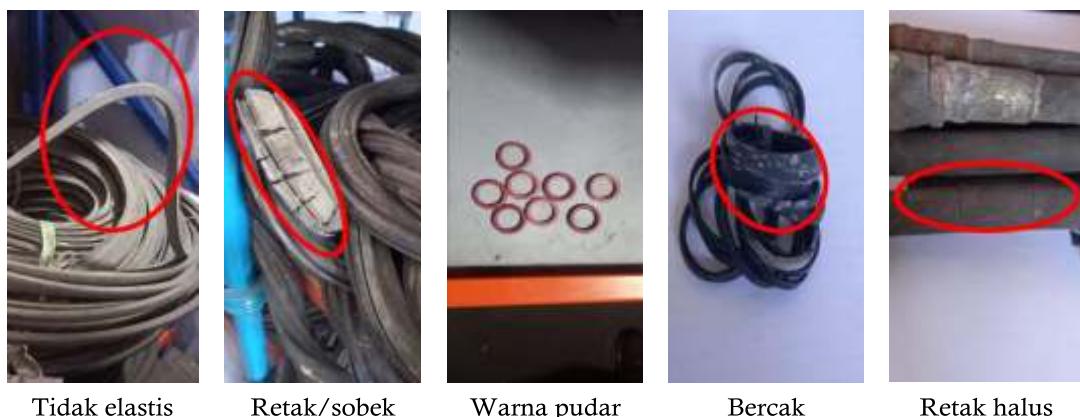


Gambar 2. Tipe kerusakan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet

berbahan karet. Pada satu produk karet dapat mengalami beberapa (lebih dari satu) jenis kerusakan yang terjadi secara simultan. Tipe kerusakan dan jumlah produk suku cadang *slow moving* berbahan karet yang mengalami kerusakan pada tiga lokasi gudang penyimpanan disajikan pada Gambar 2.

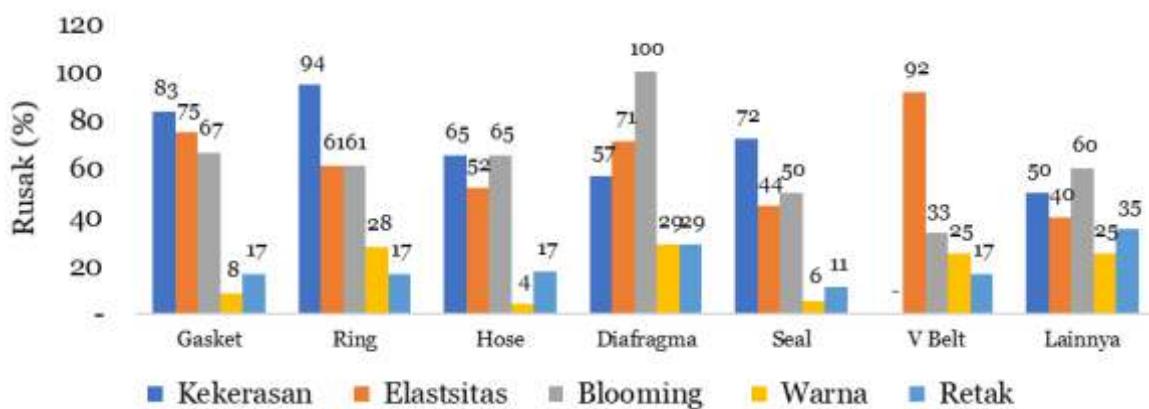
Dari Gambar 2 terlihat bahwa kerusakan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet selama penyimpanan di gudang Yogyakarta didominasi oleh terjadinya peningkatan kekerasan produk (69 produk), timbulnya bercak (66 produk), kehilangan elastisitas (64 produk), timbulnya retak permukaan (22 produk), dan ketidakseragaman warna (18 produk). Sementara di gudang Surabaya juga tampak fenomena yang

sama yaitu bahwa kerusakan produk mayoritas akibat peningkatan kekerasan produk (74 produk), timbulnya bercak (71 produk), kehilangan elastisitas (33 produk), timbul retakan halus (8 produk), dan ketidakseragaman warna (7 produk). Kerusakan produk selama penyimpanan di gudang Lahat menunjukkan kencenderungan yang berbeda dan dikonfirmasi oleh tipe kerusakan yang timbul paling banyak karena timbulnya bercak (487 produk), kehilangan elastisitas (410 produk), peningkatan kekerasan (357 produk), timbul retakan halus (121 produk), dan ketidakseragaman warna (137 produk). Visualisasi kerusakan produk disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Visualisasi kerusakan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet

Observasi tipe dan evaluasi faktor penyebab kerusakan suku cadang *slow moving*
berbahan karet selama penyimpanan

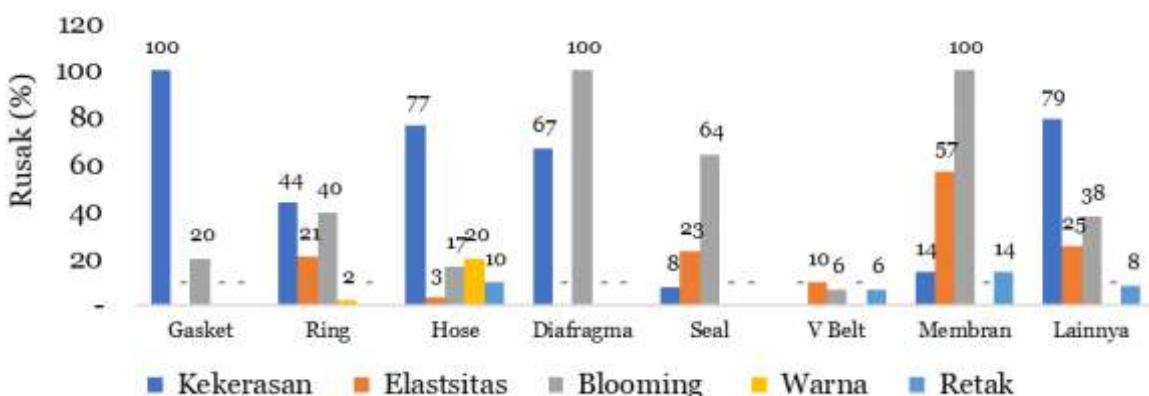


Gambar 4. Komposisi produk berdasar tipe rusak di Gudang Yogyakarta

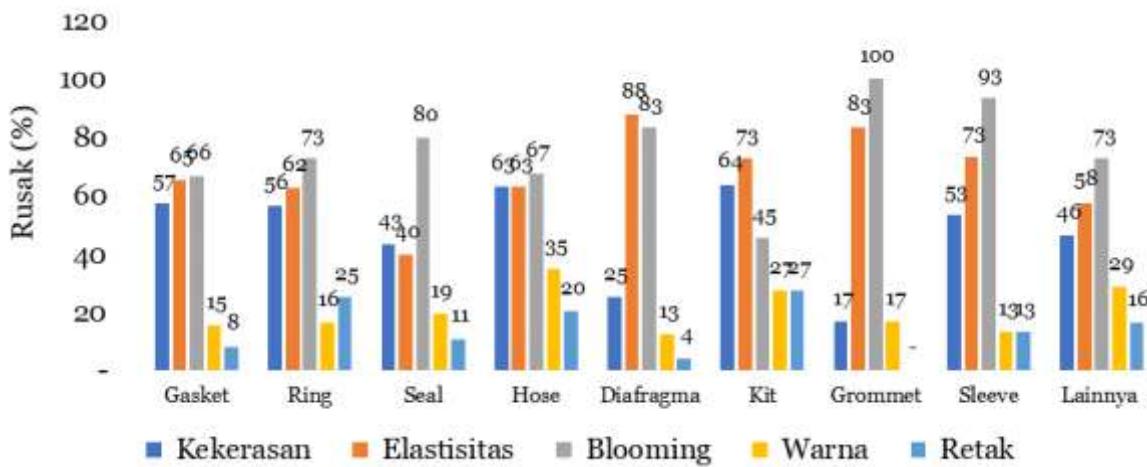
Gambar 4 menunjukkan prosentase jumlah produk suku cadang *slow moving* berbahan karet yang mengalami kerusakan di Gudang Yogyakarta. Mengacu pada Gambar 4 terlihat bahwa kerusakan akibat peningkatan kekerasan didominasi oleh produk O-ring (94%), gasket (83%), dan seal (72%). Selanjutnya produk yang rusak karena kehilangan elastisitas sebagian besar dialami oleh V-belt (92%), gasket (75%), dan diafragma (71%). Sementara munculnya bercak dialami oleh semua produk diafragma (100%), gasket (67%), dan selang (65%). Untuk cacat warna akibat warna produk yang pudar dan tidak seragam terlihat pada diafragma (29%), ring (28%), dan V-belt dan produk lainnya (25%). Retak permukaan akibat serangan ozon banyak dialami oleh aneka produk lainnya (35%), diafragma (29%), diikuti oleh gasket, ring, selang, dan V-belt masing-masing sebesar 17%.

Pada Gudang Surabaya, komposisi jenis produk yang mengalami kerusakan ditunjukkan pada Gambar 5. Dari Gambar 5 terlihat bahwa kategori kerusakan akibat terjadinya peningkatan kekerasan terlihat mendominasi pada produk gasket (100%), aneka produk lainnya (79%), dan selang (77%). Selanjutnya produk yang rusak akibat kehilangan elastisitas terjadi pada membrane (57%), aneka produk lainnya (25%), dan seal (23%). Sementara munculnya bercak dialami oleh semua produk diafragma (100%), membrane (100%), dan seal (64%). Kerusakan cacat warna terjadi pada selang (20%) dan ring (2%). Retak permukaan akibat serangan ozon dialami oleh membrane (14%), selang (10%), dan lainnya (8%).

Komposisi jumlah produk yang mengalami kerusakan di Gudang Lahat ditunjukkan pada Gambar 6. pada Gambar 6 menjelaskan bahwa kategori kerusakan akibat terjadinya



Gambar 5. Komposisi produk berdasar tipe rusak di Gudang Surabaya



Gambar 6. Komposisi produk berdasar tipe rusak di Gudang Lahat

peningkatan kekerasan terlihat mendominasi pada produk kit (64%), hose (63%), dan gasket (57%). Selanjutnya produk yang rusak karena kehilangan sifat elastisitas sebagian besar dialami oleh diafragma (88%), grommet (83%), dan kit serta sleeve (masing-masing 73%). Sementara munculnya *blooming* dialami oleh semua produk grommet (100%), sleeve (93%), dan diafragma (83%). Untuk cacat akibat warna produk karet yang tidak seragam terlihat sebagian besar pada produk hose (35%), aneka produk lainnya (29%) dan kit (27%). Retak permukaan akibat serangan ozon banyak dialami oleh kit (27%), ring (25%), dan hose (20%).

Penyebab Rusak Suku Cadang Slow Moving Berbahan Karet Saat Penyimpanan

Degradasi produk karet selama penyimpanan yang menyebabkan penurunan mutunya merupakan fungsi dari kondisi lingkungan terutama suhu, oksigen, ozon, cahaya UV, dan kelembaban (Bo *et al.*, 2007; Guo *et al.*, 2022). Kelembaban tinggi seperti yang terlihat pada di gudang penyimpanan sekitar 70-80% mempercepat kerusakan produk karet. Molekul air dari kelembaban dapat menembus struktur molekul karet. Pada karet yang bersifat polar, molekul air dapat menyebabkan karet mengembang (*swelling*) sehingga karet menjadi lunak, lembek dan mengalami penurunan sifat mekanik seperti

elastisitas. Kelembaban tinggi juga dapat menyebabkan pertumbuhan jamur di permukaan produk karet. Jamur dapat menghidrolisis ikatan kimia pada polimer karet sehingga menyebabkan kerusakan. Ketidak seragaman warna merupakan kerusakan minor yang teramat pada produk suku cadang *slow moving* berbahan karet yang disimpan di Gudang persediaan. Warna produk karet yang pudar atau menjadi tidak seragam dapat disebabkan karena pengaruh sinar UV yang mengenai permukaan produk karet. Sinar UV menyebabkan pemutusan ikatan kimia pada polimer karet diikuti oleh pembentukan radikal bebas sehingga material polimer karet menjadi terdeteriorasi (Markovicova & Zatklikova, 2024).

Paparan oksigen dan suhu tinggi secara bersamaan menyebabkan penuaan produk karet yang dikenal dengan *thermal oxidative aging*, sebagai salah satu faktor pencetus kerusakan produk karet (Chung *et al.*, 2024). *Thermal oxidative aging* menjadikan produk karet semakin keras namun rapuh, lebih rentan mengalami retakan, serta kehilangan elastisitas (Markovicova & Zatklikova, 2024; Yang *et al.*, 2025). Degradasi produk karet akibat *thermal oxidative aging* dapat terjadi melalui mekanisme kompleks melibatkan pembentukan ikatan silang antara molekul karet dan diikuti oleh pemutusan rantai molekul karet pada kondisi penuaan lanjut

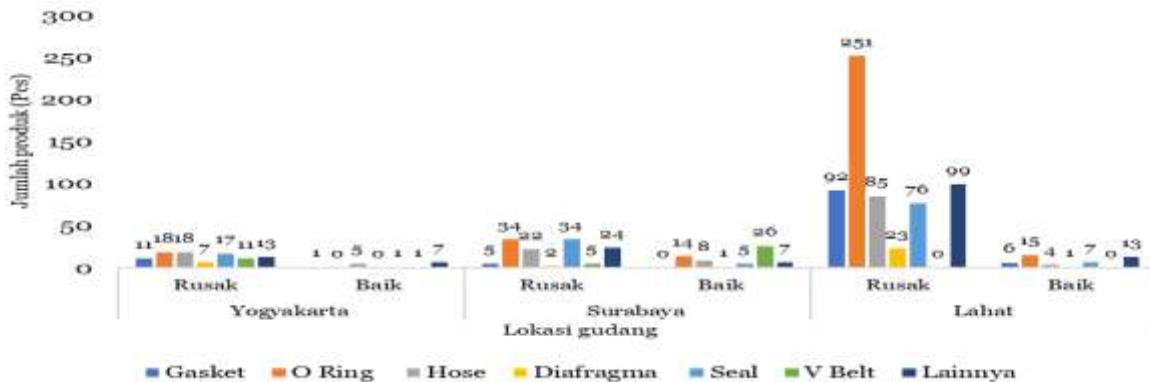
Tabel 2. Hasil pengukuran kekerasan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet

Jenis produk	Kekerasan acuan <i>Shore A</i>	Kekerasan teramati di Gudang persediaan <i>Shore A</i>		
		Yogyakarta	Surabaya	Lahat
Gasket	65 – 75	71 – 100	80 – 90	68 – 96
O Ring/Ring	60 – 70	65 – 100	72 – 98	70 – 98
Selang	70 – 80	73 – 101	72 – 100	72 – 96
Diafragma	60 – 75	72 – 80	72 – 85	70 – 95
Seal	60 – 70	67 – 100	63 – 100	63 – 94
V-Belt	60 – 70	78 – 98	90 – 100	0
Lainnya	60 – 75	62 – 99	71 – 94	75 – 100

(Xiao *et al.*, 2023). Pemutusan rantai molekul oleh radikal bebas mengakibatkan rantai molekul karet menjadi lebih pendek diikuti dengan penurunan sifat mekanik seperti elastisitas. Sementara pembentukan ikatan silang berakibat semakin rapatnya jaringan rantai molekul sehingga komposit karet semakin kaku dan keras. Hasil pengukuran kekerasan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet pada saat pengamatan dibandingkan dengan kekerasan acuan dirangkum pada Tabel 2.

Kerusakan akibat timbulnya bercak (*blooming*) terlihat mendominasi pada produk suku cadang *slow moving* jenis diafragma, gasket dan ring. *Blooming* dapat digunakan sebagai indikator dini terjadinya kerusakan produk karet (Wang *et al.*, 2024). *Blooming* pada karet dapat terjadi karena sebagian bahan kimia karet terlarut ditambahkan ke dalam kompon karet pada dosis di atas batas kelarutan maksimal sehingga bahan kimia tersebut terdifusi dan bermigrasi ke permukaan produk karet dan meninggalkan bercak berwarna atau lapisan film berminyak. Inkompatibilitas antara jenis karet dan bahan kimia additifnya juga dapat memicu terjadinya *blooming* selain suhu dan tingkat kelembaban lingkungan yang tinggi. *Blooming* dapat menurunkan kelengketan kompon karet bahkan dapat menimbulkan kerusakan struktur internal matriks karet sehingga menciptakan retakan dan rongga yang menurunkan sifat mekanik produk karet (Yasin *et al.*, 2019).

Kategori kerusakan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet berikutnya yang tampak pada saat pengamatan langsung di gudang persediaan adalah retak permukaan. Kerusakan retak permukaan umumnya tampak produk karet yang tidak dikemas dengan baik, tanpa dilapisi oleh plastik, sehingga permukaan produk karet berkontak langsung dengan udara. Paparan ozon secara langsung menyebabkan retak permukaan khususnya pada polimer karet tak jenuh yang mengandung ikatan rangkap pada struktur rantai molekulnya (Wang *et al.*, 2022). Iwase *et al* (2017) menerangkan mekanisme reaksi antara ozon dengan karet dienik terjadi dengan pembentukan molozonide sebagai zat antara, yang kemudian dikonversi menjadi gugus karbonil dan gugus karbonil dioksida. Gugus karbonil dioksida selanjutnya dapat bereaksi dengan gugus karbonil dan gugus karbonil dioksida yang lain menghasilkan ozonida, homopolymer, dan polioksana. Reaksi ini berlangsung di permukaan produk karet sebagai lapisan ozonida sebagai lokasi perambatan retak terjadi. Kondisi penyimpanan produk karet di bawah pengaruh tegangan-regangan besar dapat memperparah serangan ozon menyebabkan retak yang besar pada permukaan produk karet (*ozone-induced stress cracking*).



Gambar 7. Penilaian kelayakan fungsi produk suku cadang *slow moving* berbahan karet

Penentuan Kelayakan Fungsi Produk Suku Cadang *Slow Moving* Berbahan Karet

Dengan mempertimbangkan penilaian kelayakan fungsi berdasarkan kriteria kerusakan produk suku cadang *slow moving* berbahan karet seperti ditunjukkan pada Tabel 1, maka dapat diperhitungkan jumlah produk suku cadang *slow moving* berbahan karet yang dinilai telah mengalami kerusakan atau dianggap masih dapat berfungsi dengan baik. Secara lengkap penilaian kelayakan fungsi produk suku cadang *slow moving* berbahan karet diperlihatkan pada Gambar 7 berikut. Dari Gambar 7 dapat dipahami bahwa sebagian besar produk suku cadang *slow moving* berbahan karet yang telah disimpan di masing-masing lokasi Gudang persediaan telah mengalami kerusakan. Di Gudang persediaan Yogyakarta terlihat 86% produk dinilai rusak dan 14% produk masih baik. Sementara di Gudang persediaan Surabaya terlihat 67% produk sudah rusak dan 33% produk masih baik. Sebanyak 93% produk rusak dan 7% produk masih dianggap baik di Gudang persediaan Lahat. Ditinjau dari tipe produk terlihat bahwa produk O-Ring diikuti dengan cincin perapat dan selang merupakan produk *slow moving* berbahan karet yang mengalami kerusakan terbanyak dibandingkan tipe produk yang lain. Produk O-Ring dan cincin perapat umumnya berukuran kecil dan tipis. Sementara itu, selang disimpan tanpa dibungkus dan dalam kondisi dilipat atau digulung.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil analisis bahwa dari total 969 buah produk suku cadang *slow moving* berbahan karet yang disimpan di gudang persediaan yang berlokasi di Yogyakarta, Surabaya, dan Lahat sebanyak 847 buah produk atau setara dengan 87% dari total produk teramat telah mengalami kerusakan. Rincian produk rusak di setiap lokasi gudang penyimpanan sebesar 95 produk di gudang Yogyakarta, 126 produk di gudang Surabaya, dan 626 produk di Gudang Lahat. Produk yang mengalami kerusakan parah terutama produk yang berukuran kecil dan tipis, produk yang penyimpanannya tidak dikemas dengan baik serta dalam kondisi dilipat atau digulung. Dominansi produk yang mengalami kerusakan selama masa penyimpanan meskipun produk karet tersebut belum digunakan mengkonfirmasi bahwa kondisi lingkungan di sekitar lokasi gudang persediaan berpengaruh besar terhadap tingkat dan laju degradasi produk suku cadang *slow moving* berbahan karet. Kondisi lingkungan gudang persediaan pada suhu dan tingkat kelembaban tinggi memicu produk karet mengalami *thermal oxidative aging* sehingga produk semakin keras namun rapuh, kehilangan elastisitas, mengalami retak dan timbul bercak di permukaan, serta warna produk menjadi pudar. Produk yang telah rusak dinilai tidak layak dan direkomendasikan untuk tidak digunakan.

Daftar Pustaka

- Agustin, D.E., & Hidayat, A. P. (2025). Pengelompokan persediaan spare part dengan metode class based storage klasifikasi FSN berdasarkan turnover ratio. *Journal of Industrial & Quality Engineering*, 13(1), 1-17.
- Ahmed, K., Nizami, S.S., Raza, Z.N., & Shirin, K. (2012). Cure characteristic, mechanical and swelling properties of marble sludge filled EPDM modified chloroprene rubber blends. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 2, 90-97.
- Alcock, B., & Jorgensen, J.K. (2015). The mechanical properties of a model hydrogenated nitrile butadiene rubber (HNBR) following simulated sweet oil exposure at elevated temperature and pressure. *Polymer Testing*, 46, 50-58.
- Bo, M.C., Gerofi, J.P., Visconte, L.L.Y., & Nunes, R.C.R. (2007). Prediction of shelf life of natural rubber male condoms – A necessity. *Polymer Testing*, 26(3), 306-314.
- Chen, J., Liao, L., Shang, L., Du, L., Lai, Y., Liu, J., Yang, Z., Ma, Y., Peng, W.F., & Zhang, F. (2025). Mechanical and thermo-oxidative resistance properties of natural rubber film reinforced by orange peel-based carbon dots. *Industrial Crops and Products*, 223, 120150.
- Chung, E.N.M., Kittur, M.I., Andriyana, A., & Ganesan, P. (2024). On the thermo-oxidative aging of elastomers: A comprehensive review. *Polymer*, 304, 127109.
- Costa, N.L., Hiranobe, C.T., Cardim, H.P., Dognani, G., Snachez, J.C., Carvalho, J.A.J., Torres, G.B., Paim, L.L., Pinto, L.F., Cardim, G.P., Cabrera, F.C., dos Santos, R.J., and Silva, M.J. (2024). A Review of EPDM (ethylene propylene diene monomer) rubber based nanocomposite: properties and progress. *Polymers*, 16(12), 1720.
- Guo, X., Yuan, X., Liu, G., Hou, G., & Zhang, Z. (2022). Storage life prediction of rubber products based on step stress accelerated aging and intelligent algorithm, 15(1), 157.
- Habibi, N.H., & Ulkhaq, M.M. (2025). Strategi pengendalian persediaan dengan pendekatan klasifikasi ABC-FSN dan metode min-max pada materi spiral wound gasket di PT XYZ. *Industrial Engineering Online Journal*, 14(2), 10p.
- Han, Y., Nie, J., Zhu, Z., Yin, H., Shi, L., Wang, S., Liu, X., & He, Q. (2024). Investigation of mechanical properties and oil resistance of hydrogenated-butadiene-acrylonitrile-rubber based composite across various temperature. *Polymers*, 16(23), 3294.
- Iwase, Y., Shindo, T., Kondo, H., Ohtake, Y., & Kawahara, S. (2017). Ozone degradation of vulcanized isoprene rubber as a function of humidity. *Polymer Degradation and Stability*, 142, 209-216.
- Liu, X., Zhao, J., Yang, R., Iervolino, R., & Barbera, S. (2018). Effect of lubricating oil on thermal aging of nitrile rubber. *Polymer Degradation and Stability*, 151, 136-143.
- Markovicova, L., & Zatklikova, V. (2024). Influence of environmental conditions on the degradation of rubber compound. *Journal of Physics Conference Series*, 2712, 012002.
- Ngudsuntar, K., Limtrakul, S., Vatanatham, T., & Arayapranee, W. (2025). Mechanical and aging properties of hydrogenated epoxidized natural rubber and its lifetime prediction. *ACS Omega*, 7(41), 36448-36456.
- Nihmath, A., & Ramesan, M.T. (2020). Comparative evaluation of oil resistance, dielectric properties, AC conductivity, and transport properties of nitrile rubber and chlorinated nitrile rubber. *Progress in Rubber, Plastic, and Recycling Technology*, 37(2),
- Omar, M.F., Ali, F., Jami, M.S., Azmi, A.S., Ahmad, F., Marzuki, M.Z., Muniyandi, S.K., Zainudin, Z., & Kim, M.P. (2025). A comprehensive review of natural rubber composites: properties, compounding aspects, and renewable practices with natural fibre reinforcement. *Journal of Renewable Materials*, 13(3), 497-538.

- Omran, A.M., Youssef, A.M., Ahmed, M.M., & Abdel-Bary, E.M. (2010). Mechanical and oil resistance characteristics of rubber blends based on nitrile butadiene rubber. KGK Rubberpoint, Elastomer and Plastics, 63(5), 197-202.
- Pal, S., Das, M, & Naskar, K. (2023). Origin of rubber elasticity. *Elasticity of Materials. In tech Open*. Doi:10.5772/intechopen.100205
- Rodjimin, Y.B., Isnainny., & Situmorang, E. (2023). Analisis kelompok persediaan barang menggunakan FSN (Fast, Slow, Non-Moving) berdasarkan analisis turn over ratio pada gudang pabrik PT Sasana Yudha Bhakti. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 15(1), 35-43.
- Simon, A., Pepin, J., Berthier, D., & Meo, S. (2023). Degradation mechanism of FKM during thermo-oxidative aging from mechanical and network structure correlations. *Polymer Degradation and Stability*, 208, 110271.
- Wang, X., Pan, H., Yang, K., & Zhang, P. (2022). Cracking, structural, and mechanical property changes of SIBR and related elastomers during the ozone aging process. *Polymer Degradation and Stability*, 195, 109774.
- Wang, C., Xia, Z., & Fu, P. (2024). Investigation on the blooming behavior of additives in nitrile butadiene rubber at elevated temperature. *Polymer Engineering and Science*, 64(8), 3596-3605.
- Xiao, L. (2023). Study on aging mechanism of special neoprene in hot air. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1171, 012038.
- Yang, K., Lv, Y., Yang, K., Fang, W., & Li, L. (2025). Analysis of the causes of failure in the rubber lining of the concentrated hydrochloric acid storage tank at a nuclear power plant. *Journal of Physics: Conference Series*, 2951, 012041.
- Yasin, U.Q., Zawawi, E.Z.E., Adnan, N., Tahir, H., & Kamarun, D. (2019). Blooming of compounding ingredients in rubber compounds under different peroxide loadings. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(4), 7027-7031.
- Zhou, M.Z., Wang, H.R., Guo, X., Wei, Y.C., & Liao, S. (2023). Synergistic effect of thermal oxygen and UV aging on natural rubber. *E-Polymers*, 23, 20230016.