

## PENGEMBANGAN KARET EBONIT SEBAGAI BAHAN DASAR SISTEM ISOLASI DASAR UNTUK MENGURANGI DAMPAK GEMPA BUMI

Jehuda Christofel Sriwijaya<sup>1</sup>, Usman Wijaya<sup>2\*</sup>, dan Andy Prabowo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Krida Wacana, Jl. Tanjung Duren Raya No. 4, Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Trisakti, Jl. Kyai Tapa No. 1, Grogol, Jakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia

\*usman.wijaya@trisakti.ac.id

Masuk: 25-10-2024, revisi: 24-01-2025, diterima untuk diterbitkan: 24-02-2025

### ABSTRACT

Indonesia is one of the regions traversed by the ring of fire, where this route shows high earthquake intensity and results in building damage, leading to fatalities. Efforts are being made to reduce the impact of earthquake through the implementation of base isolation system. One of the materials forming the base isolation system is natural rubber. In this study, natural rubber will be replaced with ebonite rubber to determine its specifications and whether it is effective when used as the base material for the base isolation system. The materials mixed to form ebonite rubber include natural rubber (SIR 20), ZnO, Stearic Acid, Sulfur, CBS, TMTD, Carbon N330, Minarex, Antilux, Ionol, TMQ, Antioxidant (6-PPD), and Aktiplast. This formulation will create ebonite rubber, which will then undergo mechanical property testing, including hardness, tensile strength, elongation at break, and volume change, to determine the capability of ebonite rubber as a substitute for natural rubber. It was found that ebonite rubber has results of 88 shore A hardness, 14.6 Mpa tensile strength, 70% elongation at break, and 91.08% compression set. From the research results, it was found that ebonite rubber has a high hardness value, making it effective for bearing vertical loads.

Keywords: Ebonite; base isolation system, earthquake, natural rubber, mechanical properties

### ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu kawasan yang dilewati oleh jalur *ring of fire* dimana jalur tersebut menunjukkan intensitas gempa yang tinggi dan berdampak pada kerusakan gedung hingga menimbulkan korban jiwa. Upaya untuk mengurangi dampak gempa bumi yaitu dengan menerapkan penggunaan sistem isolasi dasar pada bangunan. Salah satu bahan pembentuk sistem isolasi dasar adalah karet alam, pada penelitian ini karet alam akan ditukar dengan karet ebonit dengan tujuan untuk mengetahui efektivitas karet ebonit bila digunakan sebagai bahan dasar sistem isolasi dasar. Formulasi karet ebonit yang digunakan merupakan hasil pengembangan dari formulasi karet alam yang sudah diteliti sebelumnya. Adapun bahan yang dicampurkan sebagai pembentuk karet ebonit yaitu karet alam (SIR 20), ZnO, Stearic Acid, Sulfur, CBS, TMTD, Carbon N330, Minarex, Antilux, Ionol, TMQ, Antioxidant (6-PPD), dan Aktiplast. Formulasi tersebut akan membentuk karet ebonit dan kemudian dilakukan pengujian sifat mekanik yaitu kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus, dan perubahan volume untuk mengetahui kemampuan karet ebonit sebagai pengganti bahan dasar karet alam. Didapati bahwa karet ebonit memiliki hasil pengujian yaitu kekerasan 88 shore A, kuat tarik 14,6 Mpa, perpanjangan putus 70%, dan perubahan volume 91,08%. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa karet ebonit memiliki nilai kekerasan dan kuat tarik yang baik, serta dapat menahan perpanjangan atau regangan sebelum putus hingga 70% sehingga dapat tarik kesimpulan bahwa karet ebonit efektif bila dijadikan bahan dasar dalam sistem isolasi dasar.

Kata kunci: Ebonit; sistem isolasi dasar, gempa, karet alam, sifat mekanik

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia berada di dalam kawasan *ring of fire* sehingga frekuensi gempa di Indonesia cukup sering (Kurnianto, 2019). Gempa bumi, sebagai peristiwa alam yang seringkali tak terduga, memiliki potensi besar untuk menyebabkan kerusakan yang signifikan pada bangunan dan infrastruktur. Ketika gempa terjadi, getaran yang dihasilkan dapat mempengaruhi integritas struktural bangunan gedung. Gedung sendiri rentan terhadap guncangan dari berbagai sumber, seperti gempa bumi, aktivitas manusia, dan faktor lingkungan. Guncangan yang kuat dapat menyebabkan retakan pada dinding, lantai, dan fondasi, bahkan pada struktur baja atau beton bertulang yang kuat sekalipun. Selain itu, getaran yang berulang atau getaran gelombang panjang dapat menyebabkan kelelahan material, mengurangi kekuatan struktur secara bertahap seiring waktu. Oleh karena itu, pencegahan terhadap kerusakan struktur bangunan

akibat getaran gempa perlu diperhatikan. Salah satu strategi dalam menjaga ketahanan gedung terhadap gempa adalah penggunaan sistem isolasi dasar atau *base isolation system*. Sistem isolasi dasar bertujuan untuk memisahkan struktur bangunan dari tanah di bawahnya dengan menggunakan elemen isolator yang elastis atau peredam getaran. Salah satu bahan dasar yang dapat digunakan dalam sistem isolasi dasar adalah karet ebonit, yang merupakan hasil dari proses vulkanisasi karet alam dengan penambahan sulfur dan bahan tambahan lainnya. Proses vulkanisasi karet ebonit dengan jumlah yang tinggi (30% - 50%) memperkuat jaringan molekulnya, sementara suhu transisi yang melebihi suhu ruangan menunjukkan ketahanannya terhadap suhu panas. Meskipun kaku, karet ebonit tetap elastis dan mudah getas, memberikan fleksibilitas yang dibutuhkan dalam aplikasi sistem isolasi dasar. Penggunaan karet sebagai bahan isolasi dasar pertama kali muncul pada abad ke-20, dan penggunaan karet ebonit mengikuti setelah diakui keunggulannya dalam mendukung fungsi sistem isolasi dasar. Namun, penggunaan karet ebonit masih terbatas karena proses pembuatannya yang sulit (Darmono, 2009). Dengan demikian, pengembangan lebih lanjut mengenai proses pembuatan karet ebonit diperlukan untuk mengetahui apakah karet ebonit dapat digunakan sebagai bahan dasar sistem isolasi dasar atau tidak.

Dalam perancangan struktur bangunan tahan gempa Indonesia, SNI 1726:2019 mengharuskan penggunaan peta gempa yang disusun dengan data probabilistik dengan metode berulang 500 tahun. Data ini dapat digunakan sebagai acuan dalam mempertimbangkan koefisien gaya gempa pada waktu perencanaan infrastruktur dilakukan. Perancangan isolasi dasar pun dapat mempertimbangkan data skala gempa berdasarkan zonasi gempa yang digambarkan dikarenakan persebaran gempa yang terjadi di Indonesia tidak merata. Gempa bumi bersifat merusak sehingga dapat merugikan pembangunan dan membahayakan keberadaan infrastruktur gedung. Diperlukan inovasi yang dapat meredam getaran gempa bumi pada bagian struktur bangunan. Salah satunya adalah sistem isolasi dasar yang dapat mendukung peredaman energi gempa bumi di bagian struktur bawah sehingga tidak berlanjut kepada struktur atas gedung (Dewobroto, 2012). Sistem isolasi dasar atau *base isolation system* merupakan salah satu elemen penting dalam desain dan konstruksi bangunan terutama dalam konteks perlindungan struktur bangunan dari gaya yang dihasilkan gempa bumi (Imran, 2018). Alat peredam gempa yang menggunakan sistem isolasi dasar merupakan bagian dari struktur bawah gedung di mana posisinya terletak di atas fondasi dan di bawah *lower beam*. Posisi ini memungkinkan struktur atas gedung tidak secara langsung mengalami gaya horizontal dikarenakan sudah dialihkan oleh isolasi dasar membelok

Secara prinsip sistem isolasi dasar tidak menyerap energi namun membelokkan energi dengan sistem dinamika (Naeim & Kelly, 1999). Isolasi dasar dirancang memiliki kekakuan tinggi terhadap gaya vertikal dan memiliki kekakuan rendah terhadap gaya horizontal. Hal tersebut membuat isolasi dasar mampu menahan beban vertikal dan tetap mampu menahan gaya lateral yang disebabkan oleh getaran tanah. Penggunaan isolasi dasar seperti ini dapat membuat struktur bagian atas gedung mengalami frekuensi getaran yang lebih kecil dikarenakan dialihkan oleh sistem kerja isolasi dasar. Jumlah frekuensi yang berkurang membuat waktu getar struktur yang lebih lama sehingga membuat percepatan pada struktur yang lebih kecil dan membuat gaya pada struktur tereduksi (Edianto, 2021). Pembentuk karet pada umumnya menggunakan bahan seperti standar *indonesian rubber grade* (SIR 20), zink oxide (ZnO), asam stearat, Trimetil 1.2 dihidroquinolin (TMQ), N-(1.3 dimetil butyl)-N-fenil p fenilindiamin (6PPD), Parafin wax, Carbon Black N330, minyak aromatik, Aktiplas T60, coumarone resin, N-sikloheksil 2 bensotiasol sulfenamid (CBS), dan sulfur (Cifriadi et al., 2021). Karet alam merupakan material yang mempunyai sifat unggul yang menjadikannya pilihan utama dalam berbagai aplikasi industri, terutama dibanding dengan elastomer lain. Salah satu keunggulan karet alam adalah ketahanannya terhadap aus, yang menjadikannya ideal untuk aplikasi yang membutuhkan isolasi (Syarif, 2024).

Ebonit yang dikenal sebagai karet keras merupakan suatu material yang dihasilkan dari pencampuran bahan dasar karet alam atau berbagai jenis bahan pembentuk seperti BR (*butadiene rubber*), SBR (*styrene butadiene rubber*), dan NBR (*nitril butadiene rubber*) (Porwanta & Febriantoko, 2013). Proses pembuatannya melibatkan pencampuran bahan tersebut dengan sulfur dalam jumlah yang cukup signifikan, berkisar antara 25 hingga 60 phr (*parts per hundred rubber*), sehingga membentuk suatu campuran homogen. Campuran ini kemudian menjalani proses vulkanisasi, dimana campuran dipanaskan dalam waktu maksimal mencapai 10 jam, pada suhu sekitar 150°C. Selama proses vulkanisasi, terjadi ikatan silang antara rantai polimer karet yang disebabkan oleh sulfur, yang menghasilkan struktur jaringan yang lebih padat dan keras. Proses ini memberikan ebonit sifat-sifat fisik dan mekanis yang termasuk kekerasan yang tinggi, ketahanan terhadap suhu ekstrem, dan ketahanan terhadap berbagai zat kimia. Beberapa karakteristik karet ebonit tersebut menjadikannya sebagai salah satu inovasi pengganti karet alam dalam sistem isolasi dasar (Arguello & Santos, 2016).

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dimana hasil pengujian didapatkan dari pengujian laboratorium dengan pengujian *mechanical properties*. Pengujian yang dilakukan antara lain adalah kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus, dan perubahan volume. Adapun penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah karet ebonit efisien jika dijadikan pengganti karet alam sebagai bahan dasar sistem isolasi dasar.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan metode pengujian laboratorium untuk mengevaluasi karakteristik mekanis karet ebonit. Pengujian akan mencakup pengujian kekerasan (*hardness*), kuat tarik, perpanjangan putus, dan perubahan volume (*compression set*). Metode ini akan memberikan pemahaman yang mendalam tentang kinerja material dalam konteks aplikasi sebagai komponen isolasi dasar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan memahami sifat mekanis karet ebonit yang relevan dalam konteks penggunaan dalam isolasi dasar. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja karet ebonit dalam menahan tekanan, tarikan, dan deformasi, untuk penggunaan dalam isolasi dasar. Proses penyelesaian penelitian ini akan melibatkan langkah-langkah seperti pengumpulan literatur terkait, pengadaan sampel karet ebonit untuk pengujian laboratorium, melaksanakan serangkaian pengujian, analisis data yang teliti, dan menarik kesimpulan mengenai hasil pengujian apakah karet ebonit efektif jika digunakan dalam sistem isolasi dasar.

### Formulasi karet alam

Proses formulasi karet alam dilakukan untuk mendapatkan komposisi benda uji sesuai dengan spesifikasi yang berlaku. Pada pengujian ini melanjutkan pengujian yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu dimana karet alam sudah pernah diuji dan pada penelitian ini akan diuji ulang dan hasilnya akan dibandingkan dengan karet ebonit apakah karet ebonit dapat menggantikan peran karet alam atau tidak. Perbedaan antara karet alam dan karet ebonit pada pengujian ini dilakukan perbedaan jumlah dosis sulfur. Formulasi karet alam dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Formulasi karet alam

No.	Bahan	Fungsi	Dosis (phr)
1	SIR 20	Polimer Dasar	100
2	Zinc Oxide (ZnO)	Aktivator	5
3	Stearic Acid	Aktivator	2
4	Sulfur	Pemvulkanisasi	1,3
5	CBS	Akselerator	0,7
6	TMTD	Akselerator	0,8
7	Carbon N330	Pengisi	75
8	Minarex	Pengisi	5
9	Antilux	Antioksidan	3,5
10	Ionol	Antioksidan	2
11	TMQ	Antioksidan	2
12	Antioxidant (6-PPD)	Antioksidan	3
13	Aktioplast	Pengisi	3

### Formulasi karet ebonit

Karet ebonit memiliki kadar sulfur 25 phr hingga 60 phr dan pada pengujian ini digunakan kadar sulfur 40 phr dan diharapkan karet ebonit dengan sifat kakunya dapat menyesuaikan persyaratan pengujian kekerasan namun juga tetap menyesuaikan performa tariknya. Sulfur akan mempengaruhi proses pencetakan dikarenakan proses vulkanisasi dengan sulfur tinggi akan memerlukan waktu lebih lama dan karet yang dihasilkan lebih kaku sesuai dengan karakteristik karet ebonit. Formulasi karet ebonit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Formulasi karet ebonit

No.	Bahan	Fungsi	Dosis (phr)
1	SIR 20	Polimer dasar	100
2	Zinc oxide (ZnO)	Aktivator	5
3	Stearic Acid	Aktivator	2
4	Sulfur	Pemvulkanisasi	40
5	CBS	Akselerator	0,7
6	TMTD	Akselerator	0,8
7	Carbon N330	Pengisi	75
8	Minarex	Pengisi	5
9	Antilux	Antioksidan	3,5
10	Ionol	Antioksidan	2
11	TMQ	Antioksidan	2

Tabel 2 (lanjutan). Formulasi karet ebonit

No.	Bahan	Fungsi	Dosis (phr)
12	Antioxidant (6-PPD)	Antioksidan	3
13	Aktioplast	Pengisi	3

### Pembuatan kompon

Proses pembuatan kompon melalui beberapa tahapan yaitu persiapan bahan sesuai formulasi yang ditentukan, menyalakan alat pembuat kompon *open mill*, penggilingan bahan dimulai sesuai dengan formulasi masing-masing karet, pengangkatan kompon dari mesin penggiling, pemberian tanda atau kode dan proses pengemasan lembaran kompon, pemberian tanda atau kode dan pembuatan kompon selesai. Kompon didiamkan  $\pm 22$  jam sebelum dilanjutkan ke proses selanjutnya yaitu *rheo test*. Adapun proses pembuatan kompon untuk karet ebonit dan karet alam melalui tahapan yang sama. Proses penggilingan bahan pembentuk karet dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses penggilingan bahan pembentuk karet

Penggilingan dilakukan dengan mencampurkan semua bahan dengan merata dan dengan ketebalan akhir kompon adalah 20 mm. Pada saat proses penggilingan terdapat bahan yang terlepas sehingga perlu untuk diambil dan dicampurkan kembali. Penggilingan masih bersifat semi-manual yaitu walaupun menggunakan mesin, masih diperlukan untuk dimonitor agar tidak ada bahan yang terbuang sehingga kualitas kompon sesuai dengan yang direncanakan.

### *Rheo test*

*Rheo test* merupakan metode yang dilakukan untuk mengevaluasi sifat aliran dan deformasi material karet di bawah pengaruh tegangan dan suhu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik viskoelastis karet yaitu tingkat pengerasan (*cure rate*), waktu pematangan (*curing time*), dan stabilitas termal selama proses vulkanisasi. *Rheo test* membantu menentukan waktu optimal untuk proses pencampuran dan vulkanisasi karet. Data yang dihasilkan adalah torsi dan modulus yang memberikan gambaran mengenai transisi dari kondisi plastis menjadi elastis selama proses pemanasan. Adapun *rheo test* yang dilakukan pada karet ebonit dan karet alam melalui tahapan yang sama. *Rheo test* dilakukan dengan suhu 150°C dan waktu 30 menit untuk kedua karet tersebut. Selama proses berlangsung benda uji akan mengalami deformasi geser dengan tekanan dan suhu yang sudah ditentukan. Perbedaan kadar sulfur di antara kedua karet tersebut akan menghasilkan waktu dan perilaku yang berbeda. Karet dengan jumlah sulfur lebih banyak akan menghasilkan waktu vulkanisasi yang lebih panjang dikarenakan proses pembentukan ikatan silang, karet akan membutuhkan waktu yang lebih lama dan begitu pun sebaliknya. Jumlah sulfur juga berpengaruh terhadap nilai torsi dimana jumlah kadar sulfur yang lebih banyak akan membuat karet memiliki nilai torsi yang lebih tinggi. Hasil yang dicari adalah nilai  $T_{90}$  yaitu waktu dimana karet ter Vulkanisasi 90% dimana nilai tersebut merupakan waktu karet ter Vulkanisasi secara optimal. Nilai ini nantinya akan digunakan sebagai waktu pembuatan benda uji karet ebonit dan karet alam.

### Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dilakukan setelah menentukan nilai  $T_{90}$  dari pengujian *rheo test* dan waktu maksimum yang didapatkan akan digunakan sebagai acuan waktu pencetakan benda uji karet, proses pembuatan benda uji dapat dilihat pada Gambar 2. Pembuatan benda uji dimulai dengan menyalakan mesin cetak dan pembersihan cetakan benda uji dari sisa cetakan dan material yang menempel. Penting untuk dipastikan bahwa sisa meterial pencetakan sebelumnya sudah dibersihkan terlebih dahulu, dikarenakan performa karet akan sangat ditentukan oleh formulasi dan pencetakan benda uji. Selanjutnya kompon dipotong sesuai dengan dimensi cetakan dan dimasukkan ke dalam mesin cetakan. Pencetakan dimulai dan dicetak dengan waktu yang sudah didapatkan dari *rheo test* dan dihitung menggunakan timer. Setelah dicetak sesuai dengan waktu yang ditentukan, maka benda uji karet diangkat dan diberikan kode untuk pengujian laboratorium. Pencetakan selesai dan siap untuk dilakukan pengujian *mechanical properties*. Adapun pembuatan benda uji karet alam dan karet ebonit melalui tahapan yang sama.



Gambar 2. Proses pembuatan benda uji

### *Mechanical properties*

Karet ebonit sebelum diaplikasikan sebagai bahan dasar sistem isolasi dasar perlu diuji karakteristiknya terlebih dahulu. Pengujian *mechanical properties* dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk melihat performa material lewat pengujian kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus, dan perubahan volume. Pengujian dilakukan dengan membandingkan karet ebonit dengan karet alam dan akan dilihat bagaimana performa dari kedua karet tersebut. Sebagai bahan dasar pembentuk isolasi dasar, karet ebonit diharapkan memiliki kekuatan mekanik yang optimal dan tahan terhadap kondisi lingkungan yang tidak mendukung. Hasil pengujian sangat bergantung pada formulasi karet sehingga setelah pengujian selesai dilakukan dapat dijadikan bahan evaluasi langkah apa yang harus dilakukan untuk mengoptimalkan performa karet ebonit sebelum dijadikan bahan dasar dalam sistem isolasi dasar.

Pada pengujian kekerasan dan perubahan volume bentuk benda uji sesuai dengan Gambar 3 dimana bentuk benda uji adalah potongan datar melingkar dan berbentuk cakram. Pengujian kekerasan berdasarkan *American Society for Testing and Materials* (ASTM D 2240-15) menentukan bahwa ketebalan benda uji minimal 6 mm, diameter 30 mm, permukaan benda uji secara langsung mengenai indentor atau durometer. Jumlah benda uji yang ditentukan adalah 5 benda uji dan hasil pengujian merupakan rata-rata dari keseluruhan hasil bacaan. Pengujian perubahan volume atau *compression set* ditentukan berdasarkan ASTM D 395-16e1 dimana bentuk karet berupa silinder cakram dengan ketebalan 28,7 mm dan diameter 12,5 mm dengan jumlah 3 benda uji. Pada pengujian kuat tarik dan perpanjangan putus bentuk benda uji sesuai dengan Gambar 3 dimana benda uji berbentuk dayung atau *dump bell* (*dog-bone shape*). Bentuk benda uji tersebut mengecil dibagian tengah dimaksudkan agar konsentrasi tegangan diarahkan ke tengah benda uji. Pada pengujian kuat tarik dan perpanjangan putus dilakukan menggunakan 3 benda uji dengan tahapan pengujian yang sama.



Gambar 3. Bentuk benda uji lempeng cakram dan dayung

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian kekerasan sesuai dengan standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM D 2240-15), pengujian kuat tarik (ASTM D 412-16 dan ISO 37), perpanjangan putus (ASTM D 412-17), dan perubahan volume (ASTM D 395-16e1). Pengujian dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Karet Bogor, Jawa Barat dengan peraturan dan persyaratan yang berlaku. Klasifikasi nilai kekerasan karet (ISO 7619) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi nilai kekerasan karet (ISO 7619)

Indicated durometer value	Spring force (mN)		
	Type AM	Type A and AO	Type D
0	324	550	-
10	368	1.300	4.450
20	412	2.050	8.900
30	456	2.800	13.350

Tabel 3 (lanjutan). Klasifikasi nilai kekerasan karet (ISO 7619)

Indicated durometer value	Spring force (mN)		
	Type AM	Type A and AO	Type D
40	500	3.550	17.800
50	544	4.300	22.250
60	588	5.050	26.700
70	632	5.800	31.150
80	676	6.550	35.600
90	720	7.300	40.050
100	764	8.050	44.500
<b>Millinewtons (mN)per unit</b>	44	75	445
<b>Spring force tolerance</b>	±8,8	±37,5	±222,5

Parameter shore A digunakan untuk mengukur kekerasan karet dengan skala bacaan durometer kekerasan normal yaitu 0 hingga 100 dimana jika hasil bacaan yang didapatkan lebih besar maka kekerasan karet akan semakin besar. Pengujian shore A cocok digunakan untuk karet ebonit dan karet alam dimana kekerasan kedua jenis karet tersebut termasuk dalam skala normal. Nilai hasil bacaan durometer akan dikorelasi dengan nilai *spring force* dengan satuan milinewton (mN). Adapun klasifikasi kuat tarik dan perpanjangan putus karet sebagai bahan dasar sistem isolasi dasar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi nilai kuat tarik dan perpanjangan putus

Kriteria	Rendah	Sedang	Tinggi
<b>Kuat Tarik (Tensile Strength)</b>	< 10 MPa (1450 psi)	10-20 MPa (1450-2900 psi)	> 20 MPa (2900 psi)
<b>Perpanjangan Putus (Elongation at Break)</b>	< 30%	30-50%	> 50%

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai perpanjangan putus untuk sistem isolasi dasar tidak diperlukan terlalu besar dikarenakan pengaplikasian sistem isolasi dasar tidak memerlukan peregangan yang besar. Sebagai bahan dasar sistem isolasi dasar karet ebonit memiliki karakteristik alam yaitu kaku dan keras. Untuk itu, nilai perpanjangan putus karet ebonit jika melebihi 50% sudah dapat dikatakan sangat baik. Adapun klasifikasi nilai perubahan volume untuk pengujian *compression set* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi nilai perubahan volume

Kategori	Nilai Perubahan Volume (% dari volume awal)
<b>Sangat Rendah</b>	< 5%
<b>Rendah</b>	5% - 10%
<b>Sedang</b>	10% - 20%
<b>Tinggi</b>	20% - 30%
<b>Sangat Tinggi</b>	> 30%

Nilai perubahan volume menunjukkan seberapa besar karet mengalami perubahan setelah mengalami pemampatan tetap. Semakin kecil nilai perubahan volume maka semakin baik performa karet yang diuji dan sebaliknya. Pada pengaplikasian sistem isolasi dasar, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa baik karet ebonit dapat menahan perubahan bentuk dan kembali ke wujud semula akibat tekanan.

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 diketahui bahwa terdapat perbedaan formulasi yaitu karet ebonit memiliki kadar sulfur sebesar 40 phr sedangkan karet alam memiliki kadar sulfur yaitu 1,3 phr. Hal ini dilakukan untuk membedakan karet ebonit dari karet alam dan hanya dibedakan pada kadar sulfurnya saja, dikarenakan pada pengujian sebelumnya telah dilakukan pengujian dengan kadar bahan pembentuk karet lainnya. Perbedaan formulasi karet ebonit dan karet alam dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbedaan dosis formulasi karet ebonit dengan karet alam

No.	Bahan	Fungsi	Dosis Karet	Dosis karet
			Alam (phr)	Ebonit (phr)
1	SIR 20	Polimer Dasar	100	100
2	Zinc Oxide (ZnO)	Aktivator	5	5
3	Stearic Acid	Aktivator	2	2
4	Sulfur	Pemvulkanisasi	1,3	40
5	CBS	Akselerator	0,7	0,7
6	TMTD	Akselerator	0,8	0,8
7	Carbon N330	Pengisi	75	75
8	Minarex	Pengisi	5	5
9	Antilux	Antioksidan	3,5	3,5
10	Ionol	Antioksidan	2	2
11	TMQ	Antioksidan	2	2
12	Antioxidant (6-PPD)	Antioksidan	3	3
13	Aktioplast	Pengisi	3	3

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui nilai  $T_{90}$  karet ebonit lebih cepat dibandingkan dengan karet alam dengan waktu yang sama yaitu 30 menit dan suhu yang sama yaitu  $150^{\circ}\text{C}$ . Hal ini disebabkan oleh kadar sulfur karet ebonit lebih banyak dibandingkan dengan karet alam sehingga memerlukan waktu yang lebih singkat untuk proses vulkanisasi.

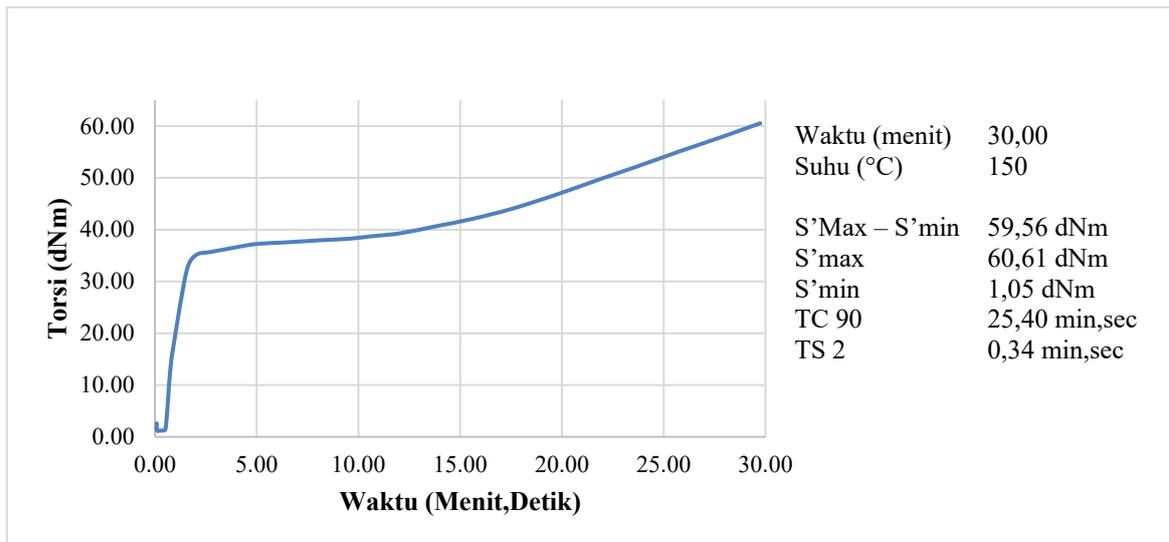
Tabel 7. Hasil *rheo test*

Jenis Karet	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\text{max}}$ (Menit)	$\text{TS}_2$ (Menit)	$T_{90}$ (Menit)
Karet Alam	150	30:00	01:04	03:46
Karet Ebonit	150	30:00	00:34	25:40

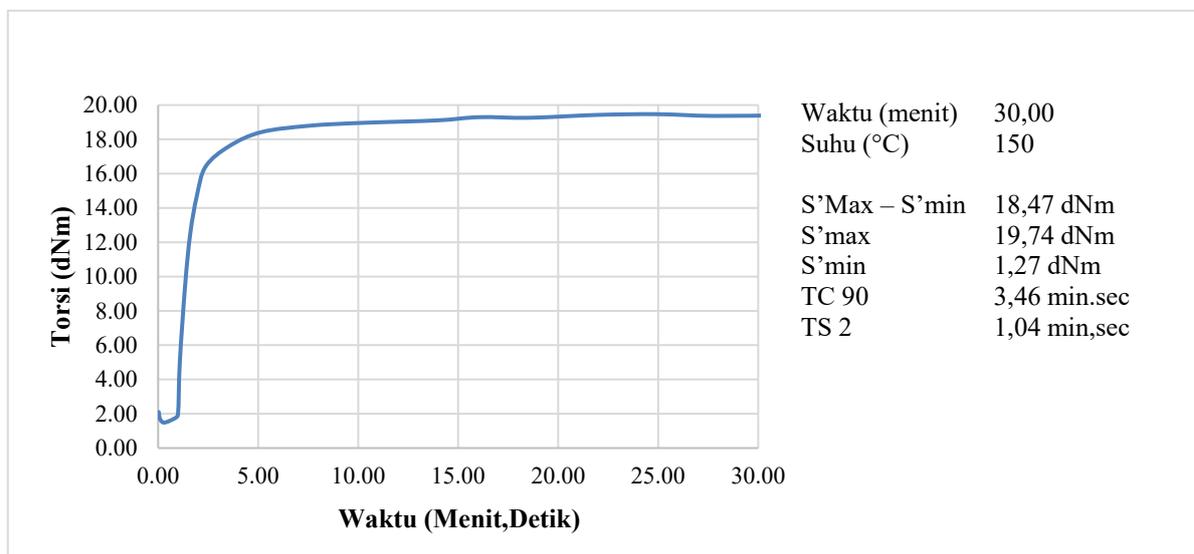
Berdasarkan hasil pengujian *rheo test* pada Tabel 7 dan Gambar 4, dapat diketahui bahwa untuk mencapai 90% proses vulkanisasi ( $T_{90}$ ) diperlukan waktu 25 menit 40 detik bagi karet ebonit dan 3 menit 46 detik bagi karet alam. Sementara itu waktu awal reaksi pada karet ebonit adalah 34 detik sedangkan karet alam 1 menit 4 detik hal tersebut dipengaruhi oleh kadar sulfur yang berbeda. Proses vulkanisasi akan membentuk ikatan silang karet dan kadar sulfur mempengaruhi kecepatan pembentukan ikatan silang tersebut. Semakin banyak kadar sulfur karet maka akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk membentuk ikatan silang tersebut berbeda dengan waktu awal reaksi ( $T_2$ ), semakin banyak kadar sulfur maka karet akan semakin cepat bereaksi. Jadi dapat diketahui bahwa semakin banyak kadar sulfur maka karet atau benda uji akan semakin cepat bereaksi namun akan memerlukan waktu yang lebih lama untuk membentuk ikatan silang. Berikut merupakan grafik *rheo test* karet alam dan karet ebonit pada Gambar 5 dan Gambar 6 dengan waktu yang digunakan untuk keduanya adalah 30 menit dan suhu  $150^{\circ}\text{C}$ , dimana kedua karet tersebut melewati tahapan yang sama.



Gambar 4. Pengujian *rheo test*



Gambar 5. Rheo test karet ebonit



Gambar 6. Rheo test karet alam

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa karet ebonit mengalami kenaikan torsi yang signifikan di bawah waktu 5 menit dan setelah itu mengalami torsi stabil hingga menit ke 10 dan kembali naik pada menit atau waktu selanjutnya hingga waktu maksimal yaitu 30 menit. Minimum torsi atau  $T_{min}$  pada karet ebonit adalah 1,05 dNm dan waktu maksimum torsi atau  $T_{max}$  adalah 60,61 sehingga selisih torsi yang didapatkan adalah 59,56 dNm. Peningkatan berlanjut setelah vulkanisasi terjadi dapat disebabkan oleh kadar sulfur yang tinggi. Setelah mengalami vulkanisasi atau ikatan silang torsi akan terus mengalami kenaikan dikarenakan ada ikatan silang berlanjut akibat kadar sulfur yang tinggi. Kejadian tersebut termasuk kedalam kejadian tidak stabil (*Torsional instability of stretched rubber*) dikarenakan torsi mengalami vulkanisasi secara terus menerus dan dapat dikatakan karet belum mencapai kondisi optimal atau stabil.

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa karet alam mengalami kenaikan torsi yang signifikan di bawah waktu 5 menit dan setelah itu mengalami torsi stabil hingga waktu maksimal yaitu 30 menit. Minimum torsi atau  $S'_{min}$  pada karet alam adalah 1,27 dNm dan waktu maksimum torsi atau  $S'_{max}$  adalah 19,74 sehingga selisih torsi yang didapatkan adalah 18,47 dNm. Kestabilan torsi setelah proses vulkanisasi menandakan karet telah mencapai kondisi optimal dan telah mencapai sifat mekanis. Hal tersebut juga dapat menunjukkan bahwa tidak adanya proses vulkanisasi berkelanjutan yang dapat mempengaruhi sifat fisik karet.

Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9 dapat diketahui bahwa kekerasan karet ebonit memiliki nilai yang lebih besar dari karet alam. Sementara itu untuk nilai kuat tarik, perpanjangan putus, dan perubahan volume karet ebonit memiliki nilai yang lebih kecil. Hal ini dapat terjadi dikarenakan semakin keras benda uji maka ketahanan benda uji untuk

menahan tarik semakin kecil. Sementara itu perubahan volume karet ebonit besar dikarenakan sifatnya yang lebih getas sehingga dapat mengalami perubahan volume yang cukup besar.

Tabel 8. Hasil pengujian karet alam

Pengujian	Standar Pengujian (ASTM)	Hasil	Satuan
Kekerasan	D 2240-15	74	Shore A
Kuat tarik	D 412-16	18,1	Mpa
Perpanjangan putus	D 412-17	410	%
Modulus 300%	D 412-18	13,2	Mpa
Perubahan volume/pemampatan	D 395-16e1	20,92	%

Tabel 9. Hasil pengujian karet ebonit

Pengujian	Standar Pengujian	Hasil	Satuan
Kekerasan	D 2240-15	88	Shore A
Kuat tarik	D 412-16	14,6	Mpa
Perpanjangan putus	D 412-17	70	%
Modulus 300%	D 412-18	-	Mpa
Perubahan volume/pemampatan	D 395-16e1	91,08	%

Jika dibandingkan dengan karet alam, karet ebonit hanya unggul dalam kekerasannya sementara itu kuat tarik, perpanjangan putus dan perubahan volume masih memiliki nilai yang tidak sebanding. Namun tidak dapat langsung disimpulkan bahwa karet ebonit tidak bisa digunakan sebagai bahan dasar dalam sistem isolasi dasar. Berikut beberapa analisa yang didapatkan setelah pengujian dilakukan. Setelah pengujian dilakukan didapatkan hasil yaitu nilai kekerasan karet ebonit 88 shore A sangat baik dan juga sanggup menahan kuat tarik sebelum putus 14,6 MPa dengan baik. Hal tersebut menunjukkan walaupun karet ebonit kaku, karet ini tetap sanggup untuk menahan kuat tarik sebelum putus yang berarti karet ebonit dapat dijadikan salah satu bahan dengan kebutuhan material yang kuat dan keras. Hasil pengujian perpanjangan putus karet ebonit yaitu 70% menunjukkan bahwa karet tersebut sanggup menahan regangan sebelum putus dengan baik sehingga cocok digunakan untuk aplikasi yang memerlukan regangan yang cukup tinggi. Selain itu hasil pengujian perubahan volume juga menunjukkan bahwa karet ebonit mengalami perubahan volume yang cukup tinggi yaitu 91,08 % sehingga perlu dilakukan evaluasi dan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan performa yang optimal. Sebagai bahan dasar sistem isolasi dasar karet ebonit memiliki sifat yang keras dan kuat sehingga memungkinkan untuk dijadikan bahan dasar sistem isolasi dasar. Namun jika dilihat dari hasil pengujian perubahan volume (*compression set*) karet ebonit masih harus dikembangkan terlebih dahulu agar lebih optimal dalam pengaplikasian sebagai bahan dasar sistem isolasi dasar.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan pengujian kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus, dan perubahan volume dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Perbedaan perilaku yang didapatkan selama pengujian yaitu karet ebonit memerlukan waktu vulkanisasi yang lebih lama dibandingkan dengan karet alam. Hal ini dikarenakan karet ebonit memiliki kadar sulfur yang tinggi yaitu 30-50%. Dimana dengan dosis 40 phr didapatkan nilai  $T_{90}$  yaitu 25 menit 40 detik dan dapat meningkat jika kadar sulfur ditambah. Perbedaan lain yang didapatkan yaitu torsi dari kedua karet menunjukkan perbedaan setelah proses awal vulkanisasi. Karet ebonit masih mengalami peningkatan torsi hingga waktu maksimal sementara itu karet alam telah mencapai keseimbangan setelah proses pembentukan ikatan silang.
- Hasil pengujian mekanis menunjukkan bahwa karet ebonit memiliki kekerasan yang baik yaitu 88 shore A, sanggup menahan kuat tarik sebelum putus yaitu 14,6 Mpa dan dapat menahan regangan hingga 70%. Namun karet ebonit memiliki hasil pengujian perubahan volume yang kurang optimal dan hal tersebut dapat berdampak pada saat pengaplikasiannya ke dalam sistem isolasi dasar.
- Hasil pengujian menunjukkan bahwa karet ebonit memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan dasar dalam sistem isolasi dasar dikarenakan kemampuannya dalam menahan tekan dan tarik sebelum putus dengan cukup baik, serta mampu meregang dengan baik sesuai dengan kebutuhan sistem isolasi dasar. Namun harus didukung dengan bahan tambahan atau pendamping yang dapat mendukung ketahanan sehingga dapat menahan perubahan bentuk akibat gaya yang didapatkan.

Adapun saran yang dapat diberikan penulis agar penelitian ini dapat dilanjutkan dan dikembangkan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan formulasi karet yang sudah diuji, penelitian selanjutnya dapat mencari formulasi optimal karet ebonit untuk mengetahui apakah terdapat kombinasi yang dapat menjadikan karet ebonit tahan terhadap perubahan bentuk dan dapat kembali ke wujud semula. Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa bahan yang berpengaruh secara signifikan adalah sulfur. Untuk itu dapat diteliti lagi apakah sulfur dapat dioptimalkan dan apakah bahan pengisi lainnya dapat mempengaruhi secara signifikan kepada performa karet ebonit.
- b. Pengujian selanjutnya dapat dilakukan pengujian bahan pengisi lainnya yang dapat dijadikan pengisi karet alam seperti serbuk ban bekas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arguello, J. M., & Santos, A. (2016). Hardness and compression resistance of natural rubber and synthetic rubber mixtures. *Journal of Physics: Conference Series*, 687(1), 012088. DOI: 10.1088/1742-6596/687/1/012088
- Cifriadi, A., Puspitasari, S., Falaah, A. F., & Wijaya, U. (2021). Formulasi paduan karet alam/kloroprena dalam rancangan material komposit karet untuk bantalan isolator tahan gempa. *Journal of Leather, Rubber, and Plastics*, 37(2), 87-94.
- Darmono, F. S. (2009). *Study eksperimental pengolahan karet alam untuk bahan ebonit* [Disertasi doktor, Univerversitas Muhammadiyah Surakarta].
- Dewobroto, W. (2012). *Menyongsong era bangunan tinggi dan bentang panjang*. Universitas Pelita Harapan.
- Edianto, M. J. (2021). *Analisis perbandingan keefektivitasan base isolator tipe lead rubber bearing dan high damping rubber bearing pada bangunan bertingkat sedang dengan analisis dinamik riwayat waktu nonlinear* [Disertasi doktor, Universitas Atma Jaya Yogyakarta].
- Imran, M. (2018). Material konstruksi ramah lingkungan dengan penerapan teknologi tepat guna. *RADIAL – Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 6(2), 146-157.
- Kurnianto, Y. T. (2019). *Pengaruh persepsi risiko bencana terhadap kesiapsiagaan bencana pada keluarga di pesisir pantai kecamatan sumur, Pandeglang* [Disertasi doktor, Universitas Negeri Jakarta].
- Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: From theory to practice*. John Wiley & Sons.
- Porwanta, A., & Febriantoko, B. W. (2013). *Perbandingan porositas produk hasil injeksi molding dan pres molding pada proses pembuatan hendel pintu mobil* [Disertasi doktor, Universitas Muhammadiyah Surakarta].
- Syarif, M., Ahmad, S. N., Utomo, P. K., Purnama, H., Sari, D. P., Bachtiar, E., Isdyanto, A., Herlambang, A. R., Syukuriah, Prasetyo, B. E., & Rachman, R. M. (2024). *Material konstruksi*. CV. Tohar Media.