

**SKRIPSI**

**ANALISIS GETARAN BEBAS BALOK KANTILEVER BERBAHAN  
KOMPOSIT SERAT SABUT KELAPA MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA BERBASIS *SOFTWARE* ABAQUS**

**OLEH :**

**ALFRIAN SAPUTRA**

**D211 16 319**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

SKRIPSI

**ANALISIS GETARAN BEBAS BALOK KANTILEVER BERBAHAN  
KOMPOSIT SERAT SABUT KELAPA MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA BERBASIS *SOFTWARE* ABAQUS**

Oleh :

**ALFRIAN SAPUTRA**

**D21116319**

**Disusun dalam rangkai memenuhi salah satu persyaratan  
Untuk menyelesaikan program Strata-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Gowa**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

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

**JUDUL:**

**ANALISIS GETARAN BEBAS BALOK KANTILEVER BERBAHAN  
KOMPOSIT SERAT SABUT KELAPA MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA BERBASIS *SOFTWARE* ABAQUS**

**ALFRIAN SAPUTRA**

**D211 16 319**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



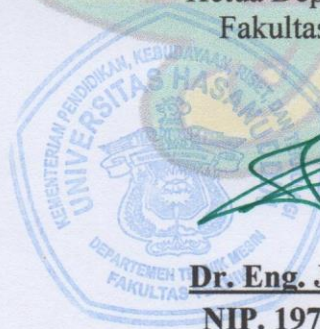
**Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T.**  
**NIP. 19570914 198703 1 001**

Dosen Pembimbing II



**Fauzan, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP. 19770103 200801 1 009**

Mengetahui,  
Ketua Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas  
Hasanuddin



**Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.**  
**NIP. 19720825 200003 1 001**



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : ALFRIAN SAPUTRA

NIM : D21116319

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : Strata 1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS GETARAN BEBAS BALOK KANTILEVER BERBAHAN  
KOMPOSIT SERAT SABUT KELAPA MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA BERBASIS *SOFTWARE* ABAQUS

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 01 Juli 2022



ALFRIAN SAPUTRA

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan pimpinanNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **ANALISIS GETARAN BEBAS BALOK KANTILEVER BERBAHAN KOMPOSIT SERAT SABUT KELAPA MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA BERBASIS *SOFTWARE* ABAQUS**.

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Harapan penulis, dengan adanya skripsi ini dapat memberikan pengetahuan serta menambah wawasan khususnya kepada penulis dalam usaha meningkatkan ilmu pengetahuan serta dapat menerapkan pengetahuan selama menuntut ilmu dibangku kuliah dan juga semoga bermanfaat kepada para rekan-rekan mahasiswa khususnya Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan keterbatasan untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini berbagai kesulitan yang penulis hadapi, mulai dari awal penyusunan hingga skripsi ini dapat selesai. Semua itu tidak terlepas dari adanya bantuan dari berbagai pihak, karena itu penulis sampaikan penghargaan dan terima kasih sedalam-dalamnya kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat penyertaan dan kasih karunia-Nya sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini.
2. Kepada Ibu dan adik-adik yang senantiasa memberikan doa dan dukungan kepada penulis selama mengikuti perkuliahan sampai terselesaikannya skripsi ini.
3. Rektor Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Dr. Eng., Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T. selaku Sekretaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T. dan Fauzan, S.T., M.T., Ph.D., selaku pembimbing skripsi. Terimakasih atas segala arahan, waktu, dan masukannya selama proses pengerjaan skripsi ini.
7. Para dosen dan staf Jurusan Mesin Universitas Hasanuddin yang telah berkontribusi baik dalam proses perkuliahan maupun proses pengerjaan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.
8. Teman-teman Kontrakan dan KMKO TEKNIK yang memberikan dorongan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. HMM FT-UH yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk berproses dan belajar mengenai arti kalimat bekerja dengan ikhlas tanpa mengharapkan imbalan, semoga semakin jaya kedepannya.

10. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin khususnya angkatan 2016 (COMPRESSOR'16), terima kasih untuk pengalaman luar biasa selama proses perkuliahan.
11. Kanda-kanda senior yang telah berbagi pengalaman serta ilmunya selama proses perkuliahan.
12. Teman-teman persekutuan sehat KBGH yang luar biasa dengan segala warna yang telah dilukiskan selama masa perkuliahan.

Semoga apa yang terdapat dalam penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca utamanya untuk memperluas wawasan berpikir dan khazanah ilmu pengetahuan kita semua, Amin.

Gowa, 09 Mei 2022

Penulis,

**ALFRIAN SAPUTRA**

## ABSTRAK

**ALFRIAN SAPUTRA.** *Analisis Getaran Bebas Balok Kantilever Berbahan Komposit Serat Sabut Kelapa Menggunakan Metode Elemen Hingga Berbasis Software Abaqus* (dibimbing oleh **Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T.** dan **Fauzan, S.T., M.T., Ph.D.**)

Perkembangan dunia industri sekarang ini menyebabkan kebutuhan material makin meningkat terutama untuk sebuah produk. Penggunaan material logam pada berbagai komponen produk semakin berkurang. Untuk mengatasi masalah tersebut salah satu material yang banyak dikembangkan saat ini adalah komposit serat sabut kelapa. Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan sifat-sifat mekanik dan karakteristik getaran pada balok kantilever yang menggunakan variasi arah serat sabut kelapa dengan arah ( $0^0$ ), ( $45^0$ ), dan ( $90^0$ ). Bentuk bahan untuk uji tarik menggunakan ASTM D-790. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arah serat memiliki pengaruh terhadap nilai frekuensi pribadi dan kekakuan. Nilai frekuensi pribadi berubah pada setiap arah serat sabut kelapa dengan nilai maksimum 116,5 rad/s untuk arah serat  $45^0$  pada posisi dekat tumpuan. Nilai minimum frekuensi pribadi pada 1,88 rad/s untuk specimen dengan arah serat  $0^0$  pada posisi ujung specimen. Nilai kekakuan specimen memiliki kecenderungan yang sama dengan frekuensi pribadi dengan nilai tertinggi yaitu 542,89 kg/m dan nilai terendah 0,14 kg/m. Hasil ini menunjukkan bahwa arah serat dalam pembuatan komposit memiliki pengaruh terhadap nilai dari frekuensi pribadi dan kekakuan. Posisi elemen dekat tumpuan kantilever juga memiliki frekuensi pribadi dan kekakuan tinggi jika dibandingkan posisi yang jauh dari tumpuan.

**Kata Kunci :** Frekuensi pribadi, Kekakuan, Serat sabut kelapa, Kantilever



## **ABSTRACT**

**ALFRIAN SAPUTRA.** *Free Vibration Analysis of Cantilever Beams Made of Coconut Coir Fiber Composite Using Finite Element Method Based on Abaqus Software* (supervised by **Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, MT** and **Fauzan, ST, MT, Ph.D.**)

*The development of the industrial world today causes the need for materials increasing especially for a product. The use of metal materials in various product components is decreasing. To overcome this problem, one of the materials that is being developed at this time is coconut fiber composite. The purpose of this study was to determine the mechanical properties and vibration characteristics of cantilever beams using variations in the direction of coco fiber with directions ( $0^\circ$ ), ( $45^\circ$ ), and ( $90^\circ$ ). Form of tensile test material using D-790. The results showed that the direction of the fiber has an influence on the value of natural frequency and stiffness. The natural frequency value changes in each direction of the coir fiber with a maximum value of 116.5 rad/s for the fiber direction of  $45^\circ$  at the position near the pedestal. The minimum natural frequency value is 1.88 rad/s for specimens with  $0^\circ$  at the end position of the specimen. The specimen stiffness value has the same tendency with the natural frequency with the highest value of 542.89 kg/m and the lowest value of 0.14 kg/m. These results indicate that the direction of the fiber in the manufacture of composites has an influence on the values of natural frequency and stiffness. The position of the element near the cantilever support also has a high natural frequency and stiffness when compared to the position away from the support.*

**Keywords:** *Natural frequency, Stiffness, Coir fiber, Cantilever*

## DAFTAR ISI

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....          | ii   |
| PERNYATAAN KEASLIAN.....         | iii  |
| KATA PENGANTAR .....             | iv   |
| ABSTRAK.....                     | vii  |
| <i>ABSTRACT</i> .....            | viii |
| DAFTAR ISI.....                  | ix   |
| DAFTAR TABEL.....                | xi   |
| DAFTAR GAMBAR .....              | xii  |
| DAFTAR ARTI LAMBANG/SIMBOL ..... | xiv  |
| BAB I PENDAHULUAN .....          | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....         | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....         | 3    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....      | 3    |
| 1.4 Batasan Masalah .....        | 4    |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....     | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....     | 6    |
| 2.1 Getaran.....                 | 6    |
| 2.2 Komposit.....                | 19   |
| 2.3 Matriks .....                | 22   |
| 2.4 Katalis .....                | 22   |
| 2.5 Larutan Alkali .....         | 23   |
| 2.6 Serat Sabut Kelapa.....      | 24   |
| 2.7 Pengujian Tarik.....         | 25   |
| 2.8 Metode Elemen Hingga .....   | 31   |

|                                  |  |    |
|----------------------------------|--|----|
| 2.9                              | Prosedur Penentuan Frekuensi Pribadi dan Kekakuan dengan Metode Elemen Hingga..... | 32 |
| 2.10                             | Abaqus CAE 2021 .....  | 34 |
| BAB III METODE PENELITIAN.....   |  | 36 |
| 3.1                              | Waktu dan Tempat Penelitian.....   | 36 |
| 3.2                              | Peralatan Penelitian.....  | 36 |
| 3.3                              | Bentuk Bahan Uji Tarik .....   | 41 |
| 3.4                              | Bentuk Balok Analisis Getaran.....   | 42 |
| 3.5                              | Prosedur penelitian.....   | 42 |
| 3.6                              | Jadwal Penelitian .....  | 59 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... |  | 60 |
| 4.1                              | Data dan Hasil Perhitungan .....   | 60 |
| 4.2                              | Grafik dan Pembahasan .....  | 70 |
| BAB V KESIMPULAN.....            |  | 76 |
| 5.1                              | Kesimpulan .....   | 76 |
| 5.2                              | Saran .....  | 76 |
| DAFTAR PUSTAKA .....             |  | 77 |
| LAMPIRAN.....                    |  | 79 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabel 2. 1</b> Konstanta.....  | 19 |
| <b>Tabel 3. 1</b> Jadwal Penelitian .....                                       | 59 |
| <b>Tabel 4. 1</b> Data Pengukuran Diameter Serat.....                           | 60 |
| <b>Tabel 4. 2</b> Data Hasil Perhitungan poisson ratio.....                     | 63 |
| <b>Tabel 4. 3</b> Data modulus elastisitas tanpa serat.....                     | 64 |
| <b>Tabel 4. 4</b> Data modulus elastisitas arah serat 0° .....                  | 64 |
| <b>Tabel 4. 5</b> Data modulus elastisitas arah serat 45° .....                 | 64 |
| <b>Tabel 4. 6</b> Data modulus elastisitas arah serat 90° .....                 | 64 |
| <b>Tabel 4. 7</b> Data hasil perhitungan frekuensi pribadi tanpa serat .....    | 66 |
| <b>Tabel 4. 8</b> Data hasil perhitungan frekuensi pribadi arah 0° .....        | 66 |
| <b>Tabel 4. 9</b> Data hasil perhitungan frekuensi pribadi arah 45° .....       | 67 |
| <b>Tabel 4. 10</b> Data hasil perhitungan frekuensi pribadi arah 90° .....      | 67 |
| <b>Tabel 4. 11</b> Data Hasil Perhitungan Frekuensi Pribadi Tanpa Serat .....   | 69 |
| <b>Tabel 4. 12</b> Data Hasil Perhitungan Frekuensi Pribadi serat arah 0°.....  | 69 |
| <b>Tabel 4. 13</b> Data Hasil Perhitungan Frekuensi Pribadi serat arah 45°..... | 69 |
| <b>Tabel 4. 14</b> Data Hasil Perhitungan Frekuensi Pribadi serat arah 90°..... | 69 |



## DAFTAR GAMBAR

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Gambar 2. 1</b>  | Model balok kontinu.....                                     | 16 |
| <b>Gambar 2. 2</b>  | Tipe serat komposit.....                                     | 22 |
| <b>Gambar 2. 3</b>  | Regangan membujur.....                                       | 28 |
| <b>Gambar 2. 4</b>  | Grafik tegangan terhadap regangan.....                       | 30 |
| <b>Gambar 2. 5</b>  | Pembagian elemen pada balok komposit.....                    | 33 |
| <b>Gambar 3. 1</b>  | Mistar baja.....   | 36 |
| <b>Gambar 3. 2</b>  | Kaca.....  | 37 |
| <b>Gambar 3. 3</b>  | Gelas dan pipet ukur.....                                    | 37 |
| <b>Gambar 3. 4</b>  | Neraca Digital.....  | 38 |
| <b>Gambar 3. 5</b>  | Lem kaca.....  | 38 |
| <b>Gambar 3. 6</b>  | Mikrometer.....  | 39 |
| <b>Gambar 3. 7</b>  | Amplas.....  | 40 |
| <b>Gambar 3. 8</b>  | Jangka sorong.....   | 40 |
| <b>Gambar 3. 9</b>  | Bentuk bahan dan dimensi uji tarik.....                      | 41 |
| <b>Gambar 3. 10</b> | Balok analisis getaran.....                                  | 42 |
| <b>Gambar 3. 11</b> | Sabut Kelapa.....  | 43 |
| <b>Gambar 3. 12</b> | Arah Serat Komposit.....                                     | 44 |
| <b>Gambar 3. 13</b> | Alat Uji Tarik.....  | 45 |
| <b>Gambar 3. 14</b> | Tampilan Awal Abaqus CAE 2021.....                           | 46 |
| <b>Gambar 3. 15</b> | Tampilan menu part pada abaqus.....                          | 46 |
| <b>Gambar 3. 16</b> | Dimensi balok.....   | 47 |
| <b>Gambar 3. 17</b> | Tampilan panel untuk memasukkan data material.....           | 48 |
| <b>Gambar 3. 18</b> | Tampilan panel untuk membuat layup komposit.....             | 49 |
| <b>Gambar 3. 19</b> | Tampilan panel perintah untuk menentuka arah serat.....      | 49 |
| <b>Gambar 3. 20</b> | Tampilan panel untuk melihat arah serat.....                 | 50 |
| <b>Gambar 3. 21</b> | Toolls untuk proses instances.....                           | 50 |
| <b>Gambar 3. 22</b> | Hasil assembly.....  | 50 |
| <b>Gambar 3. 23</b> | Tampilan panel untuk tipe prosedur.....                      | 51 |
| <b>Gambar 3. 24</b> | Panel untuk menentukan banyak frekuensi yang diinginkan..... | 52 |
| <b>Gambar 3. 25</b> | Tampilan untuk membuat bc-1 pada prosedur frekuensi.....     | 53 |
| <b>Gambar 3. 26</b> | Tampilan panel boundary condition-1.....                     | 53 |
| <b>Gambar 3. 27</b> | Hasil boundary condition-1.....                              | 54 |
| <b>Gambar 3. 28</b> | Tampilan global seeds pada Abaqus CAE.....                   | 54 |
| <b>Gambar 3. 29</b> | Tampilan untuk membuat Job.....                              | 55 |
| <b>Gambar 3. 30</b> | Tampilan panel untuk mengedit job.....                       | 55 |
| <b>Gambar 3. 31</b> | Tampilan panel job manager pada Abaqus CAE.....              | 56 |
| <b>Gambar 3. 32</b> | Panel Monitor untuk melihat proses running.....              | 56 |
| <b>Gambar 3. 33</b> | Pembagian elemen balok analisis getaran.....                 | 57 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 3. 34</b> Flow Chart Penelitian .....  | 58 |
| <b>Gambar 4.1</b> Spesimen uji tarik .....   | 62 |
| <b>Gambar 4.2</b> Tabel dan grafik hasil pengujian Tarik.....                                      | 63 |
| <b>Gambar 4.3</b> Balok komposit yang belum di uji getar.....                                      | 65 |
| <b>Gambar 4.4</b> Balok komposit yang telah di uji getar.....                                      | 66 |
| <b>Gambar 4.5</b> Grafik tegangan pengujian Tarik.....   | 70 |
| <b>Gambar 4.6</b> Grafik regangan pengujian Tarik .....  | 70 |
| <b>Gambar 4.7</b> Grafik Modulus Elastisitas .....   | 71 |
| <b>Gambar 4.8</b> Grafik Hubungan frekuensi natural-arrah serat spesimen hasil simulasi .....      | 72 |
| <b>Gambar 4.9</b> Grafik kekakuan-arrah serat dari elemen hasil simulasi .....                     | 73 |
| <b>Gambar 4. 10</b> Grafik Hubungan frekuensi natural-arrah serat spesimen hasil perhitungan ..... | 74 |
| <b>Gambar 4. 11</b> Grafik kekakuan-arrah serat dari elemen hasil perhitungan.....                 | 75 |

## DAFTAR ARTI LAMBANG/SIMBOL

| Daftar Simbol | Arti                               |
|---------------|------------------------------------|
| $\omega_n$    | Frekuensi Pribadi                  |
| $k$           | kekakuan                           |
| $m$           | massa                              |
| $K_n$         | Konstanta                          |
| $f_s$         | fraksi volume serat                |
| $f_m$         | fraksi volume matriks              |
| $E$           | Modulus Elastisitas                |
| $E_s$         | Modulus elastisitas serat          |
| $E_m$         | Modulus elastisitas matriks        |
| $E_k$         | Modulus elastisitas komposit       |
| $\sigma$      | Tegangan                           |
| $F$           | Gaya                               |
| $A$           | Luas permukaan                     |
| $\varepsilon$ | Regangan                           |
| $l_0$         | Panjang semula                     |
| $\Delta l$    | Perubahan Panjang                  |
| $-\Delta b$   | Penyusutan lebar                   |
| $b_0$         | Lebar semula                       |
| $\nu$         | <i>poisson ratio</i>               |
| $I$           | momen inersia                      |
| $b$           | Lebar penampang spesimen simulasi  |
| $h$           | Tinggi penampang spesimen simulasi |
| $CNC$         | <i>Computer Numerical Control</i>  |
| $V_c$         | Volume cetakan                     |
| $V_s$         | Volume serat                       |
| $N_s$         | Jumlah serat yang dibutuhkan       |

|        |                  |
|--------|------------------|
| $V$    | Volume           |
| $\rho$ | Densitas         |
| $h$    | Tinggi spesimen  |
| $l$    | Panjang spesimen |



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan dunia industri sekarang ini menyebabkan kebutuhan material makin meningkat terutama untuk sebuah produk. Penggunaan material logam pada berbagai komponen produk semakin berkurang. Hal ini diakibatkan oleh beratnya komponen yang terbuat dari logam, proses pembentukannya yang relatif sulit, dapat mengalami korosi dan biaya produksinya mahal, oleh karena itu banyak dikembangkan material lain yang mempunyai sifat yang sesuai dengan karakteristik material logam yang diinginkan. Salah satu material yang banyak dikembangkan saat ini adalah komposit. Komposit adalah gabungan dari dua bahan atau lebih komponen yang berlainan dan mempunyai sifat yang berbeda. Selain itu ada juga yang menyatakan bahwa bahan komposit adalah kombinasi bahan tambah yang berbentuk serat, butiran seperti pengisi serbuk logam, serat kaca, karbon, aramid (*Kevlar*), keramik dan serat logam dalam bulat panjang yang berbeda-beda di dalam *Matriks* (Kroschwitz dkk, 1987).

Tidak sama dengan metal konvensional dan paduan metal, sifat-sifat proses komposit yang dapat dikendalikan dengan seleksi komponen, perbandingan ratio fraksi volume dari serat terhadap matriks, dan geometri serta orientasi serat. Fleksibilitas desain, ratio strength-to-weight yang tinggi, ketahanan temperatur dan korosi yang ditingkatkan dan mengurangi biaya fabrikasi untuk dapat digunakan pada bidang penerbangan. Konsekuensi aplikasi komposit secara luas digunakan pada rancang-bangun aerospace. Sebagai contoh, NASA dan Boeing bersama-sama meluncurkan NASA ACT (Advanced Composite Technology), program pada tahun

1989 untuk meningkatkan efisiensi struktur komposit. Teknologi seperti stitching, braiding dan knitting telah dipakai pada komposit 3-D, menghasilkan pengurangan biaya yang signifikan (20% sampai 25%) dan pengurangan berat (30% sampai 35%) Dow dan Dexter, 1997, <http://www.larc.nasa.gov>.

Getaran merupakan salah satu masalah yang sangat penting dalam perencanaan konstruksi mesin. Ketika frekuensi gaya eksitasi bersamaan dengan salah satu frekuensi pribadi sistem, maka kondisi resonansi terjadi dan menghasilkan simpangan yang besar. Karakteristik getaran pada batang komposit dipengaruhi oleh dimensi dan modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas yang besar akan menghasilkan frekuensi natural material dan kekakuan material yang besar. Penempatan posisi penggetar akan berdampak pada nilai frekuensi dan kekakuan material, semakin dekat dengan posisi penggetar pada tumpuan jepit akan memberikan kekakuan dan frekuensi pribadi yang besar (Endrianto, 2012).

Pada penelitian ini akan dikembangkan penggunaan material komposit yakni serat sabut kelapa yang diberi *treatment* pada permukaan kedua serat dengan larutan alkali, kemudian dilakukan uji getaran pada sistem tumpuan sederhana (jepit bebas). Sebagai solusi analisis numerik digunakan metode elemen hingga dengan bantuan program Abaqus CAE 2021 dan analisa *spectrum* getaran yang digunakan untuk menganalisis getaran balok komposit dengan metode eksperimental.

Dengan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka pada kesempatan kali ini akan dilakukan penelitian dengan judul : **ANALISIS GETARAN BEBAS BALOK KANTILEVER BERBAHAN KOMPOSIT SERAT SABUT**

# **KELAPA MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA BERBASIS SOFTWARE ABAQUS**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Perumusan masalah dapat diuraikan sebagai berikut ini : Menentukan pengaruh treatment serat sabut kelapa terhadap kekuatan tarik dan kemampuan rekat sebagai bahan komposit.

1. Bagaimana sifat-sifat mekanik komposit serat sabut kelapa dengan variasi arah serat sabut kelapa dengan arah ( $0^\circ$ ), ( $45^\circ$ ), dan ( $90^\circ$ ) ?
2. Bagaimana karakteristik getaran pada balok kantilever yang menggunakan variasi arah serat sabut kelapa dengan arah ( $0^\circ$ ), ( $45^\circ$ ), dan ( $90^\circ$ ) serta tanpa menggunakan serat ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian diuraikan sebagai berikut :

1. Menentukan sifat-sifat mekanik komposit serat sabut kelapa variasi arah serat sabut kelapa dengan arah ( $0^\circ$ ), ( $45^\circ$ ), dan ( $90^\circ$ ).
2. Menganalisis karakteristik getaran pada balok kantilever yang menggunakan variasi arah serat sabut kelapa dengan arah ( $0^\circ$ ), ( $45^\circ$ ), dan ( $90^\circ$ ) serta tanpa menggunakan serat.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Proses treatment serat sabut kelapa menggunakan Alkali (NaOH)
2. Kadar larutan alkali (NaOH) digunakan dalam penelitian ini adalah 5%.
3. Waktu perendaman serat sabut kelapa adalah 2 jam.
4. Uji getaran yang dikaji adalah frekuensi pribadi dan kekakuan balok komposit.
5. Material bahan uji yang digunakan adalah balok komposit treatment serat sabut kelapa.
6. Tumpuan yang digunakan adalah tumpuan jepit bebas
7. Variasi yang digunakan adalah arah serat ( $0^\circ$ ), ( $45^\circ$ ), dan ( $90^\circ$ ) serta tanpa serat.
8. Persentase kandungan serat sabut kelapa dan Matriks berturut-turut 60% dan 40%.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini diharapkan sebagai berikut :

1. Bagi penulis, menjadikan referensi pembandingan dalam menghitung dan menganalisis getaran balok polimer diperkuat serat sabut kelapa dengan metode elemen hingga.
2. Bagi Akademisi, menjadi acuan dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian balok polimer diperkuat serat alam jenis lain.



3. Bagi industri : melalui penelitian ini, pihak industri dapat mengetahui seberapa besar kekuatan tarik serat sabut kelapa yang dapat digunakan agar dapat diaplikasikan guna memaksimalkan penggunaannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Getaran**

Getaran adalah gerakan berisolasi (bolak-balik) dari sistem mekanis serta kondisi-kondisi dinamisnya. Gerakan dapat berupa benturan yang berulang secara kontinyu dapat juga gerakan yang tidak beraturan atau acak dalam suatu interval waktu tertentu. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar. Pada umumnya mesin dan struktur rekayasa (*engineering*) mengalami getaran sampai derajat tertentu, dan rancangannya selalu memerlukan pertimbangan sifat osilasinya (Thomson,1993).

Ada dua kelompok getaran yang umum, yaitu getaran bebas dan paksa..getaran bebas terjadi bila sistem berisilasi akibat gaya yang ada dalam sistem itu sendiri dan tidak ada gaya luar yang bekerja. Sitem yang bergetar bebas akan mengalami getaran pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupkn sifat sistem dinamika yang terbentuk oleh distribusi massa dan kekakuannya. Sedangkan getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar disebut getaran paksa. Jika ransangan tersebut berisilasi, maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi ransangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka diperoleh kejadian resonansi dan memungkinkan terjadinya osilasi besar yang berbahaya.

Getaran merupakan salah satu masalah yang sangat penting dalam perencanaan konstruksi mesin. Ketika frekuensi gaya eksitasi bersamaan dengan salah satu frekuensi pribadi sistem, maka kondisi resonansi terjadi dan menghasilkan simpangan yang besar. Karakteristik getaran pada batang komposit dipengaruhi

oleh dimensi dan modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas yang besar akan menghasilkan frekuensi natural material dan kekakuan material yang besar. Pengaruh penempatan posisi penggetar akan berdampak pada nilai frekuensi dan kekakuan material, semakin dekat dengan posisi penggetar pada tumpuan jepit akan memberikan kekakuan dan frekuensi natural yang besar (Endrianto, 2012).

Peningkatan frekuensi pribadi suatu sistem menyebabkan terjadinya getaran yang sangat besar. Getaran tersebut mengakibatkan terjadinya kerusakan pada suatu bagian tertentu dari sistem tersebut. Oleh karena itu, kita berusaha mengurangi efek-efek merugikan dari getaran dengan jalan mengisolasi, mengabsirbsi, meredam dan lain sebagainya. Semua sistm yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena didisipasi oleh gesekan dan tahanan lain. Jika redamannya kecil, pengaruhnya sangat kecil pada frekuensi natural sistem. Oleh karena itu perhitungan frekuensi natural biasanya dilakukan atas dasar tidak ada redaman.

Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena gesekan dan tahanan lain. Perhitungan frekuensi natural biasanya dilaksanakan atas dasar tidak adanya redaman. Untuk memperoleh frekuensi pribadi , maka terlebih dahulu menentukan persamaan diferensial gerak suatu sistem. Penyelesaian umum secara matematis menghasilkan frekuensi pribadi ( $\omega_n$ ) (rad/s) yaitu akar dua hasil perbandingan ( $k$ ) (N/m) dengan massa ( $m$ ) (kg):

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

### 2.1.1 Structural Health Monitoring (SHM) Berbasis Getaran

Getaran biasanya mengacu pada suatu gerak periodik dalam satu struktur yang elastis sekitar posisi keseimbangan. Landasan pemikiran teknik-teknik yang berbasis SHM dimana, kerusakan dapat diindikasikan dengan perubahan kekakuan, massa, atau sifat redaman dari suatu struktur yang pada gilirannya mempengaruhi respon dinamis dari struktur seperti frekuensi pribadi (parameter-parameter berhubungan dengan modal, respon gaya paksa, dll.) bisa digunakan untuk mengukur kerusakan di dalam struktur. *Doebling et al. (1998)* meringkas suatu metoda pendeteksian kerusakan berbasis getaran. *Sohn et al. (2004)* meninjau SHM dengan cakupan yang lebih luas, di mana permasalahan SHM diperlakukan sebagai pengenalan pola statistik dan teknik-teknik pendeteksian kerusakan yang termasuk metoda-metoda yang berbasis getaran. Tinjauan Ulang dan analisa lebih menyeluruh dapat ditemukan di dalam dua dokumen ini.

Antar semua parameter berhubungan dengan modal, frekuensi pribadi dari suatu struktur secara relatif lebih mudah untuk diukur. Memeriksa perubahan-perubahan frekuensi pribadi untuk pendeteksian kerusakan. Awal penyelidikan yang sistematis tentang pendeteksian kerusakan oleh perubahan-perubahan frekuensi pribadi yang dituliskan oleh *Adams et al. (1978)* dan *Cawley dan Adams (1979)*. Eksperimen-eksperimen dilaksanakan di satu plat aluminium dengan kerusakan dalam wujud suatu lubang segi-empat dan suatu CFRP (*plastik carbon-fiber-reinforced*) sepuh dengan gergaji potong. Dengan suatu model elemen hingga, diperoleh lokasi kerusakan dan besaran untuk plat aluminium. *Stubbs dan Osegueda (1990a, 1990b)* mengembangkan suatu pendekatan kepekaan untuk

deteksi kerusakan dari perubahan-perubahan frekwensi natural yang didasarkan pada kriteria yang disebut kriteria *Cawley-Adams*.

*Friswell et al.* (1994) juga memperluas kriteria dengan memperkenalkan analisis statistik yang memungkinkan skenario kerusakan. *Palacz dan Krawczuk* (2002) membandingkan beberapa metoda-metoda yang berbasis getaran , termasuk *Cawley-Adams* untuk kriteria kerusakan pada keretakan beam. Kriteria *Cawley-Adams* kembali digunakan untuk balok komposit dengan suatu keretakan tepi.

Dengan hadirat dari error pengukuran, kelayakan deteksi keretakan berdasar pada model yang analitis diperkenalkan. Namun, seperti yang disebutkan oleh *Doebbling et al.* (1998) dan *Firswell dan Penny* (1997), identifikasi rusak oleh ingsutan frequency saja mempunyai keterbatasan-keterbatasan praktis dalam beberapa aplikasi-aplikasi. Sebagai contoh, frekuensi berubah adalah jauh lebih yang dipengaruhi oleh temperatur dan kelengasan dibanding oleh kerusakan di dalam pemeriksaan suatu jembatan (*Farrar et al.*, 1994). Lebih dari itu, frekuensi natural memperlihatkan sifat global suatu struktur, dan biasanya tidak dapat mendeteksi kerusakan yang masih dalam permulaan, terutama ketika kerusakan itu ditempatkan di suatu daerah tegangan rendah. *Salawu* (1997) mengkaji ulang pendeteksian kerusakan oleh perubahan-perubahan frekwensi natural. Meski itu bisa tidak sangat dapat dipercaya menggunakan frekuensi diri berubah saja untuk kemungkinan kerusakan identifikasi dalam beberapa infrastruktur-infrastruktur seperti struktur-struktur beton yang pra tekan seperti banyak strategi dan algoritma-algoritma dikembangkan untuk lebih lanjut menjelajah keuntungan-keuntungan dari frekuensi natural.

*Messina et al.* (1996) mengembangkan satu algoritma yang disebut *Damage Location Assurance Criterion* (DLAC). Suatu nilai DLAC dihitung dari vektor dari eksperimen perubahan frekuensi dan vektor berdasar pada analisa teoritis di suatu lokasi perkiraan kerusakan. Lokasi kerusakan diperoleh dengan membandingkan pola-pola dari perubahan frekuensi. *Messina et al.* (1997) kemudian memperluas pendekatan itu yang disebut *Multiple Damage Location Assurance* (MDLAC) dengan melibatkan bentuk-bentuk mode untuk kepekaan frekuensi.

*Armon et al.* (1994) mengusulkan suatu pengaturan kelompok mode-mode oleh insytan frequency itu untuk mendeteksi slot-slot dan keretakan di suatu beam, dan menunjukkan bahwa ini metoda adalah berkenaan dengan ketidak-pastian-ketidak-pastian model. *Nicholson dan Alnefaie* (2000) memperkenalkan parameter kepekaan kerusakan lain disebut Modal Moment Index (MMI) menyadap dari parameter-parameter berhubungan dengan modal yang terukur. Indeks mempunyai satu perubahan yang kasar di lokasi kerusakan dan dapat dihubungkan dengan kerusakan.

*Chaudhari dan Maiti* (2000) menggunakan teknik Frobenius untuk pengaturan persamaan diferensial dan kemudian diperoleh lokasi kerusakan dengan pendekatan semi-numerik. *Chinchalkar* (2001) yang memilih modeling elemen hingga dengan memodifikasi dari suatu masalah nilai eigen. Neural jaringan adalah juga diterapkan untuk kemungkinan pendeteksian kerusakan dengan menggunakan frekwensi natural, seperti *Luo dan Hanagud* (1997), *Zhao et al.* (1998), *Yun dan Bahng* (2000), dan *Zapico et al.* (2003).

*Jones dan Turcotte* (2001) mengambil antiresonant frekwensi di dalam pembaharuan model elemen hingga untuk mendeteksi kerusakan struktural. Sekali pun peristiwa pukulan pertama diselidiki oleh *Cattarius dan Inman* (1997) untuk kemungkinan kerusakan pendeteksian pada waktunya daerah, *Abdel Wahab dan Mottershead* (2001) menggunakan frekwensi pukulan ketimbang frekwensi yang alami(wajar untuk mendeteksi serangan dari kerusakan, yang dipertunjukkan oleh penulis-penulis untuk menjadi lebih sensitip sebagai suatu indikator kerusakan. *Friswell et al.* (1998) kombinasikan genetik dan algoritma-algoritma eigensensitivitas untuk menempatkan rusak struktural. *Pawar dan Ganguli* (2003) menggunakan suatu sistim tidak jelas yang genetik untuk menemukan kedua-duanya lokasi dan luas dari kerusakan di suatu balok kantilever.

### **2.1.2 Vibrasi dari Kerusakan Komposit laminasi**

Kerusakan umum di dalam komposit melaminasi termasuk kertakan matrik, kerusakan serabut, matrik serabut debonding, delaminasi antara lapisan-lapisan, dan suatu campuran tentang segala peristiwa-peristiwa ini (*Voyiadjis*, 1993). Beberapa kerusakan seperti kertakan matriks dan matriks serabut debonding bersifat melekat selama pembikinan (eg., udara menjerat di dalam damar); mereka boleh juga membentuk ketika kerusakan fana yang awal di bawah beban layanan.

Delaminasi adalah kegagalan skala makro yang paling penting di dalam komposit laminasi. Analisa getaran dari komposit-komposit secara ekstensif diamati di dalam berlangsung beberapa dekade-dekade ini. *Zou et al.* (2000) meninjau ulang pendeteksian delaminasi yang didasarkan pada berbagai beam

model. *Ramkumar et al.* (1979) dengan studi pertama yang sistematis tentang getaran bebas pada beam komposit laminasi. Beam yang dilaminasi diperagakan oleh empat Beam-Timoshenko menghubungkan di panampang-lintang. Model ini mengamati untuk menaksir terlalu tinggi reduksi frekuensi dan yang diperbaiki kemudiannya oleh *Wang et al.* (1982) dengan melakukan penggandengan antara flexural dan gerakan-gerakan di sekitar axis sub-lamina.

Untuk menghindari ketidak sesuai secara fisik sebagian dari sejumlah prediksi model-model overlap dengan model bebas, Mujumdar dan Suryanarayan (1988) mengusulkan yang disebut model terbatas. Model terbatas lebih lanjut diberlakukan bagi hanya untuk beam (*Tracy dan Pardoen*, 1989) dengan dua asumsi yang berbeda yaitu di sekitar axis dan membengkokkan kekakuan-kekakuan dan dua sub-laminasi dibatasi untuk bergetar bersama-sama. Masing-masing dari empat segmen diperagakan oleh teori balok Euler. *Shen dan Grady* (1992) menyelidiki dengan eksperimen-eksperimen di kedua-duanya model-model ,tetapi berdasar pada Timoshenko teori beam. Model yang dibatasi memprediksikan perubahan frekuensi lebih dengan teliti. *Luo dan Hanagud* (2000) menganggap interaksi tak linear antara kedua sub-laminasi dengan menambahkan model pegas linier yang menurut bagian model itu mempunyai suatu kekakuan yang seragam. Masing-masing segmen diperagakan oleh teori beam Timoshenko dan penggandengan perluasan lenturan adalah juga diperhitungkan. Kekakuan itu kemudian bisa disesuaikan karena model itu untuk memprediksikan hasil-hasil lebih tepat untuk situasi-situasi manapun. Suatu konsep yang serupa yang diperluas kemudiannya oleh *Brandinelli dan Massabo*(2003) untuk menyelidiki bagaimana



suatu penguatan pada suatu delaminasi bisa memperbaiki tingkah laku yang dinamis dari komposit yang delaminasi. Satu analisis meniru komposit beam yang delaminasi yang disertai ketaklinearan diselidiki baru-baru ini oleh *Luo et al.* (2004).

Metode elemen hingga secara luas digunakan untuk memperagakan delaminasi-delaminasi di dalam komposit laminasi. Suatu model elemen hingga yang menggunakan suatu teori layer-wise plate yang diusulkan oleh *Barbero dan Reddy* (1991) yang mempelajari tentang delaminasi-delaminasi ganda. Anggapan dasar adalah bahwa distribusi perpindahan yang sama di dalam lapisan-lapisan yang individu adalah mampu menggambarkan diskontinuitas perpindahan pada alat penghubung antara lapisan-lapisan. Namun, biaya computational membuatnya secara relatif tidak menarik untuk memprediksikan tingkah laku yang global. *Sankar* (1991) mengembangkan suatu model beam elemen hingga oleh teori geseran laminasi. *Ju et al.* (1995) memperkenalkan suatu model elemen hingga berdasar pada teori plat Mindlin. Plat komposit dengan delaminasi-delaminasi yang ganda, termasuk delaminasi-delaminasi berbentuk lonjong, diselidiki. *Krawczuk et al.* (1997a) mengembangkan balok elemen hingga dan plat yang delaminasi yang dibagi menjadi tiga segmen. Kemudian mereka menyelidiki plat komposit dengan delaminasi penutupan dengan menambahkan suatu kontak node-to-node model (*Zak, et al.*, 2001). *Parhi et al.* (2001) membangun suatu unsur kelopak berisi delapan lapisan dengan lima derajat kebebasan per lapisan untuk menyelidiki getaran-getaran komposit dengan delaminasi-delaminasi yang ganda. Metode elemen hingga untuk analisa getaran dari gabungan-gabungan yang delaminasi

adalah juga digunakan untuk belajar dinamika dan kendali-kendali dengan sensor-sensor dan penggiat-penggiat piezoelektrik dan pendeteksian delaminasi dengan metoda SHM.

Ramanamurthy et al., 2001, mengembangkan suatu metoda pendeteksian kerusakan pada suatu komposit balok kantilever dengan suatu retak tepi. Studi telah dilaksanakan untuk tiga jenis analisa yang berbeda pada suatu komposit balok kantilever. Isu yang paling pokok adalah fakta bahwa merusak secara khas adalah suatu peristiwa lokal dan tidak dapat mempengaruhi respons dinamis yang global suatu struktur. Sebagai contoh, ini merupakan suatu pandangan umum pengurangan frekuensi mempunyai batasan yang signifikan untuk kemungkinan indikasi kerusakan walaupun kepekaan bervariasi dari satu struktur. Oleh karena itu, kerusakan mungkin sulit untuk dideteksi sampai itu sangat menjengkelkan.

Tita, et al, 2001, mengembangkan prosedur untuk mengekstimasi perilaku damping dari serat balok komposit dan melakukan eksperimen guna mengamati frekuensi pribadi dan mode-mode shape. Hasil-hasil tersebut digunakan untuk mengevaluasi factor damping dengan program FREQ. Faktor-faktor damping tersebut digunakan untuk menganalisis dinamik damper dengan metoda elemen hingga dengan memakai metoda model Rayleigh.

Ganapilthi et al, 2000, menganalisis getaran dan damping dari komposit laminasi serat gelas pada balok kantilever dan plat. Kegiatan tersebut telah dipelajari dengan menggunakan elemen hingga dan memakai teori deformasi geser.

Eksperimen yang dilakukan untuk memperoleh frekuensi pribadi, faktor damping dan respons frekuensi dan selanjutnya membandingkan dengan hasil analisis teori.

Hein, H, 2006, mengamati getaran bebas dari balok komposit delaminasi. Pertama mengamati parameter frekuensi dan mode shape serta pengaruh getaran fondasi. Kedua, mempresentasikan pengaruh frekuensi natural terhadap ukuran dan posisi delaminasi.

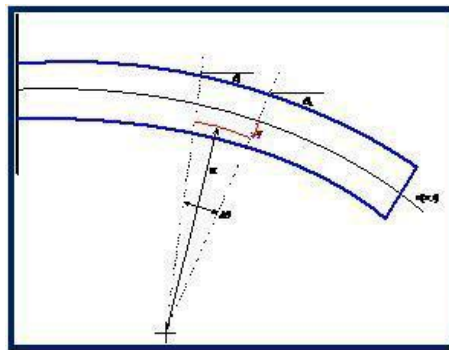
Hayder Moasa Al-Shukri et al, 2009, melakukan penelitian tentang perilaku dinamis balok komposit kantilever yang terbuat dari E-glass polyester. Perilaku dinamis yang mereka telah pelajari adalah terdiri dari tiga jenis laminasi yang dimodelkan dengan  $[0^\circ, 45^\circ, 0^\circ/90^\circ]$ , juga pengaruh orientasi serat terhadap frekuensi natural dan respon pada kondisi harmonik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laminasi  $[45^\circ]$ , memiliki frekuensi yang tinggi akibat modulus geser yang tinggi.

Mohammed F. Aly et al, 2010, meneliti tentang kombinasi pendekatan eksperimen dan elemen hingga untuk mengamati perilaku getaran balok komposit. Balok komposit dibuat dengan menggunakan proses hand-lay-up. Eksperimen pengujian dinamik dilaksanakan menggunakan spesimen dengan orientasi serat berbeda. Hasil eksperimen mengamati pengaruh orientasi serat terhadap frekuensi natural dan validasi hasil yang diperoleh dari analisis menggunakan software elemen hingga ANSYS.

Studi-studi lain yang melibatkan karakteristik-karakteristik getaran dari komposit laminasi pada deformasi tekuk, seperti *Yin dan Jane (1992)*, *Chen (1994)* dan *Chang dan Liang (1998)*.

### 2.1.3 Sistem Balok Kontinu

Dalam semua sistem massa terkonsentrasi pada satu titik. Pendekatan ini berlaku untuk semua system, terutama pada frekuensi rendah, tetapi tidak semua model sistem memberikan informasi nyata secara akurat. Salah satu contoh penting dari sebuah sistem kontinyu adalah getaran transversal balok. Contohnya, garpu tala, lonceng, bar gambang dan sejenisnya. Model getaran balok juga penting dalam simulasi struktur teknik gempa bumi dan pemodelan rangka mobil.



**Gambar 2.1** Model balok kontinu

Model dari sebuah balok yang akan diteliti diperlihatkan seperti gambar di atas. Perpindahan dari tengah balok diberikan oleh  $w(x,t)$ . Perhatikan bahwa  $w$  adalah fungsi ruang (jarak,  $x$ , sepanjang balok) serta waktu.

Dengan menggantikan ekspresi untuk gaya geser yang telah ditemukan sebelumnya, persamaan geraknya menjadi :

$$\rho A dx \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} dx$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = -\frac{\rho A}{EI} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

Ini merupakan persamaan gerak untuk balok akibat beban lentur. Hal ini mirip dengan persamaan gelombang, yang digunakan untuk model suara di udara, serta dalam mekanika kuantum. Persamaan ini adalah order - keempat, persamaan diferensial parsial, dan dapat disederhanakan dengan menggunakan teknik pemisahan variabel.

#### Solusi Dengan Pemisahan Variabel

Jika diasumsikan bahwa solusi persamaannya adalah terdiri dari dua fungsi, yaitu ruang dan waktu, atau dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$w(x, t) = W(x)e^{j\omega_n t}$$

Kemudian juga diperoleh,

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = \frac{d^4 w}{dx^4} e^{j\omega_n t}$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -\omega_n^2 W e^{j\omega_n t}$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = -\frac{\rho A}{EI} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

$$\frac{d^4 W}{dx^4} e^{j\omega_n t} = \frac{\rho A \omega_n^2}{EI} \cdot W e^{j\omega_n t}$$

$$\frac{d^4 W}{dx^4} = \frac{\rho A \omega_n^2}{EI} \cdot W$$

Bila eksponensial kompleksnya dikeluarkan, maka diperoleh konstanta tunggal yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\beta^4 = \frac{\rho A \omega_n^2}{EI}$$

Konstanta  $\beta$  disubstitusikan ke sebelumnya, maka memberikan :

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = \beta^4 W$$

Persamaan ini adalah fungsi dari  $x$  saja, dan tidak memiliki komponen waktu. Dengan menerapkan kondisi batas dari balok, yang akan memberikan nilai dari  $\beta$ . Setelah mengetahui nilai-nilai  $\beta$ , maka dapat ditentukan frekuensi pribadi dari balok.

$$\omega_n = \beta^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho}}$$

Jika dinyatakan dalam siklus per detik

$$f_n = \frac{\beta^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho}}$$

Untuk balok dimana ujung yang satu tetap/dijepit sedangkan ujung yang lain bebas (balok kantilever) dapat digunakan persamaan

$$f_n = \frac{K_n}{2\pi} \sqrt{\frac{EIg}{wl^4}}$$

Dikarenakan balok yang diuji mempunyai sisi berbentuk persegi panjang maka digunakan momen inersia persegi panjang sehingga didapatkan persamaan :

$$f_n = \frac{K_n}{2\pi} \sqrt{\frac{Eh^2}{12 \cdot \rho \cdot l^4}}$$

Dimana;

$K_n$  adalah konstanta di mana  $n$  mengacu pada mode getaran

**Tabel 2.1** Konstanta

| Mode | $K_n$ | Nodal position/ $l$ |       |       |       |       |
|------|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1    | 3.52  | 0.0                 |       |       |       |       |
| 2    | 22.0  | 0.0                 | 0.783 |       |       |       |
| 3    | 61.7  | 0.0                 | 0.504 | 0.868 |       |       |
| 4    | 121   | 0.0                 | 0.358 | 0.644 | 0.905 |       |
| 5    | 200   | 0.0                 | 0.279 | 0.500 | 0.723 | 0.926 |

## 2.2 Komposit

Komposit berasal dari kata kerja “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung. Secara umum komposit didefinisikan sebagai sebuah material yang terdiri atas beberapa material dengan sifat yang berbeda yang tersusun dari dua komponen yaitu matrik (resin) dan penguat baik dalam bentuk serat ataupun *filler*. komposit merupakan rangkaian dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu bahan secara mikroskopis dimana bahan pembentuknya masih terlihat seperti aslinya dan memiliki hubungan kerja diantaranya sehingga mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan (Mikell, 1996). Definisi yang lain yaitu, Menurut Matthews dkk. (1993), komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Jadi komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat dengan gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat.

### 2.2.1 Sifat Mekanik Pada Komposit

Sifat material komposit dipelajari dari analisis berdasarkan sifat mekanik konsituennya masing-masing. Karena itu dikenal kaidah campuran untuk menghitung kekuatan tegangan tarik dan modulus elastisitas komposit (Vlack, 1990).

Untuk komposit dengan serat continue, dimana susunan serat berlapis dan pembebanan searah dengan seratnya (*iso strain condition*), tegangan tariknya dapat dituliskan. Untuk pembebanan yang searah dengan arah serat dan matriks (pembebanan longitudinal), regangan kedua komponen tersebut sama, sehingga modulus elastisitasnya adalah :

Dimana :

$$f_s + f_m = 1$$

$f_s$  : fraksi volume serat (%)

$f_m$ : fraksi volume matriks (%)

$E_s$ : modulus elastisitas serat (N/m<sup>2</sup>)

$E_m$ : modulus elastisitas matriks (N/m<sup>2</sup>)

$E_k$  : modulus elastisitas komposit (N/m<sup>2</sup>)

### 2.2.2 Tipe Serat Komposit

Untuk memperoleh komposit yang kuat harus dapat menempatkan serat dengan benar. Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit yaitu: (Gibson, 1994)



1. *Continuous Fiber Composite*

Komposit serat kontinyu, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriknya. Jenis komposit ini paling sering digunakan. Tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

2. *Woven Fiber Composite*

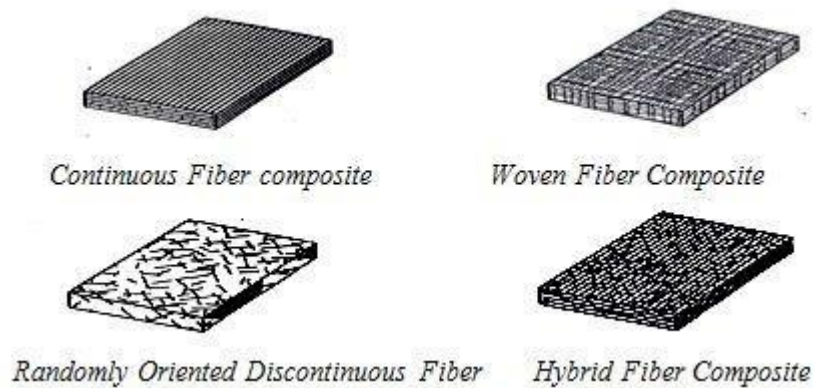
Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan akan melemah

3. *Randomly Oriented Discontinuous Fiber*

Komposit serat acak adalah tipe komposit dengan serat pendek. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangannya dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

4. *Hybrid Fiber Composite*

Komposisi serat hibrid meruakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya.



**Gambar 2.2** Tipe serat komposit

Sumber: Gibson,1994

### 2.3 Matriks

*Unsaturated Polyester (UP)* merupakan jenis resin *thermoset*. Penggunaan resin *UP* dapat dilakukan dari proses *hand lay up* sampai proses kompleks yaitu dengan proses mekanik, seperti *vacuum bag*, *press mold*, dan *injection mold*.

Resin ini banyak digunakan untuk aplikasi komposit pada dunia industri dengan pertimbangan harga relatif murah, waktu *curing* cepat, warna jernih,

### 2.4 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi-reaksi kimia pada suhu tertentu. Tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama: katalis homogen dan katalis heterogen. katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama. Katalisi ini digunakan untuk membantu proses pengeringan resin

dan serat dalam komposit. Waktu yang dibutuhkan resin untuk berubah menjadi plastik tergantung pada jumlah katalis yang dicampurkan semakin banyak katalis yang ditambahkan maka makin cepat pula proses *curingnya* tetapi apabila pemberian katalis berlebihan maka akan menghasilkan material yang getas ataupun resin bisa terbakar. Penambahan katalis yang baik 1% dari volume resin. Bila terjadi reaksi akan timbul panas antara 60°C – 90°C. Panas ini cukup untuk mereaksikan resin sehingga diperoleh kekuatan dan bentuk *plastic* yang maksimal sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan (Rusmiyatno, 2007).

## **2.5 Larutan Alkali**

NaOH merupakan larutan basa yang tergolong mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna menurut teori Arrhenius basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion OH<sup>-</sup> dan ion Na<sup>+</sup>. Larutan basa memiliki rasa pahit, dan jika mengenai tangan terasa licin (seperti sabun). Sifat licin terhadap kulit ini disebut sifat kaustik basa. Sifat alami serat alam adalah *hydrophobic*. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam selulosa telah diteliti dimana kandungan optimum air mampu direduksi sehingga sifat alami *hydrophobic* serat dapat memberikan kekuatan ikatan *interfacial* dengan matrik polimer secara optimal (Bismarck dkk, 2002).

Perlakuan kimia serat yang sering dilakukan adalah perlakuan alkali seperti NaOH karena lebih ekonomis. Sifat mekanis komposit dapat ditingkatkan dengan perlakuan alkali (NaOH) serat namun perlakuan NaOH yang lebih lama dapat menyebabkan kerusakan pada unsur selulosa. Padahal selulosa itu sendiri sebagai

unsur utama pendukung kekuatan serat. Akibatnya komposit yang diperkuat serat dengan perlakuan alkali yang lebih lama memiliki kekuatan yang lebih rendah.

Manfaat larutan alkali sebagai perendam adalah untuk meningkatkan kekuatan sifat mekanis komposit. Dengan melarutkan lapisan yang menyerupai lilin di permukaan serat, seperti lignin dan kotoran lainnya. Dengan hilangnya lapisan yang menyerupai lilin ini maka ikatan antara serat dengan matrik menjadi lebih kuat, sehingga kekuatan tarik komposit menjadi lebih tinggi.

## **2.6 Serat Sabut Kelapa**

Kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan salah satu anggota tanaman palma yang paling dikenal dan banyak tersebar di daerah tropis. Pohon kelapa merupakan jenis tanaman berumah satu dengan batang tanaman tumbuh lurus ke atas dan tidak bercabang. Tinggi pohon kelapa dapat mencapai 10-14 meter lebih, daunnya berpelepah dengan panjang dapat mencapai 3-4 meter lebih dengan sirip-sirip lidi yang menopang tiap helaian. Dalam taksonomi tumbuh-tumbuhan, tanaman kelapa dimasukkan ke dalam klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom : Plantae (tumbuh-tumbuhan)

Divisio : Spermatophyta (tumbuhan berbiji)

Sub-divisio : Angiospermae (berbiji tertutup)

Ordo : Palmales

Familia : Palmae

Genus : Cocos

Berdasarkan survey yang dilakukan oleh *Food and Agriculture Organization Of The United Nation* (FAO) pada tahun 2018, Indonesia merupakan negara penghasil kelapa terbesar didunia dengan total produksi mencapai 18.555.371 ton (Food And Agriculture Organization Of The United Nations, 2018). Bobot sabut kelapa mencapai sepertiga dari berat sebutir kelapa. Apabila produksi kelapa Indonesia sebesar 18 juta ton, maka ada sekitar 6 juta ton sabut kelapa yang dihasilkan. Sabut buah kelapa termasuk serat selulosa yang diperoleh dari buah kelapa. Sabut kelapa merupakan bahan yang mengandung lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif bahan baku komposit. Sabut kelapa adalah kulit kelapa yang terdiri dari serat yang terdapat diantara kulit dalam yang keras (batok), tersusun kira-kira 35 % dari berat total buah kelapa yang dewasa. Untuk varitas kelapa yang berbeda tentunya presentase di atas akan berbeda pula. Sabut kelapa merupakan bagian terbesar dari buah kelapa. Serat sabut dikenal juga *coco fiber, coir fiber, coir yarn*, dan *rugs*. Sabut kelapa terdiri dari dua bagian, yaitu bagian dalam dan bagian luar. Bagian luar disebut *epikarp* dan bersifat tahan air. Bagian dalam sabut kelapa disebut *mesokarp* (Sukadarti, Kholisoh, Prasetyo, Santoso, & Mursini, 2010).

## **2.7 Pengujian Tarik**

Pengujian tarik biasanya dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar suatu bahan dari data pendukung bagi spesifikasi beban. Pada uji tarik, kedua ujung benda kerja dijepit dengan kuat dan salah satu ujungnya ditaarik dengan beban sebesar P.

Regangan benda uji terlihat pada pergerakan relatifnya. Tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan suatu regangan diukur dengan menggunakan metode hidraulik, elektro mekanik, dll. Kekuatan tarik dapat diartikan sebagai ketahanan suatu beban terhadap pengaruh beban yang memutuskan hubungannya.

Kekuatan tarik juga dapat diartikan sebagai kekuatan tertinggi material dalam menahan pembebanan yang diberikan sampai material tersebut putus. Pengujian tarik adalah suatu pengukuran terhadap bahan untuk mengetahui kekuatan suatu bahan terhadap regangan tertentu serta pertambahan panjang yang dialami oleh beban tersebut.

### **2.7.1 Elastisitas**

Menurut Soedjo (2004:33) yang menyatakan bahwa bahan elastis adalah bahan yang mudah diregangkan serta cenderung pulih ke keadaan semula, dengan mengenakan gaya reaksi elastisitas atas gaya tegangan yang meregangkannya. Pada hakekatnya semua bahan memiliki sifat elastik meskipun boleh jadi amat sukar diregangkan. Sedangkan menurut Sarjo (2002:318), sifat elastik adalah kemampuan benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan pada benda dihilangkan, elastisitas adalah sifat benda berdeformasi untuk sementara, tanpa perubahan yang permanen, yaitu sifat untuk melawan deformasi yang terjadi. Sebuah benda dikatakan elastik sempurna jika setelah gaya penyebab perubahan bentuk dihilangkan benda akan elastis ke bentuk semula. Sekalipun tidak terdapat benda yang hampir elastik sempurna, tetapi banyak benda hampir elastik sempurna, yaitu sampai deformasi yang terbatas disebut limit elastik. Jika benda

berdeformasi diatas limit elastiknya, dan apabila gaya-gaya dihilangkan, maka benda tersebut tidak lagi kembali ke bentuk semula.

Sebenarnya perbedaan antara sifat elastik dan plastik, hanyalah terletak pada tingkatan dalam besar atau kecilnya deformasi yang terjadi. Blatt (1986:179) menyatakan bahwa suatu deformasi dikatakan elastik jika:

1. Deformasi merupakan proporsional gaya penyebabnya
2. Bekerjanya gaya, maka deformasi diabaikan.

### 2.7.2 Tegangan

Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya dihilangkan, ada pula yang tetap berubah bentuk sedikit atau banyak, (Sears, 1994). Jadi deformasi bahan ditentukan oleh gaya persatuan luas dan bukan oleh gaya total (Kane and Sternheim, 1976). Jika sebuah batang tegar yang dipengaruhi gaya tarik  $F$  ke luas penampang  $A$  dinamakan tegangan tarik. Karena perpotongan dapat dilakukan disembarang titik sepanjang batang maka diseluruh batang dalam keadaan mengalami tegangan (*stress*) ditulis berikut:

$$\text{Tegangan } (\sigma) = F/A$$

dimana,  $\sigma$  = tegangan tarik (N/m<sup>2</sup>, Pa),

$$F = \text{Gaya (N)},$$

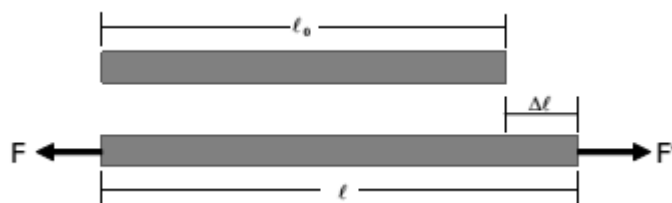
$$A = \text{luas permukaan (m}^2\text{)}$$

### 2.7.3 Regangan

Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gaya-gaya atau kopel dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula disebut regangan. Regangan juga disebut derajat deformasi (Sarojo, 2002). Kata regangan berhubungan dengan perubahan relatif dalam dimensi atau bentuk suatu benda yang mendapat tekanan. Gambar 2, melukiskan suatu batang yang panjang normalnya  $l_0$  dan memanjang menjadi  $l=l_0+\Delta l$  bila pada kedua ujungnya ditarik oleh gaya  $F$ . Pertambahan panjang  $\Delta l$ , tentu tidak hanya pada ujung-ujung saja, setiap elemen-elemen batang tertarik pada proporsi yang sama seperti batang seluruhnya.

Ada tiga macam regangan (Kane and Sternheim, 1976) yakni:

1. Regangan Tarik
2. Regangan Kompresi
3. Regangan Geser



**Gambar 2.3** Regangan membujur

Sumber : Kane and Sternheim, 1976

Regangan tarik pada batang didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang semula, yang harganya lebih besar dari 0. Regangan tekan suatu batang yang ditekan didefinisikan dengan cara yang sama



sebagai pembanding antara berkurangnya panjang batang dengan panjang semula, yang harganya lebih kecil dari 0. Jadi pembanding pada panjang batang dinamakan regangan (Blatt, 1986) atau disebut regangan longitudinal (Fraunfelder and Huber, 1996) seperti ditulis berikut:

$$\text{Regangan } (\varepsilon) = \frac{\Delta l}{l_0}$$

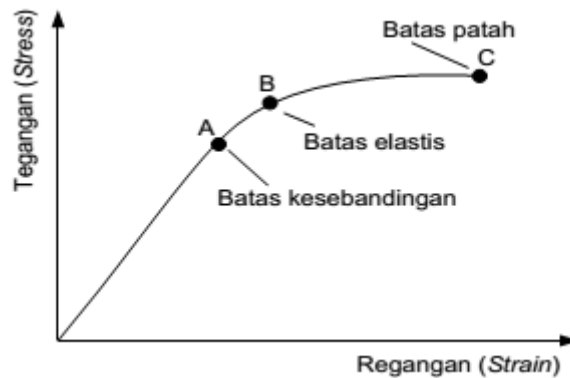
dimana:  $\varepsilon$  = regangan bilangan murni

$l_0$  = panjang semula (m)

$\Delta l$  = perubahan panjang (m)

#### **2.7.4 Modulus Elastisitas**

Gambar 2.4 menunjukkan grafik tegangan dan regangan untuk batang padat biasa. Grafik linear sampai titik A. Hasil bahwa regangan berubah secara linier dengan tegangan dikenal sebagai hukum Hooke. Titik B adalah batas elastik. Jika batang ditarik melampaui titik ini batang tidak akan kembali ke panjang semula, tetapi berubah bentuk secara tetap. Jika tegangan yang bahkan lebih besar diberikan, bahan akhirnya patah. Seperti ditunjukkan oleh titik C.



**Gambar 2.4** Grafik tegangan terhadap regangan

Sumber : Kane and Sternheim, 1976

Di dalam daerah linier dari grafik tegangan-regangan untuk tarikan atau tekana (kompresi), kemiringan menyamai nilai banding teganga terhadap regangan yang dinamakan modulus Young (Y) dari bahan tersebut (Kane and Sternheim 1976). Perbandingan tegangan terhada regangan dalam daerah linear grafik ini disebut juga konstanta karakteristik atau modulus Young suatu bahan, ditulis sebagai:

$$E = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta l}{l_0}}$$

### 2.7.5 Angka Banding Poisson

Dalam kenyatannya, setiap pemanjangan  $\Delta l$  dari panjang semula  $l_0$  akan menyebabkan penyusutan lebar  $-\Delta b$ , misalnya dari lebar semula  $b_0$ . Menurut poisson (Soedoyo 2004) persentase penyusutan lebar akan sebanding dengan persentase pemanjangannya. Maka didefinisikanlah apa yang dikenal dengan angka banding poisson.  $\nu$  selaku tetapan kesebandingan yang menurut hubungan (Sarojo, 2002) berikut:

$$v = - \frac{\text{Tegangan transversal}}{\text{Tegangan longitudinal}}$$

atau ditulis dalam bentuk rumus

$$v = - \frac{\frac{\Delta b}{b_0}}{\frac{\Delta l}{l_0}}$$

Besarnya angka banding poisson tergantung jenis bahannya.

## 2.8 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan sebagai salah satu solusi pendekatan untuk memecahkan berbagai permasalahan fisik. Adapun dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban (load) pada kondisi batas (boundary condition) yang diberikan. Dari elemen-elemen tersebut dapat disusun persamaan-persamaan matriks yang biasa diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. Metode elemen hingga (MEH) dapat mengubah suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tidak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya lebih sederhana. Secara umum prosedur penyelesaian dengan Metode Elemen Hingga dan langkah-langkah yang digunakan sebagai berikut:

1. Diskritisasi dan Memilih Konfigurasi Elemen. Langkah ini menyangkut pembagian benda menjadi sejumlah benda —kecil yang sesuai yang

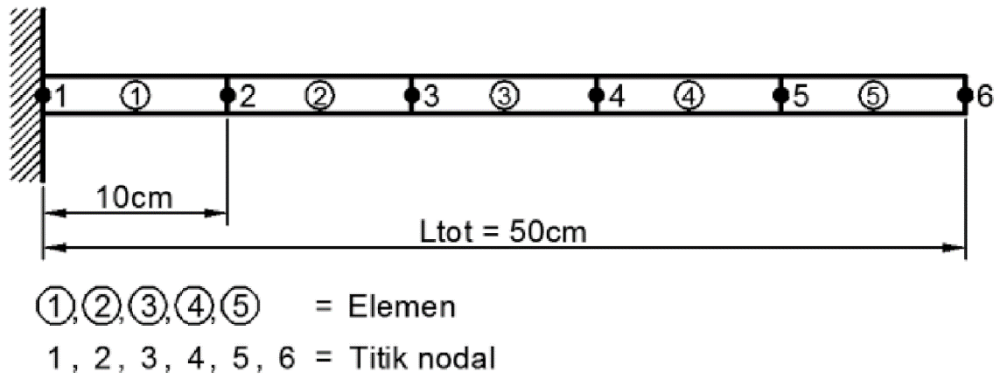
dinamakan elemen-elemen hingga. Perpotongan antara elemen elemen dinamakan simpul atau titik simpul .

2. Memilih Model atau Fungsi Pendekatan. Menentukan fungsi persamaan yang tepat yang akan digunakan untuk kasus model fisik yang tengah disajikan, berdasar dari karakteristik elemen tersebut.
3. Menentukan hubungan Regangan (gradient perpindahan (yang tak diketahui) dan Tegangan-Regangan.
4. Menurunkan persamaan-persamaan elemen. Dengan memakai hukum atau prinsip yang tersedia, kita akan memperoleh persamaan-persamaan yang mengatur perilaku elemen.
5. Perakitan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global atau persamaan rakitan dan mengenal syarat batas.
6. Memecahkan besaran-besaran primer yang tak diketahui.
7. Memecahkan besaran-besaran penurunan atau sekunder.
8. Interpretasi hasil-hasil.

## **2.9 Prosedur Penentuan Frekuensi Pribadi dan Kekakuan dengan Metode Elemen Hingga**

Prosedur perhitungan frekuensi pribadi dan kekakuan dengan metode elemen hingga adalah sebagai berikut :

1. Batang dibagi menjadi 5 elemen, masing-masing dengan panjang  $L$ . Derajat kebebasan setiap titik nodalnya adalah dua, yaitu perpindahan transversal dan perpindahan sudut. Sehingga jumlah derajat kebebasan adalah 12, seperti pada gambar dibawah,



**Gambar 2.5** Pembagian elemen pada balok komposit

- Menyusun matriks massa lokal dan matriks kekakuan lokal (elemen) dalam koordinat struktur. Matriks massa lokal dan matriks kekakuan local. Matriks massa lokal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) yaitu masa persatuan panjang (m) (kg/m) dikalikan dengan panjang balok perelemen (l) (m) dan dikalikan dengan matriks massa :

$$[m] = \frac{ml}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22l & 54 & -13l \\ 22l & 4l^2 & 13l & -3l^2 \\ 54 & 13l & 156 & -22l \\ -13l & -3l^2 & -22l & 4l^2 \end{bmatrix}$$

Sedangkan matriks kekakuan lokal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) yaitu modulus elastisitas (E) (Kg/m<sup>2</sup>) dikalikan dengan momen inersia balok (I) (m<sup>4</sup>) dan dibagi dengan Panjang balok perlemen pangkat tiga (l<sup>3</sup>) kemudian dikalikan dengan matriks kekakuan :

$$[k] = \frac{EI}{l^3} \begin{bmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ 6l & 4l^2 & -6l & 2l^2 \\ -12 & -6l & 12 & -6l \\ 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{bmatrix}$$

Untuk mendapatkan momen inersia balok berikut rumus perhitungan yaitu lebar balok (b) (m) dikalikan dengan tebal balok pangkat tiga (h) (m<sup>3</sup>) kemudian dibagi dua belas :

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

3. Menyusun matriks massa dan matriks kekakuan sistem, yang dikenal dengan pengglobalan matriks lokal.

$$[\bar{m}] = [L]^T [m] [L]$$

$$[\bar{k}] = [L]^T [k] [L]$$

4. Memasukkan syarat batas ke dalam persamaan matriks getaran batas kemudian mereduksi matriks.

5. Menyusun persamaan matriks eigenvalue setelah kondisi batas dimasukkan ke dalam persamaan matriks getaran bebas.

$$\{[\bar{K}] \omega_n^2 [\bar{M}]\} [U] = 0$$

6. Menentukan harga frekuensi pribadi dari persamaan karakteristik eigenvalue.

$$\omega_n = \sqrt{[\bar{M}]^{-1} - [\bar{K}]}$$

7. Menentukan nilai kekakuan dari frekuensi pribadi, dimana

$$k = m. \omega_n^2$$

## 2.10 Abaqus CAE 2021

Abaqus merupakan salah satu software yang digunakan untuk *Computer Aided Engineering (CAE)*. Saat ini abaqus sering disebut *Abaqus FEA* karena abaqus merupakan *software* yang digunakan untuk menganalisis suatu desain dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis*. ‘

Abaqus CAE 2021 merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk melakukan Analisis Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method (FEA)*. Perangkat lunak ini dapat melakukan simulasi linear mulai dari analisis yang paling sederhana hingga analisis *non-linear* yang memiliki kondisi kontak yang kompleks dan rumit. Dalam software ini kita dapat mengatur segala kondisi yang dimiliki oleh material maupun indenter sehingga nantinya reaksi yang dihasilkan dari pemodelan yang telah dibuat dapat menghasilkan reaksi yang benar – benar sesuai dengan keadaan aslinya.

Software ini memiliki beberapa fasilitas salah satu fasilitas yang dapat memfungsikan *software* ini menjadi program analisis elastis dan plastis. Kemampuan analisa *multiphysics* yang dimiliki Abaqus dapat digunakan dalam berbagai bidang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Selain itu kita dapat melakukan tes dengan memasukkan data secara manual dalam *input file*.

Pengembangan bahasa program dalam Abaqus memungkinkan para desainer lebih mudah dalam memilih metode yang digunakan dalam melakukan proses simulasi dan analisis (Abaqus CAE *User Manual*, 2003).