

**SKRIPSI**

**PENGARUH KOMPOSISI DAN UKURAN SERBUK KARET  
KOMPOSIT TERMOSET – ELASTOMER TERHADAP  
KEKUATAN IMPAK DAN RESPON GETARAN**

**Oleh :**

**MUH. ALGAZALI**

**D211 16522**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

SKRIPSI

PENGARUH KOMPOSISI DAN UKURAN SERBUK KARET  
KOMPOSIT TERMOSET – ELASTOMER TERHADAP  
KEKUATAN IMPAK DAN RESPON GETARAN

OLEH :  
MUH. ALGAZALI  
D211 16 522

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**JUDUL :**

**PENGARUH KOMPOSISI DAN UKURAN SERBUK KARET  
KOMPOSIT TERMOSET – ELASTOMER TERHADAP  
KEKUATAN IMPAK DAN RESPON GETARAN**

**MUH. ALGAZALI**

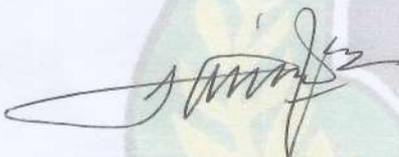
**D211 16 522**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Hari/tanggal :

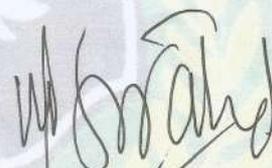
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Hairul Arsyad, ST., MT.

NIP. 19750322 200212 1 001



Dr. Muhammad Syahid, ST., MT.

NIP. 19770707 200511 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 1 001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : Muh. Algazali  
NIM : D211 16 522  
JUDUL SKRIPSI : Pengaruh Komposisi Dan Ukuran Serbuk Karet Komposit  
Termoset – Elastomer Terhadap Kekuatan Impak Dan  
Respon Getaran

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa,

Yang membuat pernyataan,



Muh. Algazali

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas segala berkat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan hasil penelitian yang berjudul **“Pengaruh Komposisi Dan Ukuran Serbuk Karet Komposit Termoset – Elastomer Terhadap Kekuatan Impak Dan Respon Getaran”** yang merupakan kelengkapan tugas akhir pada program sarjana Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah SAW sebagai suri tauladan yang terbaik sepanjang masa.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari banyak pihak penulisan skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik, karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua, ayahanda Muh. Seaman dan ibunda Rusna, yang telah membesarkan dan mendidik penulis dengan kasih sayang, nasehat, jerih payah, doa yang tidak pernah berhenti, dipanjatkan setiap sujud, serta dukungan berupa moril maupun materil selama masa perkuliahan hingga selesainya skripsi ini.
2. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST.,MT. dan Dr. Hairul Arsyad, ST., MT. Serta bapak Alm. Thomas Tjandinegara, MSME selaku pembimbing yang telah memberi bimbingan dan pengarahan dengan baik, serta memberikan nasehat dan motivasi kepada penulis.
3. Bapak Dr.Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT dan Fauzan, ST., MT., Ph.D selaku penguji yang banyak memberikan masukan kepada penulis.

4. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
5. Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, nasehat, dan pengalaman kepada penulis selama menempuh studi di dunia perkuliahan.
6. Seluruh teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Mesin khususnya Angkatan COMPREZZOR 2016. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya. Dan teman – teman Rilagen yang menjadi teman seperjuangan dari semester awal hingga sekarang ini
7. Teman-teman dan keluarga besar Komtek 09 SMFT – UH. Dan semua pihak yang tidak sempat disebutkan namanya satu persatu.
8. Berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih ada kekurangan baik dalam susunan kalimat maupun tata bahasa dalam penulisan ini. Oleh karena itu penulis dengan tangan terbuka menerima segala saran dan kritik dari pembaca. Akhir kata penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat maupun inspirasi terhadap pembaca.

Makassar, Juni 2021

Penulis

## ABSTRAK

**MUH. ALGAZALI.**, Pengaruh Komposisi Dan Ukuran Serbuk Karet Komposit Termoset – Elastomer Terhadap Kekuatan Impak Dan Respon Getaran (dibimbing oleh Dr. Hairul Arsyad, ST., MT dan Dr. Muhammad Syahid, ST., MT)

Penelitian ini bertujuan menganalisa pengaruh penambahan komposisi dan ukuran serbuk karet material termoset – elastomer terhadap kekuatan impak dan respon getaran. Penelitian ini dilakukan di laboratorium metalurgi fisik dan laboratorium getaran dan akustik fakultas teknik universitas hasanuddin. Pembuatan spesimen menggunakan resin epoxy sebagai matriks dan serbuk karet ban bekas sebagai bahan pengisi. Variasi penambahan komposisi serbuk karet adalah 10, 20, 30, 40 dan 50 (%) dan variasi ukuran dari serbuk karet adalah 0,25 ; 0,5 dan 0,7 mm.

Hasil penelitian menunjukkan respon getaran berupa frekuensi natural dan rasio redaman, dimana frekuensi natural maksimum diperoleh pada komposisi serbuk karet 10% dengan ukuran serbuk 0,25 mm, sedangkan nilai minimum diperoleh pada komposisi 50% dengan ukuran serbuk 0,7 mm. Nilai maksimum rasio redaman diperoleh pada komposisi serbuk karet 50% dengan ukuran serbuk 0,7mm, sedangkan nilai minimum rasio redaman diperoleh pada komposisi 10% dengan ukuran serbuk 0,7mm. Hasil pengujian kekuatan impak maksimum diperoleh pada komposisi serbuk karet 50% dengan ukuran serbuk 0,25mm, sedangkan untuk nilai minimum diperoleh pada komposisi 10% dengan ukuran serbuk 0,7mm. Hasil patahan dari beberapa komposisi fraksi berat menghasilkan patahan ulet. Hal ini ditunjukkan dengan permukaan yang agak kasar akibat dari ikatan antara serbuk karet dan matriks resin epoxy yang merata, dalam hal ini serbuk karet membelokkan arah patahan yang terjadi.

**Kata kunci :** Serbuk karet, Termoset-elastomer, Komposit, Respon getaran, Kekuatan Impak

## ABSTRACT

**MUH. ALGAZALI,** Effect of Composition and Size of Thermoset-Elastomeric Composite Rubber Powder on Impact Strength and Vibration Response (supervised by Dr. Hairul Arsyad, ST., MT and Dr. Muhammad Syahid, ST., MT)

This study aims to analyze the effect of adding the composition and size of the rubber powder material thermoset - elastomer on the impact strength and vibration response. This research was conducted in the physical metallurgy laboratory and the vibration and acoustics laboratory of the Hasanuddin University Faculty of Engineering. The specimens were made using epoxy resin as a matrix and used tire rubber powder as a filler. Variations in addition of rubber powder composition were 10, 20, 30, 40 and 50 (%) and size variations of rubber powder were 0.25; 0.5 and 0.7 mm.

The results showed the vibration response in the form of natural frequency and damping ratio, where the maximum natural frequency was obtained at the composition of 10% rubber powder with a powder size of 0.25 mm, while the minimum value was obtained at the composition of 50% with a powder size of 0.7 mm. The maximum value of the damping ratio was obtained at a composition of 50% rubber powder with a powder size of 0.7mm, while the minimum value of the damping ratio was obtained at a composition of 10% with a powder size of 0.7mm. The results of the maximum impact strength test were obtained at a composition of 50% rubber powder with a powder size of 0.25mm, while the minimum value was obtained at a composition of 10% with a powder size of 0.7mm. Fracture results from several heavy fraction compositions produce ductile fractures. This is indicated by a slightly rough surface due to the uniform bond between the rubber powder and the epoxy resin matrix, in this case the rubber powder deflects the direction of the fracture that occurs.

**Keywords :** Rubber powder, Thermoset-elastomer, Composite, Vibration response, Impact Strength

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMABAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Polimer .....	6
2.1.1. Termoplastik .....	7
2.1.2. Termoset.....	7
2.1.3. Elastomer.....	8
2.2. Resin Epoxy .....	9
2.3. Styrene Butadiene Rubber (SBR).....	11
2.4. Pengujian Ketangguhan ( <i>Impact</i> ) .....	12
2.4.1. Pengujian Impak Metode <i>Charpy</i> .....	13
2.4.2. Prinsip Dasar Uji Impak Charpy .....	15

2.4.3. Takik ( <i>Notch</i> ) .....	17
2.5. Getaran .....	18
2.5.1. Rasio Redaman.....	19
2.5.2. Frekuensi Natural .....	20
2.5.3. Menentukan Rasio Redaman .....	21
2.5.4. <i>Experimental Modal Analysis</i> (EMA).....	24
2.5.5. <i>Frequency Respon Function</i> (FRF).....	27

### **BAB III MOTODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Tempat Penelitian.....	28
3.2. Bahan Penelitian.....	28
3.3. Alat Penelitian .....	29
3.4. Langkah Kerja Spesimen.....	31
3.4.1. Tahap Pembuatan Spesimen .....	31
3.4.2. Tahap Pengujian Getaran .....	33
3.4.3. Tahap Pengujian Kekuatan Impak .....	33
3.4.4. Tahap Analisa data.....	34
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	35

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Analisa Hasil Pengujian Respon Getaran.....	36
4.1.1. Grafik Amplitudo Percepatan terhadap Variasi Komposisi Serbuk Karet .....	36
4.1.2. Grafik amplitudo Percepatan terhadap Variasi Ukuran Serbuk Karet.....	37
4.1.3. Nilai Frekuensi Natural dan Rasio Redaman .....	38
4.2. Pengaruh Variasi Komposisi Termoset – Elastomer Terhadap Respon Getaran .....	43
4.2.1. Frekuensi Natural .....	43
4.2.2. Rasio Redaman.....	45

4.3. Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk Karet Komposit Termoset – Elastomer Terhadap Respon Getaran .....	47
4.3.1. Frekuensi Natural .....	47
4.3.2. Rasio Redaman.....	48
4.4. Analisa Hasil Pengujian Kekuatan Impak.....	51
4.5. Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Termoset – Elastomer Terhadap Kekuatan Impak .....	54
4.6. Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk Karet Komposit Termoset – Elastomer Terhadap Kekuatan Impak .....	56
4.7. Foto Hasil Patahan Pengujian Impak .....	58

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran.....	62

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Bentuk struktur ikatan silang polimer termoset .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Aplikasi karet sintetis jenis SBR biasa ditemukan pada ban mobil .	12
<b>Gambar 2.3</b>	Pembebanan Metode Charpy dan Metode Izod .....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Ilustrasi Skematis Pengujian Impak .....	15
<b>Gambar 2.5</b>	Dimensi spesimen uji impak metode Charpy .....	17
<b>Gambar 2.6</b>	Sistem getaran 1 derajat kebebasan .....	19
<b>Gambar 2.7</b>	Respon perpindahan dari sistem yang bergetar bebas .....	22
<b>Gambar 2.8</b>	Half-power bandwidth .....	24
<b>Gambar 3.1</b>	Resin epoxy dan hardener.....	28
<b>Gambar 3.2</b>	Serbuk karet ban bekas .....	28
<b>Gambar 3.3</b>	Timbangan digital.....	29
<b>Gambar 3.4</b>	Cetakan .....	29
<b>Gambar 3.5</b>	Jangka sorong .....	30
<b>Gambar 3.6</b>	Penjepit .....	30
<b>Gambar 3.7</b>	Vibexpert II .....	30
<b>Gambar 3.8</b>	Alat uji Impak Karl Frank GmbH type 53580 – 150 Joule .....	31
<b>Gambar 3.9</b>	Spesimen pengujian respon getaran .....	32
<b>Gambar 3.10</b>	Spesimen pengujian kekuatan impact .....	32
<b>Gambar 3.11</b>	Skema konfigurasi pemasangan spesimen respon getaran .....	33
<b>Gambar 3.12</b>	Skema pengujian Kekuatan impact metode Charpy .....	34
<b>Gambar 4.1</b>	Perbandingan Grafik amplitudo percepatan terhadap penambahan berat serbuk karet pada ukuran serbuk 0,25 mm dimana (a) 10% serbuk karet , (b) 30% serbuk karet dan (c) 50% serbuk karet.....	36

<b>Gambar 4.2</b> Perbandingan grafik amplitudo percepatan terhadap variasi ukuran serbuk karet pada komposisi serbuk 50% dimana (a) 0,25 mm ; (b) 0,5 mm dan (c) 0,7 mm.....	37
<b>Gambar 4.3</b> Grafik amplitudo Percepatana pada kondisi 100% resin.....	39
<b>Gambar 4.4</b> Spektrum frekuensi pada komposisi 100% resin.....	39
<b>Gambar 4.5</b> Grafik amplitudo Percepatana pada kondisi 100% resin.....	40
<b>Gambar 4.6</b> Grafik spektrum frekuensi pada spesimen 100% resin .....	41
<b>Gambar 4.7</b> Grafik amplitudo Percepatana pada kondisi 100% resin.....	42
<b>Gambar 4.8</b> Hubungan variasi fraksi berat serbuk karet terhadap frekuensi natural komposit termoset – elastomer .....	43
<b>Gambar 4.9</b> Hubungan variasi fraksi besar serbuk karet terhadap rasio redaman komposit termoset – elastomer .....	45
<b>Gambar 4.10</b> Hubungan variasi ukuran serbuk karet terhadap frekuensi natural komposit termoset – elastomer .....	47
<b>Gambar 4.11</b> Hubungan variasi ukuran serbuk karet terhadap rasio redaman komposit termoset – elastomer .....	48
<b>Gambar 4.12</b> Hubungan variasi fraksi berat serbuk karet terhadap kekuatan impak komposit termoset – elastomer .....	54
<b>Gambar 4.13</b> Hubungan variasi ukuran serbuk karet terhadap kekuatan impak komposit termoset – elastomer .....	56
<b>Gambar 4.14</b> Hasil patahan uji impak komposit epoxi – serbuk karet pada berbagai variasi .....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Spesifikasi teknis Resin Epoxy .....	10
<b>Tabel 2.2</b> Sifat-sifat karet secara khusus .....	11
<b>Tabel 2.3</b> Nilai numerikal $(\beta_{nl})^2$ untuk keadaan ujung tertentu .....	21
<b>Tabel 4.1</b> Data hasil analisis Frekuensi Natural ( $\omega_n$ ).....	38
<b>Tabel 4.2</b> Data hasil analisis rasio redaman ( $\zeta$ ).....	40
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Perhitungan Kekuatan Impak pada Ukuran Serbuk Karet #60....	51
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Perhitungan Kekuatan Impak pada Ukuran Serbuk Karet #35....	52
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Perhitungan Kekuatan Impak pada Ukuran Serbuk Karet #25....	52
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Perhitungan Kekuatan Impak pada kondisi 100% karet dan 100% resin .....	53

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh perkembangan jumlah sampah yang ada di Indonesia adalah hal yang tidak bisa dihindari lagi. Hal ini merupakan masalah serius yang harus ditangani untuk mempercepat perbaikan sistem pengelolaannya. Salah satu jenis sampah yang sangat sulit pengelolaannya adalah sampah polimer seperti plastik dan karet.

Data mengatakan bahwa Indonesia merupakan negara dengan jumlah pencemaran sampah plastik ke laut terbesar kedua di dunia. China memimpin dengan tingkat pencemaran sampah plastik ke laut sekitar 1,23-3,53 juta ton/tahun (CNBC : Jenna Jembeck, 2015).

Plastik dapat dikelompokkan atas dua tipe, yaitu thermoplastik dan termoset. Thermoplastik adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali dengan menggunakan panas, antara lain polietilen, polipropilen, polistiren dan polivinilklorida. Sedangkan termoset adalah plastik yang tidak dapat dilunakkan oleh pemanasan, antara lain phenol formaldehid dan urea formaldehid.

Dalam dekade terakhir, permintaan ban di seluruh dunia meningkat seiring dengan pertumbuhan produksi kendaraan. Pada tahun 2018, permintaan global ban mencapai hampir 3112 juta unit, tumbuh 4,4% (CAGR) antara 2014 dan 2018. Kemudian, pada tahun 2019 - 2024 juga diperkirakan akan tumbuh pada sebesar 4% dengan volume yang mencapai

4014 juta unit pada tahun 2024 . Pada tahun 2017, Cina menguasai hampir 49% industri ban pada skala global, diikuti oleh Eropa, Amerika Serikat, India, dan Jepang yang merupakan produsen ban yang signifikan di dunia. (Rochman dan Setyo, 2019)

Limbah karet berupa ban bekas membutuhkan waktu yang cukup lama saat terdekomposisi oleh mikro-organisme yang hidup di alam, sehingga penumpukan dalam jumlah yang besar akan menimbulkan masalah lingkungan.

Salah satu cara daur ulang ban karet bekas adalah dengan mencampurkan ke dalam material lain. Kombinasi antara dua atau beberapa material tunggal diharapkan mampu mengurangi keterbatasan sifat masing-masing material penyusunnya. Komposit partikulat terdiri dari fasa matrik yang diperkuat dengan fasa dispersi dalam bentuk partikel. Penguat dianggap sebagai partikel jika seluruh dimensinya secara kasar sama. (Suyoko dan Kurniawan, 2014)

Karet merupakan salah satu jenis polimer yang memiliki perilaku khas yaitu memiliki daerah elastis (mudah berubah bentuknya dan mudah kembali ke bentuk asal) non-linear yang sangat besar. Karet alam mempunyai sifat keliatan atau kelekatan yang tinggi dan sifat fisik seperti elastisitas, kuat tarik (*tensile strength*) dan kepegasan (*resilience*) yang tinggi. Namun sifat yang tidak polar dan kandungan ikatan tak jenuh yang tinggi dalam molekul, karet alam tidak tahan oksidasi, ozonisasi, panas dan mengembang di dalam oli. (Bukit dkk, 2018)

Resin epoxy merupakan salah satu material termoset yang dibentuk melalui reaksi kimia nonreversible dimana campuran mudah dan cepat mengeras pada temperatur 5°C sampai 150°C. Resin epoxy memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah tahan aus, tahan unsur kimia, penyusutan rendah, tahan terhadap fatik dan creep, kemampuan adhesi baik sekali dan mudah dibentuk. Kekurangan pada resin epoxy antara lain bersifat getas, sensitif terhadap takik (notch), kekuatan rendah, keterbatasan temperatur operasi ( $\approx 200^\circ\text{C}$ ), mudah menyerap uap air, koefisien ekspansi thermal tinggi. (Suyoko dan Kurniawan, 2014)

Keterbatasan yang nyata dari matrik epoxy karena bersifat getas dan kekuatannya yang rendah dapat diatasi dengan penambahan serbuk karet ban bekas sebagai filler dalam ukuran mikro. Penambahan serbuk karet juga dimaksudkan untuk meningkatkan nilai elastisitas material komposit.

Pembuatan komposit ini diharapkan menjadi produk inovatif baru sebagai salah satu cara mengatasi masalah lingkungan sekaligus menjadi material alternatif yang ringan dan kuat sebagai pengganti material logam pada berbagai aplikasi di bidang rekayasa material. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggabungan partikel serbuk karet ban bekas ke dalam struktur perkerasan dan bahan berbasis beton lainnya meningkatkan sifat penyerapan getaran (Maderuelo-Sanz dkk., 2013; Paje dkk., 2010), sehingga bisa menjadi masalah juga dalam kasus komposit polimer. Dalam hal polimer yang terikat silang, misalnya resin epoksi dan poliester, penggabungan limbah serbuk karet ditujukan terutama untuk meningkatkan

ketangguhannya ( Ratna dan Banthia, 2004 ). Karena elastisitas yang tinggi dari partikel karet, keberadaannya juga dapat mempengaruhi kekuatan benturan atau fleksural material.

Penelitian ini akan meneliti pengaruh variasi komposisi dan ukuran serbuk karet sebagai filler pada material komposit Termoset - Elastomer terhadap kekuatan impak dan respon getaran (frekuensi pribadi dan rasio redaman).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana pengaruh fraksi berat dan ukuran serbuk karet pada material komposit Termoset - Elastomer terhadap respon getaran (frekuensi natural dan rasio redaman) dan kekuatan impak

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis respon getaran dan kekuatan impak komposit Termoset - Elastomer akibat pengaruh variasi komposisi serbuk karet.
2. Menganalisis respon getaran dan kekuatan impak komposit Termoset – Elastomer akibat pengaruh ukuran serbuk karet

## **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan Termoset ( resin epoxy) dan karet ban jenis *Styrene-Butadiene Rubber* (SBR).
2. Variasi ukuran serbuk karet yang digunakan adalah 0,25 ; 0,5 dan 0,7 mm

3. Perbandingan fraksi berat dari resin dan serbuk karet pada material Termoset – Elastomer (%) yang diuji adalah 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 dan 0:100.
4. Posisi spesimen pada pengujian respon getaran di jepit secara kantilever
5. Temperatur pencampuran dan pengujian dilakukan pada temperatur ruang
6. Jumlah spesimen yang digunakan pada pengujian impak adalah 5 buah setiap variasi.
7. Standar pengujian yang dilakukan adalah ASTM E 756-98 untuk uji respon getaran dan ASTM D 256-00 untuk uji kekuatan impak.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan tambahan referensi untuk pengembangan material komposit Termoset – Elastomer.
2. Memberikan informasi respon getaran dan kekuatan impak material komposit Termoset – Elastomer.
3. Menghasilkan material komposit alternatif baru yang mampu memperbaiki sifat – sifat komposit konvensional dan dapat meredam getaran serta memiliki kekuatan impak yang baik.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. Polimer

Polimer adalah suatu molekul raksasa (*makromolekul*) yang terbentuk dari susunan ulang molekul kecil yang terikat melalui ikatan kimia disebut polimer (*poly* = banyak; *mer* = bagian). Suatu polimer akan terbentuk bila seratus atau seribu unit molekul yang kecil (*monomer*), saling berikatan dalam suatu rantai. Jenis-jenis monomer yang saling berikatan membentuk suatu polimer terkadang sama atau berbeda. Sifat-sifat polimer berbeda dari monomer-monomer yang menyusunnya.

Polimer merupakan senyawa-senyawa yang tersusun dari molekul sangat besar yang terbentuk oleh penggabungan berulang dari banyak molekul kecil. Molekul yang kecil disebut monomer, dapat terdiri dari satu jenis maupun beberapa jenis. Polimer adalah sebuah molekul panjang yang mengandung rantai-rantai atom yang dipadukan melalui ikatan kovalen yang terbentuk melalui proses polimerisasi dimana molekul monomer bereaksi bersama-sama secara kimiawi untuk membentuk suatu rantai linier atau jaringan tiga dimensi dari rantai polimer. Polimer didefinisikan sebagai makromolekul yang dibangun oleh pengulangan kesatuan kimia yang kecil dan sederhana yang setara dengan monomer, yaitu bahan pembuat polimer. (Atika, 2015)

Pada dasarnya, polimer dapat dibagi atas polimer alamiah dan polimer sintetis. Polimer alamiah adalah polimer yang langsung diambil dari tumbuhan dan hewan. Polimer jenis ini telah dimanfaatkan manusia selama berabad-abad

seperti karet, kayu, kapas, wol dan kulit. Selain itu, terdapat pula polimer alamiah yang sangat diperlukan dalam proses - proses biologis dan fisiologis tumbuh - tumbuhan dan hewan, seperti protein, enzim dan selulosa. Sedangkan polimer sintetis merupakan polimer hasil buatan manusia. Saat ini hampir seluruh manusia baik sebagian atau seluruhnya terbuat dari polimer sintetis.

Polimer diklasifikasikan berdasarkan struktur makro molekul dan mekanisme ikatan di dalamnya. Berdasarkan kriteria tersebut, polimer dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok, yaitu termoplastik, termoset dan elastomer.

### **2.1.1. Termoplastik**

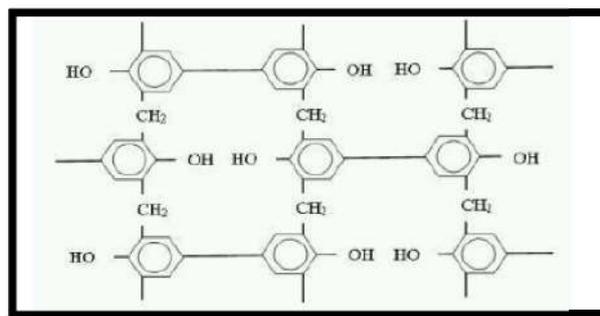
Termoplastik bersifat lunak jika dipanaskan dan dapat dicetak kembali menjadi bentuk lain. Hal ini dikarenakan termoplas memiliki banyak rantai panjang yang terikat oleh gaya antar molekul yang lemah. Contoh polimer yang memiliki sifat termoplastik adalah PVC, polietena, nilon 6,6 dan polistirena. (Hidayat, 2015)

### **2.1.2. Termoset**

Termoset mempunyai bentuk permanen dan tidak menjadi lunak jika dipanaskan. Penyebabnya adalah termoset memiliki banyak ikatan kovalen yang sangat kuat diantara rantai – rantainya. Ikatan kovalen akan terputus serta terbakar jika dilakukan pemanasan yang tinggi. Polimer yang memiliki sifat termoset adalah Epoksi, Polyester, Plenol, Resin Amino, Resin furan dll. (Hidayat, 2015)

Polimer termoseting adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak dapat meleleh.

Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan). Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi. Polimer termoseting memiliki ikatan – ikatan silang yang mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer ini, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer. (Atika, 2015)



Gambar 2.1. Bentuk struktur ikatan silang polimer termoset  
Sumber : [Anggunchemistry.blogspot.com](http://Anggunchemistry.blogspot.com)

### 2.1.3. Elastomer

Rantai molekul dari elastomer mempunyai sedikit jumlah ikatan silang dan tersusun secara acak (ketidak teraturan). Termoset dan elastomer dikategorikan sebagai polimer ikatan silang (*cross link*) karena setiap individunya dihubungkan dengan ikatan penghubung (*transverse bond*). Pada suhu ruang, molekul yang mempunyai banyak *cross link* akan sangat keras (*hardness*) tetapi mudah patah (*brittle*) yaitu sensitive terhadap beban kejut (*impact*). Seperti halnya elastomer, termoset tidak meleleh jika dipanaskan karena banyaknya *cross link*.

## 2.2. Resin Epoxy

Resin epoxy merupakan salah satu material thermoset yang dibentuk melalui reaksi kimia nonreversible dimana campuran mudah dan cepat mengeras pada temperatur 5°C sampai 150°C. Resin epoxy memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah tahan aus, tahan unsur kimia, penyusutan rendah, tahan terhadap fatik dan creep, kemampuan adhesi baik sekali dan mudah dibentuk. Kekurangan pada resin epoxy antara lain bersifat getas, sensitif terhadap takik (notch), kekuatan rendah, keterbatasan temperatur operasi ( $\approx 200^\circ\text{C}$ ), mudah menyerap uap air, koefisien ekspansi thermal tinggi. Aplikasi resin epoxy digunakan secara luas pada bidang transportasi, bidang olah raga, bidang kedokteran dan peralatan umum. (Harper, 2000)

Resin Epoxy biasa digunakan sebagai bahan adhesif dan lapisan pelindung yang sangat baik karena memiliki kekuatan yang tinggi, dan daya rekat yang kuat. Selain itu epoxy juga baik dalam ketahanan terhadap bahan kimia, sifat dielektrik dan sifat isolasi, penyusutan rendah, stabilitas dimensi dan ketahanan lelahnya. (Pramanta, 2012)

Tabel 2.1. Spesifikasi teknis Resin Epoxy

No.	Sifat	Nilai
1	Masa jenis	1,20 gr/cm <sup>2</sup>
2	Modulus Young	3,2 Gpa
3	Angka Poison	0,37
4	Kekuatan Tarik	85 Mpa

Sumber : Pratama, 2012

Selain resin dari serat penguat, terdapat pula bahan-bahan pendukung yang sesuai dengan fungsinya masing - masing ikut serta dalam proses pembentukan material komposit, antara lain :

1. Catalyst, berfungsi untuk menimbulkan panas melalui reaksi kimia ketika dicampurkan pada resin sehingga terjadi proses polimerisasi. Katalis yang dipakai adalah Hardener Clear NF dan digunakan dengan komposisi 1: 2 dari fraksi berat Kanpe Clear NF.
2. Accelerator, berfungsi agar katalis dan resin vinylester dapat berpolimerasi lebih cepat tanpa pemberian panas dari luar pada suhu kamar. Accelerator yang paling sering digunakan adalah cobalt naphthenate berwarna ungu dan digunakan dengan komposisi paling tinggi 1% dari fraksi berat resin polyester.
3. Styrene, berupa cairan bening tidak berwarna yang berfungsi untuk mengencerkan tanpa merubah karakteristik resin yang stabil selama pengerasan. Jika resin digunakan dengan memakai alat penyemprot (spray gun) dengan komposisi penambahan 5 %-15 % dari fraksi berat resin.
4. Gel Coat, merupakan polyester resin yang diformulasikan khusus untuk melapisi bagian luar dari fiberglass dari goresan. Sesuai dengan fungsinya, gel coat mempunyai ketahanan terhadap air, abrasi, dan cuaca, bebas retak serta memiliki penampilan warna (pigmen) yang indah dengan pemberian zat pewarna tidak boleh lebih dari 15% dari

resin gel coat, ketebalan minimum 0,3 mm, dan ketebalan maksimum 1,0 mm. ketebalan gel coat yang biasa digunakan 0,5 mm.

5. Lapisan pelepas (Mold Release), berfungsi untuk mencegah laminasi FRP lengket dengan cetakan. Lapisan yang umum digunakan yaitu mold release wax (misalnya mirror glaze). (Ilham, 2017)

### 2.3. Styrene Butadiene Rubber (SBR)

Jenis karet SBR (*Styrene Butadine*) merupakan yang paling banyak dipakai yaitu mencapai 75% dari pemakaian total karet sintetis. SBR tersusu dari 68-70% *butadine* dan 30-32% *styrene*.

Karet SBR termasuk dalam kategori elastomer yang merupakan bagian dari material polimer, selain plastik. Sifat yang membedakan antara plastic dengan elastomer adalah elastomer harus tanpa bentuk (*amorphous*), jika ditekan dan harus diatas suhu *glass transition* untuk menjadi elastis. Sedangkan ada plastik pada suhu tersebut akan mengalami kristalisasi untuk mencapai stabilitas bentuk.

Tabel 2.2. Sifat-sifat karet secara khusus

No.	Sifat	Nilai
1	<i>Density</i>	1,65 gr/cm <sup>3</sup>
2	<i>Tensile strength</i>	1450 psi
3	<i>Compression strength</i>	5400 – 7000 psi
4	<i>Flexural strength</i>	3000 – 4800 psi
5	<i>Elongation</i>	250 %
6	<i>Temperature Operational</i>	-40 – 180 °C
7	<i>Water absorption</i>	0,01 %

Sumber : Dow Corning Corp., 1998



Gambar 2.2. Aplikasi karet sintesis jenis SBR biasa ditemukan pada ban mobil  
( Sumber : <https://www.mobil123.com/berita/mengapa-ban-bekas-sebaiknya-tak-diperjualbelikan-lagi/51637> )

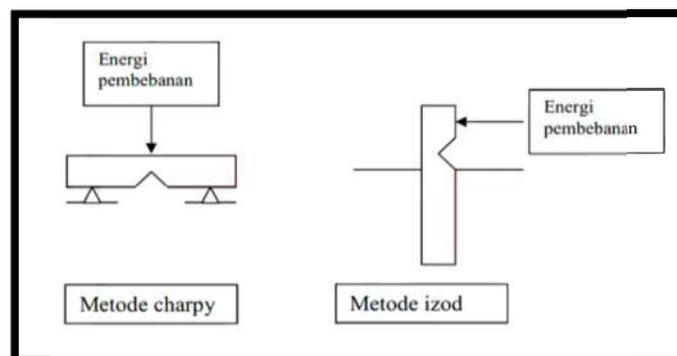
#### 2.4. Pengujian Ketangguhan (*Impact*)

Menurut Dieter, George E (1988) uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impak juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian impak ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya.

Sejumlah uji impak batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan perpatahan rapuh pada logam. Metode yang telah menjadi standar untuk uji impak ini ada 2, yaitu uji impak metode Charpy dan metode Izod. Metode charpy banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode izod lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa. Batang uji metode charpy memiliki spesifikasi, luas penampang 10 mm x 10 mm, takik

berbentuk V. Proses pembebanan uji impact pada metode Charpy dan metode Izod dengan sudut  $45^\circ$ , kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0.25 mm.

Batang uji Charpy kemudian diletakkan horizontal pada batang penumpu dan diberi beban secara tiba-tiba di belakang sisi takik oleh pendulum berat berayun (kecepatan pembebanan  $\pm 5$  m/s). Batang uji diberi energi untuk melengkung sampai kemudian patah pada laju regangan yang tinggi hingga orde  $10^3 \text{ s}^{-1}$ . Batang uji Izod, lebih banyak dipergunakan saat ini, memiliki luas penampang berbeda dan takik berbentuk V yang lebih dekat pada ujung batang. Dua metode ini juga memiliki perbedaan pada proses pembebanan. (Dieter, George E., 1988)



**Gambar 2.3. Pembebanan Metode Charpy dan Metode Izod**  
Sumber : Handoyo, 2013

#### **2.4.1. Pengujian Impact Metode Charpy**

Pengujian impact Charpy (juga dikenal sebagai tes Charpy *v-notch*) merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu dan bertindak sebagai alat untuk belajar bergantung pada suhu transisi ulet getas. Metode ini banyak

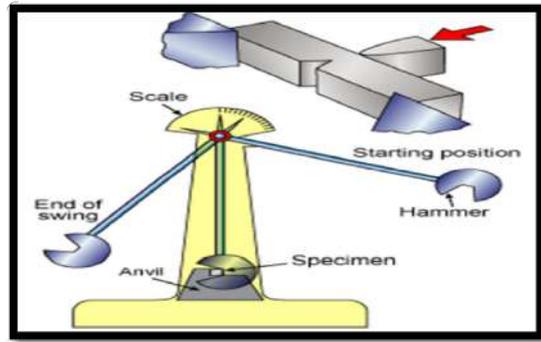
digunakan pada industri dengan keselamatan yang kritis, karena mudah untuk dipersiapkan dan dilakukan. Kemudian hasil pengujian dapat diperoleh dengan cepat dan murah.

Tes ini dikembangkan pada 1905 oleh ilmuwan Perancis Georges Charpy. Pengujian ini penting dilakukan dalam memahami masalah patahan kapal selama Perang Dunia II. Metode pengujian material ini sekarang digunakan di banyak industri untuk menguji material yang digunakan dalam pembangunan kapal, jembatan, dan untuk menentukan bagaimana keadaan alam (badai, gempa bumi, dan lain-lain) akan mempengaruhi bahan yang digunakan dalam berbagai macam aplikasi industri. Tujuan uji impact charpy adalah untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan (spesimen) yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang akan diuji secara statik.

Dimana benda uji dibuat takikan terlebih dahulu sesuai dengan standar ASTM E23 05 dan hasil pengujian pada benda uji tersebut akan terjadi perubahan bentuk seperti bengkokan atau patahan sesuai dengan keuletan atau kegetasan terhadap benda uji tersebut. Percobaan uji impact charpy dilakukan dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda uji yang akan diuji secara statik, dimana pada benda uji dibuat terlebih dahulu sesuai dengan ukuran standar ASTM E23 05.

### 2.4.2. Prinsip Dasar Uji Impak Charpy

Secara skematik alat uji impak charpy seperti gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.4. Ilustrasi Skematis Pengujian Impak  
Sumber : Handoyo, 2013

Bila pendulum pada kedudukan  $h_1$  dilepaskan, maka akan mengayun sampai kedudukan fungsi akhir pada ketinggian  $h_2$  yang juga hampir sama dengan tinggi semula  $h_1$  dimana pendulum mengayun bebas. (Handoyo, 2013)

Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah didapat rumus yaitu :

$$\begin{aligned}\text{Energi yang diserap (Joule)} &= E_p - E_m \\ &= m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 \\ &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\ &= m \cdot g \cdot (\lambda (1 - \cos \alpha) - \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)) \\ &= m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)\end{aligned}$$

Keterangan :

- $E_p$  = Energi Potensial
- $E_m$  = Energi Mekanik
- $m$  = Berat Pendulum (Kg)
- $g$  = Gravitasi  $9,81 \text{ m/s}^2$

$h_1$  = Jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

$h_2$  = Jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

$\lambda$  = Jarak lengan pengayun (m)

$\cos \alpha$  = Sudut posisi awal pendulum

$\cos \beta$  = Sudut posisi akhir pendulum

dari persamaan rumus diatas didapatkan besarnya harga impak yaitu :

$$K = \frac{W}{A} (Kg.m/mm^2)$$

**Rumus – rumus yang sering digunakan :**

- Tinggi beban sebelum dilepaskan ( $H_1$ )

$$H_1 = R + R \sin (\alpha - 90 ) m$$

Dimana :  $R$  = jari jari bandul

$\alpha$  = simpangan bandul sebelum dilepaskan

- Beban (kg)

$$U = m \cdot g \cdot H_1$$

Dimana :  $m$  = massa bandul (kg)

- Tinggi beban Kalibrasi ( $H_k$ )

$$H_k = U_k / (m \cdot g)$$

Dimana :  $U_k$  = usaha kalibrasi (joule)

$G$  = gravitasi  $9,81m/s^2$

- Tinggi beban setelah dilepaskan ( $H_2$ )

$$H_2 = R + R \sin (\beta - 90 ) m$$

Dimana :  $\beta$  = sudut simpangan bandul setelah dilepaskan

- Tinggi beban perhitungan ( $H_s$ )

$$H_s = H_1 + H_2 - H_k$$

- Usaha yang dilakukan untuk mematahkan spesimen ( $U_s$ )

$$U_s = m \cdot g \cdot H_s$$

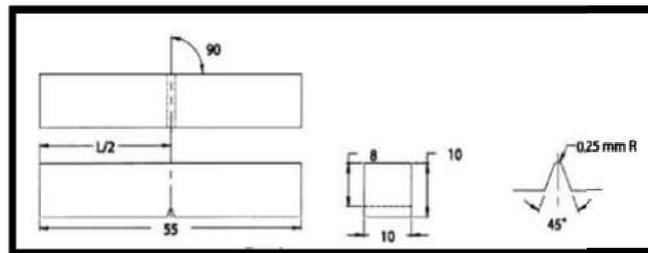
- Kekuatan Impak ( $U_I$ )

$$U_I = U_s / A$$

Dimana :  $A$  = luas penampang

### 2.4.3. Takik (*Notch*)

Takik (*notch*) dalam benda uji standar ditujukan sebagai suatu konsentrasi tegangan sehingga perpatahan diharapkan akan terjadi di bagian tersebut. Selain berbentuk V dengan sudut  $45^\circ$ , takik dapat pula dibuat dengan bentuk lubang kunci ( *key hole* ). Pengukuran lain yang biasa dilakukan dalam pengujian impak *Charpy* adalah penelaahan permukaan perpatahan untuk menentukan jenis perpatahan yang terjadi.



Gambar 2.5. Dimensi spesimen uji impak metode Charpy

Sumber : <https://www.detech.co.id/impact-test/>

Secara umum sebagaimana analisis perpatahan pada benda hasil uji tarik maka perpatahan impak digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

- Perpatahan berserat (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet

(*ductile*). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.

- Perpatahan granular/ kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan pada butir-butir dari bahan (logam) yang rapuh (*brittle*). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi (mengkilat).
- Perpatahan campuran (berserat dan *granular*). Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas.

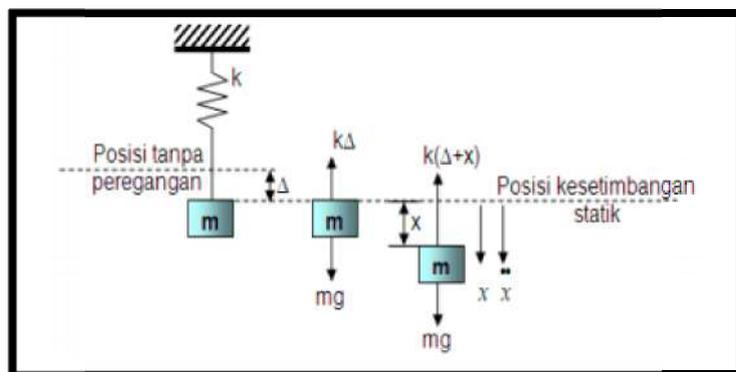
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui suatu fisik material yang nampak pada bagian luar dan untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Salah satu cara dalam mengamati struktur mikro suatu bahannya itu dengan teknik metalografi (pengujian mikroskopik).

## **2.5. Getaran**

Sistem teknik yang mengandung massa dan elastisitas yang mampu bergerak secara relatif dan berulang-ulang dalam interval waktu tertentu maka gerakan itu dikenal dengan nama getaran (*vibration*). Getaran pada umumnya merupakan bentuk energi sisa dan pada berbagai kasus tidak diinginkan. Untuk mengurangi efek getaran, salah satu pendekatannya yaitu melakukan studi terhadap persamaan gerakan sistem yang ditinjau. Sistem diidealisasi dan disederhanakan dengan terminologi massa, pegas dan dashpot. Terminology tersebut berturut-turut menyatakan benda, elastisitas dan gesekan sistem, kemudian perlu diketahui pula tentang persamaan gerak yang menyatakan

perpindahan sebagai fungsi waktu atau akan memberikan jarak kedudukan massa sesaat selama gerakan dan kedudukannya setimbang. Sifat penting sistem getaran yaitu frekuensi pribadi akan diperoleh dari persamaan gerak.

Getaran dibagi menjadi dua kelompok yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas terjadi jika sistem beresonansi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri dan tidak ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergetar pada satu atau lebih frekuensi pribadinya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekakuannya. Getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar disebut getaran paksa. Jika rangsangan tersebut beresonansi, maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Apabila frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi, dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung, dan sayap pesawat terbang merupakan kejadian yang disebabkan resonansi. Berikut menunjukkan persamaan differensial gerak suatu sistem untuk memperoleh frekuensi pribadi.



Gambar 2.6. Diagram benda bebas sistem 1 derajat kebebasan

Pemberian perpindahan awal  $x$  kemudian dilepaskan mengakibatkan sistem bergetar bebas. Dari diagram benda bebas di atas dan Hukum II Newton, diperoleh persamaan differensial geraknya sebagai berikut :

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

Solusi dari persamaan (1) diperoleh frekuensi pribadi yaitu :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

### 2.5.1. Rasio Redaman

Rasio redaman adalah nilai redaman dalam bentuk bilangan non dimensional yang menyatakan banyaknya disipasi energi untuk membatasi amplitudo getaran. Nilai rasio redaman ditulis dalam persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$\zeta = \frac{c}{C_c} = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

Dengan :

$c$  = peredam (kg/s)

$C_c$  = redaman kritis (kg/s)

$k$  = konstanta pegas (Nm)

$m$  = massa (kg)

### 2.5.2. Frekuensi Natural

Sebuah struktur apabila digetarkan maka akan terjadi osilasi pada frekuensi natural ( $\omega_n$ ) yang merupakan milik sistem. Spesimen yang akan digunakan dalam pengujian ini berbentuk balok (beam). Perhitungan

matematis frekuensi natural getaran didapat dari persamaan 2.2 (Thompson, 1980)

$$\omega_n = \beta_n^2 \sqrt{\frac{E I}{\rho}} = (\beta_n l)^2 \sqrt{\frac{E I}{\rho l^4}}$$

Dengan :

$\omega_n$  = frekuensi natural (Hz)

$\rho$  = massa jenis bahan (kg/m<sup>3</sup>)

$l$  = panjang balok (m)

$I$  = momen inersia balok (m<sup>4</sup>)

$E$  = Modulus young (Kg.m/s<sup>2</sup>)

Nilai  $\beta_n$  tergantung dari kondisi batas persoalan. Tabel 2.3 menampilkan nilai numerik  $(\beta_n l)^2$  untuk keadaan ujung tertentu.

Tabel 2.3. Nilai numerikal  $(\beta_n l)^2$  untuk keadaan ujung tertentu

Konfigurasi batang	$(\beta_n l)^2$ Ragam dasar	$(\beta_n l)^2$ Ragam kedua	$(\beta_n l)^2$ Ragam ketiga
Ditopang sederhana	9,87	39,5	88,9
Kantilever	3,52	22,0	61,7
Bebas – bebas	22,4	61,7	121,0
Jepit – jepit	22,4	61,7	121,0
Jepit – engsel	15,4	50,0	104,0
Engsel - bebas	0	15,4	50,0

Sumber : Thompson, 1980

Jadi untuk menghitung frekuensi natural pada ragam dasar kantilever diberikan persamaan :

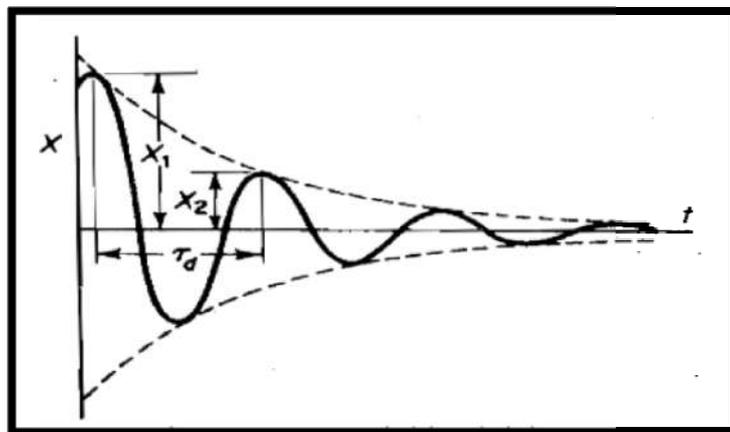
$$\omega_n = 3,52 \sqrt{\frac{E I}{\rho l^4}}$$

### 2.5.3. Menentukan Rasio Redaman ( $\zeta$ )

Menentukan rasio redaman secara matematik jarang dilakukan, biasanya penentuan rasio redaman dilakukan melalui eksperimen. Ada beberapa metode yang sering dipakai, yaitu :

a. Metode Penurunan Logaritma (*Logharitmic Decretment*)

Pengujian getaran bebas merupakan suatu cara untuk menentukan rasio redaman. Metode yang mudah untuk menentukan jumlah redaman yang ada dalam suatu sistem adalah dengan mengukur laju peluruhan osilasi bebas, semakin besar redamannya maka akan semakin besar laju peluruhan atau penurunannya. Getaran teredam dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.7. Respon perpindahan dari sistem yang bergetar bebas

(Sumber : Thompson, 1980)

Persamaan untuk getaran teredam seperti pada gambar 2.12 dinyatakan oleh persamaan berikut ini (Thompson,1980)

$$x = X e^{-\zeta \omega_n t} \sin \left( \sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n t + \phi \right)$$

Suatu struktur jika mengnatural respon getaran bebas, amplitudonya akan berkurang secara eksponensial terhadap waktu seperti pada gambar 2.4 Pengurangan logaritmik didefinisikan sebagai logaritma natural dari rasio dua amplitude berurutan, jadi rumusan pengurangan logaritmik menjadi :

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \ln \frac{e^{-\zeta \omega_n t_1} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n t_1 + \phi)}{e^{-\zeta \omega_n (t_1 + \tau_d)} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n (t_1 + \tau_d) + \phi)}$$

Karena nilai – nilai sinusnya adalah sama jika waktu ditambah dengan periode redaman  $\tau_d$  , maka hubungan diatas menjadi :

$$\delta = \ln \frac{e^{-\zeta \omega_n t_1}}{e^{-\zeta \omega_n (t_1 + \tau_d)}} = \ln e^{\zeta \omega_n \tau_d} = \zeta \omega_n \tau_d$$

Dengan mensubtitusi periode redaman  $\tau_d = 2\pi / \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$  , maka pengurangan logaritmik menjadi

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

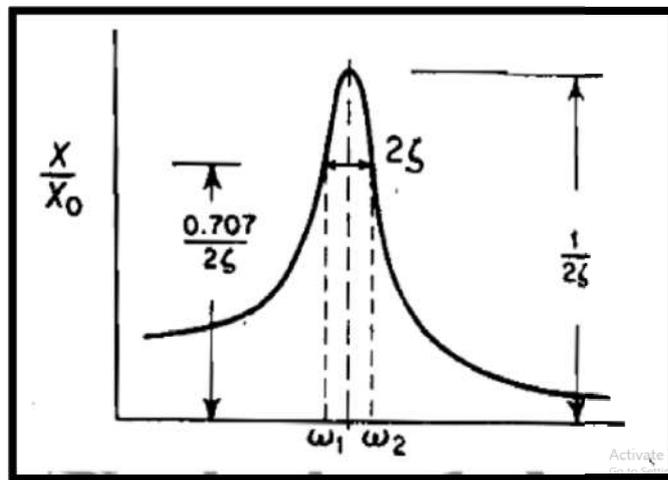
Bila  $\zeta$  kecil ,  $\sqrt{1 - \zeta^2} \approx 1$  , diperoleh pendekatan sebagai berikut

$$\delta \cong 2\pi\zeta$$

#### b. Metode *Half-Power Bandwidth*

Metode half-power bandwidth digunakan untuk menentukan rasio redaman pada domain frekuensi. Amplitude resonansi suatu sistem pada metode ini harus diperoleh terlebih dahulu dengan mengasumsikan  $\omega / \omega_n = 1$ , dimana  $X_{res} = (F_0/k) / 2\zeta$ . Frekuensi pada kedua sisi resonansi sering

disebut side band dapat diketahui, dimana  $X$  adalah  $0,707 X_{res}$  atau  $1/\sqrt{2}$  x  $X_{res}$ . Titik – titik ini juga disebut titik setengah daya (half-powered bandwidth), semakin besar redaman maka akan semakin kecil rentang frekuensi antara dua titik ini. *Half-power bandwidth* didefinisikan sebagai rasio dari rentang frekuensi antara dua half-power bandwidth dengan frekuensi natural pada mode tertentu. Ilustrasi dari metode half-power bandwidth dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.8. Half-power bandwidth  
(Sumber : Thompson, 1980)

Jika  $\omega_1$  dan  $\omega_2$  adalah frekuensi dari kedua sisi frekuensi resonansi, maka untuk  $\zeta$  yang kecil adalah :

$$\zeta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_n}$$

Hasil ini memungkinkan untuk melakukan evaluasi rasio redaman dari forced vibration test tanpa harus mengetahui besarnya gaya yang diterima pada struktur.

#### **2.5.4. *Experimental Modal Analysis***

*Experimental Modal Analysis* (EMA) merupakan cara untuk menentukan frekuensi pribadi, mode getar, dan rasio redaman dari pengukuran vibrasi secara eksperimen. Teori dasarnya adalah membuat hubungan antara respon getaran sistem pada suatu lokasi dan eksitasi pada suatu lokasi sebagai fungsi dari frekuensi eksitasinya. Hubungan ini disebut sebagai frequency response function (FRF). Test getaran untuk EMA dikenal sebagai modal testing. Analisa modal merupakan hal yang penting dalam menganalisa, mendiagnosa, mendesain, dan mengontrol getaran.

Pengukuran vibrasi secara eksperimental umumnya memerlukan beberapa perangkat. Perangkat tersebut terdiri dari sumber eksitasi yang disebut exciter, untuk menghasilkan input gaya pada struktur ke sinyal elektrik, signal conditioning amplifier untuk mencocokkan karakteristik transducer dengan input elektronik data digital, dan analyzer dimana terdapat program computer pemrosesan sinyal dan analisis modal.

Getaran pada suatu sistem yang akan ditentukan secara eksperimental pada umumnya terdiri dari tiga mekanisme pengukuran : (1) mekanisme eksitasi; (2) mekanisme pembacaan; (3) mekanisme akuisisi data dan pengolahan. Mekanisme eksitasi ditentukan dari sistem yang menyediakan input gerakan terhadap struktur dalam analisis, umumnya berupa gaya yang diberikan pada koordinat tertentu. Alat eksitasi yang populer yaitu impuls atau impact hammer, yang terdiri dari hammer dan transducer gaya yang terpasang pada kepalanya. Hammer merupakan mekanisme eksitasi yang

digunakan untuk memberikann pengaruh pada struktur sehingga struktur berosilasi dengan range frekuensi yang besar. Mekanisme pembacaan pada dasarnya digunakan sensing device yang dikenal sebagai force transducer. Banyak variasi dari alat tersebut dan biasanya yang digunakan pada eksperimental modal analysis adalah piezoelectric transducer baik untuk mengukur gaya eksitasi atau untuk mengukur respon getaran (accelerometers). Transducer menghasilkan sinyal elektrik yang sesuai dengan parameter fisik target pengukuran. Pada kebanyakan kasus, sinyal elektrik yang dihasilkan transducer tidak dapat digunakan untuk pengukuran langsung dan pengolahan. Masalah ini biasanyaberhubungan dengan sinyal yang menjadi lemah sehingga biasanya diselesaikan dengan menggunakan amplifier. Amplifier berfungsi untuk mencocokkan dan memperbesar signal dalam hal besaran dan fase di atas range frekuensi yang dibutuhkan. Mekanisme akuisisi data dan pengolahan mengukur sinyal yang terbaca dari transducer dan memastikan besaran dan fase dari eksitasi dan respon. Analisis digunakan untuk menggali dan memperoleh parameter modal (frekuensi natural, rasio redaman, dan mode getar) dari struktur. Analisis yang paling umum dilakukan adalah berdasarkan algoritma Fast Fourier Transform (FFT) dan menghasilkan pengukuran langsung dari FRF. Keduanyadisebut sebagai spectrum voltasi yang mempresentasikan percepatan (gaya, kecepatan, displacement, atau regangan) dari signal conditioning amplifier. Sinyal ini disaring dan digitalisasi untuk perhitungan. Analisis sinyal kemudian dapat dimanipulasi dengan berbagai macam cara untuk menghasilkan frekuensi

natural, rasio redaman, dan mode getar dalam hasil numeric atau dalam bentuk grafis. Dua prosedur analisis yang digunakan yaitu time domain dan frequency domain. Metode time domain menghasilkan parameter modal langsung dari rekaman respon dalam domain waktu. Metode frequency domain menyelesaikan hal yang sama dengan mengkonversi sinyal respon kedalam domain frekuensi.

### ***2.5.5. Frequency Respons Function***

*Frequency Respons Function* (FRF) adalah suatu kurva hasil pengukuran yang memisahkan parameter dinamik dari suatu struktur. Parameter dinamik yaitu frekuensi natural, rasio redaman, dan mode getar. FRF mendeskripsikakn hubungan input-output antara dua titik pada struktur sebagai fungsi frekuensi.

FRF dari sistem SDOF (Single Degree of Freedom) linier dibuat dari hubungan antara transformasi fourier dari sinyal input  $F(\omega)$  dan sinyal output  $X(\omega)$ , sebagai contoh adalah sinyal input berupa gaya impuls yang diberikan kepada sistem dan sinyal output berupa respons displacement akibat gaya tersebut dari sistem yang diukur, hasil data tersebut digunakan untuk menghasilkan FRF dari sistem. Hubungan umumnya diberikan seperti persamaan dibawah ini

$$X(\omega) = H(\omega).F(\omega) \text{ atau } H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)}$$