

**APLIKASI METODE ELEMEN HINGGA ( MEH ) PADA  
STRUKTUR RIB BODI ANGKUTAN PUBLIK**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**



Oleh :

**APRI JOKO PRASETYO**

**I 0403013**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2010**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Kendaraan bermotor merupakan salah satu alat transportasi yang digunakan manusia untuk berpindah dari tempat yang satu ke tempat lainnya. Awal abad 19-an, kendaraan hanya difungsikan sebagai alat transportasi belaka, tak heran bila proses pembuatannya belum menjamin kenyamanan.

Kemajuan jaman dan berkembangnya teknologi otomotif membuat kehidupan dunia otomotif semakin dinamis. Hal ini terlihat dari segi bentuk kendaraan yang dahulu hanya berbentuk kotak dengan tujuan bisa untuk mengangkut penumpang ataupun barang. Sekarang bentuk kendaraan berkembang sangat pesat, yaitu kendaraan dengan bodi yang aerodinamis.

Bahan yang digunakan untuk membuat bodi mobil saat itu masih berupa kayu kemudian berganti menjadi besi baja yang memiliki kekuatan baik, tetapi memiliki kelemahan bobot yang berat, kemudian bergeser menggunakan bahan aluminium maupun komposit yang memiliki bobot lebih ringan.

Terobosan-terobosan ini terus dilakukan dalam rangka mencapai hasil yang bermanfaat. Salah satunya adalah penggunaan Metode Elemen Hingga dalam industri pembuatan mobil terutama pembuatan bodi mobil. Metode Elemen Hingga pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950. Perkembangan Metode Elemen Hingga didukung secara langsung oleh perkembangan teknologi terutama teknologi komputer yang sangat cepat. Peningkatan kemampuan komputer menyebabkan kemungkinan yang semakin besar untuk melakukan analisis persoalan teknik yang besar dan lebih kompleks.

Metode Elemen Hingga dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan defleksi dan tegangan yang dapat ditahan oleh struktur rib dan kekuatan dari bahan yang digunakan untuk membuat struktur rib bodi mobil, sehingga akan didapatkan struktur rib yang kuat dalam menahan berat bodi mobil. Material yang digunakan untuk membuat rib adalah baja, sedangkan bodi mobil terbuat dari komposit. Tujuan penggunaan komposit pada bodi mobil adalah untuk

mendapatkan berat bodi yang ringan tanpa meninggalkan faktor kekuatan dan keamanan.

Komposit sendiri merupakan gabungan dua atau lebih material yang berbeda bentuk, sifat dan komposisinya, sehingga setelah digabungkan akan diperoleh material baru dengan sifat yang lebih baik atau tidak dimiliki oleh material penyusunnya.

Gupta ( 2003 ) mengadakan penelitian tentang komposit sandwich. Jenis komposit yang digunakan untuk membuat bodi mobil adalah komposit sandwich. Komposit *sandwich* merupakan material yang tersusun dari tiga material atau lebih yang terdiri dari *flat composite* dan *core* pada bagian tengahnya.

Komponen kendaraan yang terbuat dari komposit mempunyai berat yang lebih ringan daripada komponen yang terbuat dari logam, sehingga akan berpengaruh pada bentuk dan ukuran dari rib yang digunakan karena beban yang ditahan oleh rib itu juga menjadi semakin ringan. Selain itu, karena berat yang lebih ringan akan berpengaruh pada konsumsi bahan bakar mobil yang akan menjadi lebih irit serta berpengaruh penting pada kemampuan kendaraan, terutama kecepatannya. Kebanyakan orang mungkin hanya berpendapat bahwa kecepatan tergantung dari mesinnya, akan tetapi saat ini orang mulai menyadari bahwa kecepatan kendaraan juga dipengaruhi oleh stabilitas kendaraan serta bentuk dan permukaan bodi kendaraan.

Penelitian ini menitik beratkan pada bentuk rib yang digunakan untuk menahan berat bodi mobil yang terbuat dari komposit. Pada penelitian ini, perhitungan pada rib dilakukan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga dan program Frame untuk memperoleh nilai defleksi dan tegangan yang disebabkan oleh bodi mobil angkutan publik, sehingga akan didapatkan bentuk rib yang paling baik dan aman digunakan.

Berdasarkan uraian diatas, maka akan dilakukan penelitian tentang aplikasi Metode Elemen Hingga pada struktur rib bodi angkutan publik.

## **1.2 Batasan Masalah**

Untuk menentukan arah penelitian yang baik, ditentukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian terbatas pada rib bodi angkutan publik.
2. Beban yang digunakan untuk perhitungan adalah beban puncak yang bekerja pada masing – masing struktur rib bodi angkutan publik.
3. Rib bodi angkutan publik yang digunakan terbuat dari baja ST 37.
4. Bodi angkutan publik yang digunakan terbuat dari komposit sandwich.
5. Perhitungan dan analisa pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga dan program Frame.

## **1.3 Perumusan Masalah**

Dari uraian di atas, maka perumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa beban kritis yang dapat diterima oleh struktur rib bodi angkutan publik.
2. Bagaimanakah karakteristik kekuatan dari struktur rib dengan variasi tebal dan bentuk struktur rib terhadap nilai defleksi dan tegangan yang terjadi pada rib bodi angkutan publik.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui beban kritis ( beban puncak ) yang dapat diterima oleh struktur rib bodi angkutan publik.
2. Menyelidiki pengaruh variasi bentuk dan tebal rib terhadap nilai defleksi dan tegangan yang terjadi pada rib bodi, sehingga setelah penelitian akan didapatkan bentuk rib yang paling baik dan aman digunakan.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Hasil penelitian ini dapat dipakai dalam proses perancangan struktur rib bodi angkutan publik.

2. Mengetahui pengaruh bentuk dan ukuran penampang struktur rib bodi dalam menahan beban yang diakibatkan oleh berat bodi angkutan publik.
3. Mendapatkan bentuk rib yang paling aman digunakan sebagai struktur rib bodi angkutan publik dengan menggunakan Metode Elemen Hingga dan program Frame.
4. Memperkaya khasanah ilmu pengetahuan dalam perkembangan teknologi komposit dan teknik pemrograman pada khususnya serta sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

**BAB I** : Pendahuluan, berisi latar belakang masalah, batasan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

**BAB II** : Dasar teori, berisi tinjauan pustaka dan dasar teori.

**BAB III** : Metode penelitian, berisi alat dan bahan yang digunakan, diagram alir penelitian, metode dasar penelitian, bentuk dan ukuran struktur rib bodi angkutan publik, bentuk dan tebal penampang rib bodi angkutan publik, bentuk mobil, dimensi mobil, gambar meshing, distribusi gaya pada rib dan kondisi batas.

**BAB IV** : Data dan Analisa, menjelaskan data hasil pengujian, perhitungan data hasil pengujian serta analisa hasil perhitungan.

**BAB V** : Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran.

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Kekuatan bahan adalah kemampuan bahan menahan gaya yang disebabkan oleh beban. Perhitungan kekuatan pada struktur rib bodi mobil akan menentukan apakah struktur rib tersebut mampu menahan beban yang disebabkan oleh berat bodi mobil dan berapa besar ukuran struktur rib yang diperlukan agar dapat menahan berat bodi tersebut. Umumnya struktur rib terbuat dari baja karena sifat baja yang kuat sedangkan untuk memperoleh bodi mobil yang ringan digunakan komposit.

John Crocker dkk (2003) mengadakan penelitian yang bertujuan untuk mengurangi berat bus. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa komponen yang paling potensial untuk direduksi adalah komponen struktur utama (atap, lantai dan rib). Komponen ini menjadi pilihan utama karena memiliki berat mencapai 20 persen dari berat total bus, sehingga diperoleh pengurangan berat yang signifikan. Konsep baru yang dikembangkan adalah mengganti material lama dengan material baru.

Pengurangan berat kendaraan merupakan isu yang sangat penting karena akan berpengaruh pada konsumsi bahan bakar. Menurut Hayami Nakagawa dkk ( 2007 ) secara umum bodi kendaraan berasal dari struktur baja monocoque. Untuk mengurangi berat bodi mobil secara drastis sampai lebih dari 10 % maka dilakukan perubahan bahan bodi mobil dari baja menjadi bahan yang lebih ringan seperti aluminium maupun komposit.

Taj dkk ( 2007) mendefinisikan komposit adalah material-material yang meliputi material yang dapat menahan beban kuat ( disebut penguat ) yang diikat material lebih lemah ( disebut matrik ). Penguat menyediakan kekuatan dan kekakuan membantu untuk mendukung beban struktural, sedangkan matrik membantu memelihara orientasi dan posisi penguat. Secara signifikan, unsur-unsur penyusun mempertahankan sifat fisik dan kimia, namun bersama-sama menghasilkan kombinasi dengan kualitas yang lebih baik

Abdullah dan Diharjo ( 2005 ) menyatakan bahwa pada mulanya komposit hanya digunakan sebagai struktur tersier yang hanya menahan beban ringan. Namun, tuntutan persaingan harga konstruksi yang lebih murah menjadi pemicu penggunaan komposit sebagai struktur sekunder maupun primer. Agar komposit mampu menahan beban yang lebih berat, maka salah satu alternatifnya adalah mendisain model komposit *sandwich*

Widyastuti dkk ( 2007 ) mengadakan penelitian tentang komposit. Material komposit merupakan gabungan dua material atau lebih yang mempersyaratkan terjadinya ikatan antar muka keduanya. Pada material komposit, fraksi volume penguat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisik maupun mekanik komposit. Material dengan fraksi volume terbesar disebut matrik dan material dengan fraksi volume lebih rendah disebut pengisi. Pada umumnya penambahan penguat sebanding dengan peningkatan sifat mekanik komposit.

Simonetta ( 2008 ) menyatakan bahwa konstruksi *sandwich* telah digunakan secara luas dalam beberapa industri yang membutuhkan suatu konstruksi yang ringan dan kaku. Pemanfaatan konstruksi *sandwich* antara lain pada konstruksi lambung kapal, pesawat terbang, bodi mobil, jembatan, kereta api, kapal ferri dan lain sebagainya. Pemakaian secara luas komposit jenis ini tidak terlepas dari sifat unggul yang dimilikinya seperti keutuhan struktur, kemampuan menahan beban berat dan berat yang ringan.

Reis. E.M, ( 2006) mendefinisikan komposit *sandwich* sebagai komposit yang terdiri dari dua lapisan tipis dan kaku. Kekuatan face dipisahkan oleh inti yang bersifat ringan. Core dan face terikat oleh adhesive agar mekanisme perpindahan beban antar komponen baik. Kedua face yang diikat core bertujuan untuk meningkatkan momen inersia dan kekakuan bending

Venkata (2007) mengadakan penelitian tentang komposit *sandwich*. Pada penelitian ini dilakukan variasi tebal skin, modulus skin, lebar rib dan modulus rib serta variasi pembebanan. Dari hasil penelitian diperoleh hasil yang jelas setelah mengalami pembebanan dari berbagai variasi yang dilakukan. Hasil ini cukup rasional setelah dibandingkan dengan hasil pengujian yang telah dilakukan.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Perancangan**

Perancangan adalah penentuan akhir ukuran yang dibutuhkan untuk membentuk struktur atau komponen sebagai suatu keseluruhan dalam menentukan konstruksi sesungguhnya yang dapat dikerjakan. Masalah utama dalam proses perancangan struktur adalah masalah beban yang dapat ditahan oleh struktur tersebut. Oleh karena itu, suatu struktur atau komponen harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan tegangan maksimum yang ditimbulkan oleh beban baik dalam bentuk tegangan aksial, lentur maupun geser.

Beberapa sifat yang menentukan kualitas bahan struktur antara lain :

- a. Kekuatan ( strength ) adalah kemampuan bahan untuk menahan tegangan tanpa terjadi kerusakan.
- b. Elastisitas ( elasticity ) adalah kemampuan bahan untuk kembali ke ukuran dan bentuk asalnya, setelah gaya luar dilepas. Sifat ini sangat penting pada semua struktur yang mengalami beban berubah-ubah.
- c. Kekakuan ( stiffness ) adalah sifat yang didasarkan pada sejauh mana bahan mampu menahan perubahan bentuk.
- d. Keuletan ( ductility ) adalah sifat dari bahan yang memungkinkan bisa dibentuk secara permanen melalui perubahan bentuk yang besar tanpa terjadi kerusakan. Sifat ulet sangat diperlukan untuk bahan yang mengalami beban secara tiba – tiba.

### **2.2.2 Rib**

Rib adalah rangka atau rusuk pada mobil yang berfungsi untuk menahan defleksi dan tegangan yang ditimbulkan oleh berat bodi mobil angkutan publik. Rib harus kuat, ringan, kokoh dan tahan terhadap getaran atau guncangan yang diterima dari kondisi jalan. Pada awal perkembangan teknologi bodi dan rangka kendaraan, bodi dan rib dibuat secara terpisah (composite body), namun akhir-akhir ini bodi dan rangka dibuat menyatu (monocoque body) khususnya pada kendaraan sedan.

Untuk memperoleh desain struktur rib bodi mobil maka dilakukan analisa terutama pada bentuk dan material rib yang digunakan. Suatu analisa dilaksanakan



untuk menentukan apakah pengurangan berat dapat dicapai dengan mempertimbangkan kombinasi dari bentuk struktur rib bodi mobil serta apakah kombinasi bentuk struktur rib akan mempengaruhi kekuatan mobil tersebut dalam menahan beban. Desain struktur rib dan pemilihan bahan rib yang tepat akan menghasilkan struktur rib baru yang mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang berat.

### **2.2.3 Baja**

Baja merupakan paduan yang terdiri dari besi, karbon dan unsur-unsur lainnya. Baja mempunyai keuntungan yang cukup tinggi yaitu kekuatan tariknya yang tinggi antara 300 MPa sampai 2000 MPa. Kekuatan yang tinggi ini mengakibatkan struktur yang terbuat dari baja pada umumnya mempunyai ukuran penampang yang relatif lebih kecil jika dibanding dengan struktur dari bahan yang lain. Oleh karena itu, struktur ini lebih ringan sekalipun berat jenis baja tinggi. Akibat lebih lanjut adalah pemakaian fondasi yang lebih hemat.

Beberapa keuntungan dari baja sebagai bahan struktur adalah:

- Konstruksi baja sangat kuat, tahan lama, dan stabil
- Rendah biaya pemeliharaannya
- Baja ramah lingkungan

Baja sendiri dapat dibedakan menjadi 3, yaitu :

#### **1. Baja karbon**

Baja karbon merupakan baja yang mengandung karbon antara 0,3 % sampai 1,7 %. Baja menurut kandungan karbonnya dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

##### **a. Baja karbon rendah**

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kadar C kurang dari 0,3 %. Baja jenis ini memiliki kekuatan sedang dengan keuletan yang baik dan banyak digunakan untuk tujuan konstruksi atau struktural seperti jembatan, kendaraan bermotor dan kapal laut.

b. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang adalah baja yang memiliki kadar C antara 0,3 % – 0,7 %. Baja ini memiliki keuletan yang cocok dan banyak digunakan untuk membuat as roda, poros, roda gigi dan rel.

c. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi adalah baja yang memiliki kadar C antara 0,7 – 1,7%. Baja ini digunakan untuk membuat per dan die. Mempunyai kelemahan pada kemampuan kerasnya yang kurang baik.

2. Baja paduan

Baja paduan ini dibuat dengan cara menambahkan satu atau lebih paduan kedalam baja karbon dalam jumlah yang cukup, sehingga akan diperoleh sifat-sifat baja yang baru, baja ini dikenal sebagai baja paduan. Logam paduan yang umumnya digunakan adalah nikel, mangan dan khrom

3. Baja standard

Baja ini hanya mengandung besi dan carbon tanpa ada penambahan paduan didalamnya. Salah satu jenis baja standard adalah baja ST 37. Baja ini mengandung karbon dibawah 0,2 %, dimana baja ini mempunyai sifat mampu tempa dan mampu lasnya yang baik.

## 2.2.4 Teori komposit

### 2.2.4.1 Komposit

Bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, oleh karena itu bahan komposit didefinisikan sebagai material yang tersusun dari campuran dua atau lebih unsur-unsur utama yang berbeda bentuk dan komposisi.

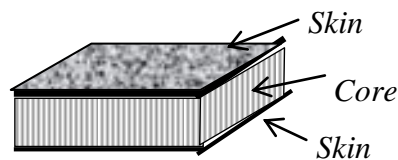
Kelebihan komposit dibandingkan dengan material lain adalah rasio antara kekuatan dan densitasnya cukup tinggi, tahan terhadap kondisi lingkungan yang merugikan, dan proses pembuatannya relatif mudah. Karena sifat komposit yang ringan, maka beban akibat konstruksi tersebut juga menjadi lebih ringan.

Penggabungan material yang berbeda bertujuan untuk menemukan material baru yang mempunyai sifat antara (*intermediate*) material penyusunnya yang tidak akan diperoleh jika material penyusunnya berdiri sendiri. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan saling memperbaiki kelemahan dan

kekurangan material penyusunnya. Sifat-sifat yang dapat diperbaiki adalah kekuatan, kekakuan, ketahanan bending dan berat jenis

#### 2.2.4.2 Komposit Sandwich

Komposit *sandwich* merupakan material yang tersusun dari tiga material atau lebih yang terdiri dari plat sebagai *skin* dan *core* pada bagian tengahnya. Banyak variasi definisi dari komposit *sandwich*, tetapi faktor utama dari material tersebut adalah *core* yang ringan, sehingga memperkecil berat jenis dari material tersebut serta kekakuan dari lapisan *skin* yang memberikan kekuatan pada komposit *sandwich*.



Gambar 2.1 Struktur komposit sandwich

Konstruksi sandwich telah digunakan secara luas dalam beberapa industri yang membutuhkan suatu konstruksi yang ringan dan kaku. Pemanfaatan konstruksi sandwich antara lain pada konstruksi lambung kapal, pesawat terbang, bodi mobil, jembatan dan lain sebagainya.

Komponen penyusun komposit sandwich secara umum terdiri atas tiga bagian utama, yaitu :

1. Face ( skin )

Yang dimaksudkan face ( skin ) adalah bagian terluar dari komposit sandwich. Material atau bahannya terbuat dari berbagai macam bahan yang dibentuk menjadi lembaran.

Berbagai jenis material dapat digunakan sebagai skin. Lembaran plat logam seperti aluminium, baja, titanium dan polymer diperkuat oleh serat merupakan beberapa contoh umum material yang biasa digunakan sebagai skin. Sifat yang harus ada pada skin diantaranya :

- a. Kekakuan baik, namun tetap memberikan kelenturan.
- b. Kekuatan tarik dan desak yang baik.
- c. Tahan terhadap impak dan gesekan.

## 2. Core

Core adalah inti ( pengisi ) dari komposit sandwich. Tujuan dari penambahan core adalah agar terjadi penambahan ketebalan tanpa terjadi penambahan berat yang berarti, sehingga didapatkan kekakuan yang relatif tinggi. Core komposit sandwich yang harus mempunyai sifat ringan, harganya murah dan mempunyai modulus geser tinggi.

## 3. Adhesive

Adhesive adalah zat perekat yang digunakan untuk mengikat face dengan core. Kekuatan tarik adhesive harus lebih kuat daripada kekuatan tarik core. Adhesive juga harus memiliki ketahanan terhadap bahan kimia dan panas, supaya dalam keadaan tersebut daya adhesivenya tidak mudah rusak.

### 2.2.5 Kekuatan Bahan

Kekuatan bahan adalah kemampuan bahan menahan gaya yang disebabkan oleh beban. Sasaran utama kekuatan bahan adalah hubungan beban, luas, gaya dan tegangan yang bekerja pada struktur.

Berdasarkan ilmu perhitungan kekuatan bahan, dimana kekuatan bahan dihitung dari tegangan nominal yang disebabkan oleh beban nominal pada tempat – tempat kritis dari komponen tersebut sehingga dapat ditentukan ukuran - ukuran komponen yang diperlukan pada tempat - tempat kritis tersebut.

Sebuah perhitungan kekuatan bahan akan bermanfaat, bila kondisi kerja dan pembebanan yang timbul untuk struktur tersebut mendekati kenyataan sehingga struktur yang digunakan aman terhadap gaya maksimum yang bisa dihasilkan oleh setiap kombinasi beban.

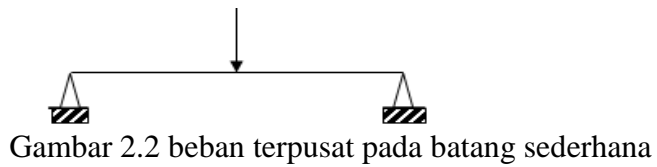
### 2.2.6 Beban

Beban yang bekerja pada batang dibedakan menjadi 2 macam yaitu :

#### a. Beban terpusat

Beban terpusat adalah beban yang bekerja pada luasan yang relatif kecil, sehingga untuk memudahkan perhitungan luasan ini dianggap sebagai titik. Beban terpusat pada batang sederhana dapat digambarkan sebagai berikut :

Beban terpusat ( W )

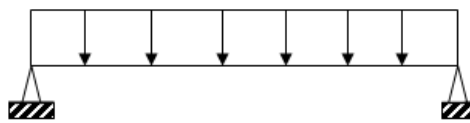


Gambar 2.2 beban terpusat pada batang sederhana

b. Beban terbagi merata

Beban terbagi merata adalah beban yang bekerja merata pada luasan yang lebih besar. Beban terbagi merata pada batang sederhana dapat digambarkan sebagai berikut :

Beban merata ( W )



Gambar 2.3 beban merata pada batang sederhana

### 2.2.7 Gaya

Gaya dihasilkan dari beban yang bekerja pada suatu batang atau struktur.

Gaya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F = m \cdot a$$

Dimana : F = Gaya ( Newton )

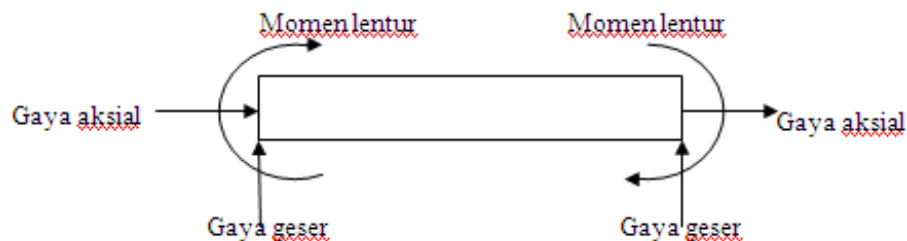
m = Massa ( kg )

a = Percepatan gravitasi ( m / s )

Setiap komponen gaya merefleksikan pengaruh beban terpasang yang berbeda pada struktur dan diberikan nama khusus sebagai berikut :

- Gaya Aksial ( Aksial Force )
- Gaya geser ( Shear force )
- Momen lentur ( Bending momen )

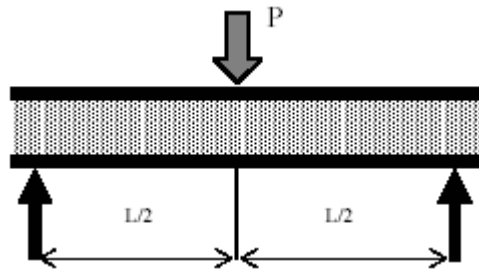
Secara umum gaya dan momen lentur pada batang dapat digambarkan seperti dibawah ini :



Gambar 2.4 : Gaya yang bekerja pada batang sederhana

### 2.2.8 Kekuatan Bending

Kekuatan bending adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material, dapat dilakukan dengan pengujian bending terhadap material tersebut.

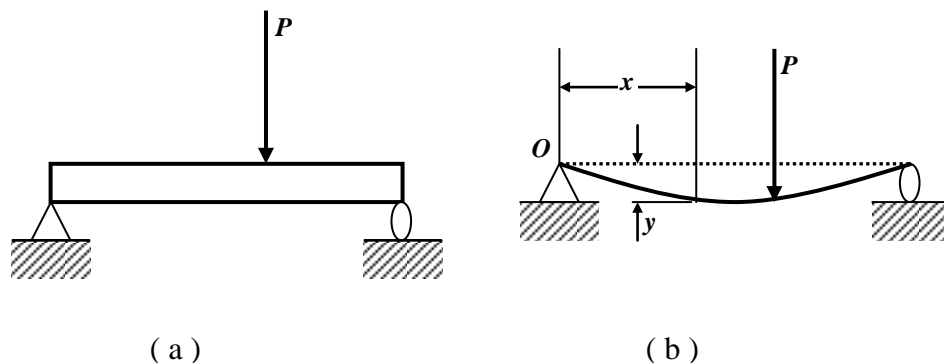


Gambar 2.5 Pengujian *bending* pada panel komposit *sandwich*

Akibat pengujian bending, pada bagian atas spesimen akan mengalami tekanan dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Kegagalan yang terjadi akibat pengujian bending, komposit akan mengalami patah pada bagian bawah yang disebabkan karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima.

### 2.2.9 Defleksi

Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Gambar a memperlihatkan batang pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan b adalah batang dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



Gambar 2.6 : Defleksi yang terjadi pada batang

Jarak perpindahan  $y$  didefinisikan sebagai defleksi batang. Disamping faktor tegangan, spesifikasi untuk rancang bangun sering ditentukan oleh adanya

defleksi. Dengan demikian, batang yang dirancang dengan baik tidak hanya mampu menahan beban yang akan diterimanya, tetapi juga harus mampu mengatasi terjadinya defleksi sampai batas tertentu.

## 2.2.10 Teori Elastisitas

### 2.2.10.1 Tegangan

Tegangan yang bekerja pada penampang bahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana :  $\sigma$  = Tegangan atau gaya per satuan luas  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

P = Beban (*Newton*)

A = Luas penampang ( $m^2$ )

Dalam menentukan bahan untuk perancangan suatu struktur atau komponen, maka hal yang paling utama yang harus ditentukan adalah tegangan yang mampu diberikan pada struktur tersebut. Tegangan yang harus ditentukan pada bahan sebelum proses perancangan adalah :

- a. Tegangan Batas didefinisikan sebagai tegangan satuan terbesar suatu bahan yang dapat ditahan tanpa menimbulkan kerusakan.
- b. Tegangan ijin yaitu bagian kekuatan batas yang bisa aman digunakan pada perancangan. Para perancang struktur ( komponen ) umumnya bekerja dengan suatu tegangan izin yang ditetapkan sebelumnya.

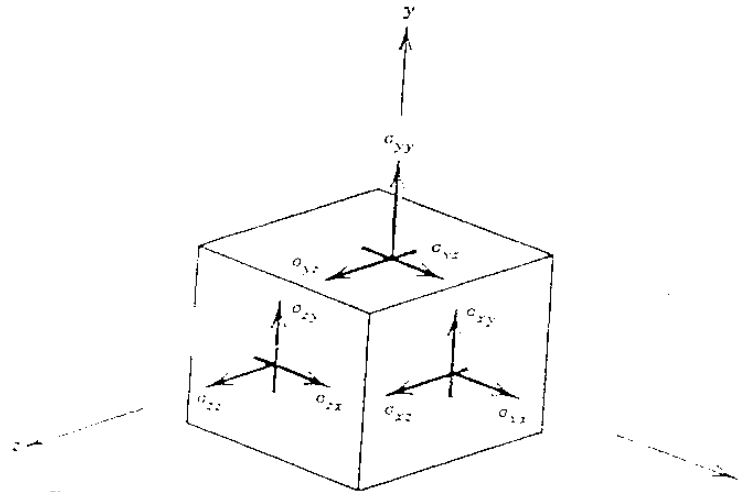
Secara umum tegangan dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. Tegangan normal  
Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap permukaan yang mengalami tegangan. Tegangan ini dapat berupa tegangan tarik maupun tekan.
- b. Tegangan geser  
Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar terhadap permukaan yang mengalami tegangan.

Komponen tegangan ( stress ) bernilai positif jika searah dengan koordinat positifnya dan sebaliknya. Tegangan yang bekerja pada batang terdiri dari 6 komponen, antara lain :

$$\{\sigma\}^T = \{ \sigma_{xx} \quad \sigma_{yy} \quad \sigma_{zz} \quad \sigma_{xy} \quad \sigma_{xz} \quad \sigma_{yz} \}$$

Keenam komponen tegangan ini dapat digambarkan seperti dibawah ini :



Gambar 2.7 : Enam komponen tegangan.

Sumber : *Applied finite element analysis. Larry J. sigerlind 1994.Hal 287*

### 2.2.10.2 Regangan

Regangan digunakan untuk mempelajari deformasi yang terjadi pada suatu benda. Untuk memperoleh regangan, maka dilakukan dengan membagi perpanjangan ( $\delta$ ) dengan panjang ( L ) yang telah diukur, dengan demikian diperoleh :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Dimana :  $\varepsilon$  = regangan

$\delta$  = perubahan bentuk aksial total ( mm )

L = panjang batang ( mm )



### 2.2.10.3 Hukum Hooke's

Sesuai dengan hukum Hooke's, tegangan adalah sebanding dengan regangan. Kesebandingan tegangan terhadap regangan dinyatakan sebagai perbandingan tegangan satuan terhadap regangan satuan. Pada bahan kaku tetapi elastis seperti baja, kita peroleh bahwa tegangan satuan yang diberikan menghasilkan perubahan bentuk satuan yang relatif kecil.

Perkembangan hukum Hooke's tidak hanya pada hubungan tegangan – regangan saja, tetapi berkembang menjadi modulus young atau modulus elastisitas.

Rumus modulus elastisitas ( E ) adalah :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana : E = Modulus elastisitas  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$  atau Mpa

$\sigma$  = tegangan  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

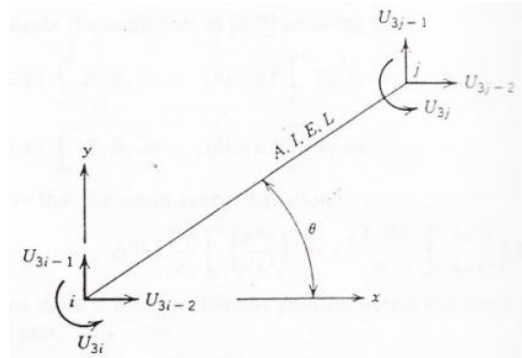
$\varepsilon$  = regangan

## 2.2.11 Elemen Frame ( Rangka )

### 2.2.11.1 Model struktur elemen Frame

Elemen Frame adalah gabungan dari elemen gaya aksial dan elemen batang ( beam ) dua dimensi. Pada elemen frame bekerja beban horizontal dan vertikal di setiap titik ( node ) ditambah dengan rotasi. Sebagai contoh, jika elemennya ( I ) mempunyai nilai 5, maka pada elemen ini bekerja  $U_{13}$ ,  $U_{14}$  dan  $U_{15}$ . Gaya luar yang diterapkan pada elemen kelima adalah  $P_{13}$ ,  $P_{14}$  dan  $P_{15}$ .

Parameter yang penting pada elemen frame adalah modulus elastisitas ( E ), luas ( A ), momen inersia ( I ) dan panjang ( L ). Parameter pada elemen frame dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.8 Elemen Frame dan pusat beban

Di dalam elemen Frame, nodal-nodal biasanya ditempatkan pada :

1. Tiap tumpuan
2. Tiap ujung batang
3. Dimanapun terjadi perubahan EI pada batang
4. Dimanapun ada momen terkonsentrasi
5. Dimanapun ada gaya terkonsentrasi
6. Dimanapun nilai defleksi diperlukan

### 2.2.11.2 Gaya dalam

Gaya dalam yang bekerja pada elemen rangka dapat dirumuskan seperti di bawah ini :

$$\{\bar{S}^{(e)}\} = [\bar{k}^{(e)}][T]\{U^{(e)}\}$$

Dimana, komponen gaya aksialnya dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\{U^{(e)}\} = [\bar{u}_i \quad \bar{v}_i \quad \bar{\theta}_i \quad \bar{u}_j \quad \bar{v}_j \quad \bar{\theta}_j]$$

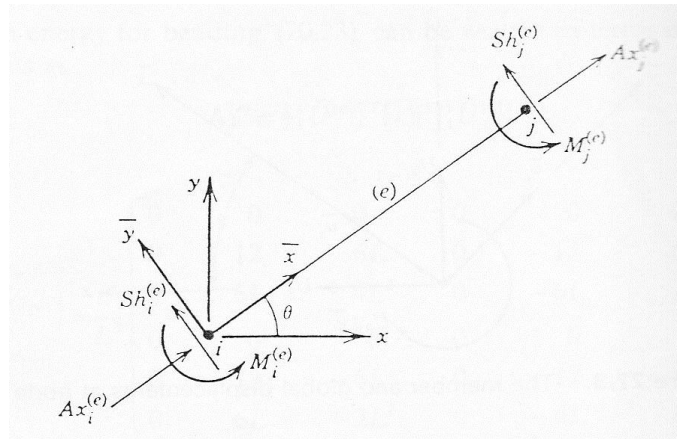
$$[k^{(e)}] = \frac{EI}{L} = \begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L \\ 0 & 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L \\ 0 & 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Gaya internal atau gaya dalam terdiri – dari beberapa komponen, yaitu :

$$\{\bar{S}^{(e)}\}^T = [Ax_i \quad Sh_i \quad M_i \quad Ax_j \quad Sh_j \quad M_j]$$

Gaya internal ini dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.9 : Gaya aksial, gaya geser dan momen lentur internal yang bekerja pada setiap node ( titik )

### 2.2.12 Teori Umum MEH ( Metode Elemen Hingga )

Metode Elemen Hingga (MEH) pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950. Sejak saat itu metode ini terus menerus dikembangkan. Sekarang Metode Elemen Hingga sudah menjadi alat canggih yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai persoalan teknik dan dipakai secara luas serta diterima oleh banyak bidang industri.

Perkembangan Metode Elemen Hingga antara lain dapat dilihat dalam industri mobil. Tahapan analisis dan evaluasi secara menyeluruh untuk mengetahui unjuk kerja desain mobil baru dapat dilakukan bertahun-tahun sebelum prototype pertama dari mobil dibuat bila dibantu dengan menggunakan Metode Elemen Hingga. Metode ini dapat menganalisis kekuatan masing-masing komponen mobil secara keseluruhan, sifat ketahanan tumbukan termasuk juga tegangan yang timbul pada bodi mobil.

MEH merupakan prosedur numerik untuk menyelesaikan permasalahan fisik yang diatur dengan persamaan diferensial. Karakteristik MEH yang membedakan dengan prosedur numerik yang lain adalah :

1. MEH menggunakan penyelesaian integral untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar.
2. MEH menggunakan fungsi-fungsi kontinyu sebagian untuk mendeteksi kuantitas atau beberapa kuantitas yang tidak diketahui.

Secara umum MEH terdiri dari lima langkah dasar yaitu :

1. Mendiskritisasikan daerah-daerah yang meliputi penempatan titik-titik nodal, penomoran titik-titik nodal dan penentuan koordinatnya.
2. Menentukan derajat atau orde persamaan pendekatan linear atau kuadratik. Persamaan harus dinyatakan sebagai fungsi nodal.
3. Menyusun sistem persamaan-persamaan.
4. Menyelesaikan sistem persamaan-persamaan.
5. Menghitung kuantitas yang dicari. Kuantitas dapat merupakan komponen tegangan dan lain-lain.

Persamaan dalam MEH biasanya berbentuk :

$$[ k ] \{ u \} = \{ F \}$$

Dimana :  $[ k ]$  = Matrik kekakuan

$\{ u \}$  = Vektor kolom dengan komponen matrik berupa nilai nodal

$\{ F \}$  = Gaya yang bekerja pada nodal

### 2.2.13 Teori Pemrograman

Suatu algoritma perhitungan dari suatu proses analisis sederhana dapat dituliskan dalam satu program tunggal, khususnya jika ternyata program tersebut berukuran kecil katakanlah dalam orde ratusan baris. Penyusunan, modifikasi dan kompilasi program tunggal dengan demikian masih bisa dilakukan dengan mudah. Namun jika program sudah besar dengan ribuan bahkan puluhan ribu baris maka praktek penulisan algoritma dalam suatu program tunggal sebaiknya dihindari atas dasar beberapa alasan, antara lain :

1. Semakin besar ukuran program, semakin lama waktu kompilasi yang dibutuhkan. Program yang berukuran 2 kali membutuhkan waktu

kompilasi lebih dari 2 kali lipat. Hal ini diperlukan demi alasan penghematan waktu kompilasi.

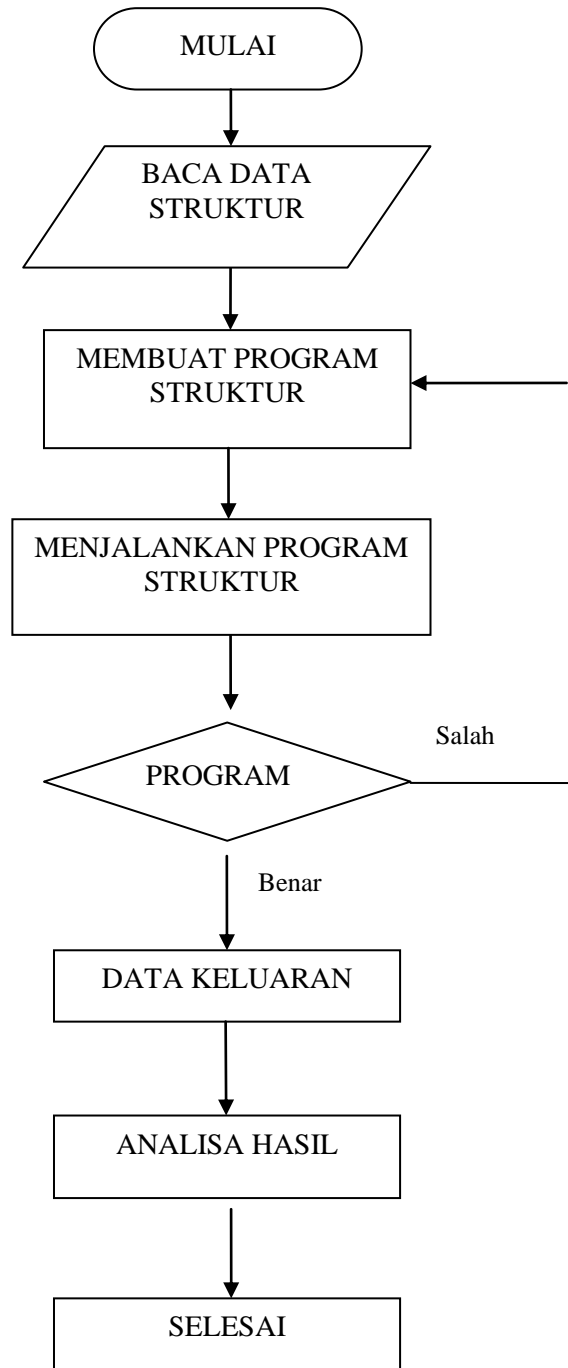
2. Alasan yang menyangkut kompilasi ulang. Modifikasi beberapa baris saja membutuhkan kompilasi ulang program keseluruhan, yang jika terdiri-dari ribuan baris tentu akan menyita waktu yang lama.
3. Alasan yang menyangkut proses penelusuran kesalahan ( debugging ). Kebutuhan akan menemukan kesalahan kecil atau beberapa baris saja membutuhkan pemeriksaan kesalahan pada semua baris yang ada, sehingga sering dihadapi kasus dalam praktek pemrograman dimana baris yang sebenarnya betul malah dimodifikasi sementara kesalahan yang dicari masih belum diketemukan dan tidak diperbaiki.

Untuk mengatasi hal-hal diatas, maka program akan ditulis dalam satu program induk ( main program ) yang memiliki beberapa subprogram yang dalam hal ini digunakan SUBROUTINE. Program induk hanya berfungsi untuk menugasi subroutine ( memberi perintah kerja dengan perintah CALL ). Suatu subroutine bertugas untuk melakukan satu macam proses operasi yang dalam keseluruhan analisis dilakukan berulang.

Secara garis besar, suatu paket program analisis struktur dapat dibagi atas beberapa blok proses, yaitu :

1. Mulai
2. Pembacaan data masukan
3. Membuat program struktur
4. Menjalankan program struktur
5. Mencetak data keluaran
6. Analisa data
7. Selesai

Garis besar pemrograman analisis struktur diatas dapat dibuat program seperti dibawah ini :



Gambar 2.10 : Diagram Blok Program Analisis Struktur

#### 2.2.14 Program Frame

Program komputer ini dapat digunakan untuk menganalisa masalah struktur dan tegangan elastis satu dan dua dimensi. Program Frame memiliki 5 subprogram yang dapat dijelaskan seperti di bawah ini :

1. Subprogram MODFRM

Subprogram MODFRM adalah gabungan dari titik pusat beban pada baris dan kolom. Subroutine ini terdiri dari nilai konsentrasi gaya dan elemen seperti F. Subprogram MODFRM ini serupa dengan subroutine MODIFY pada program TDFIELD dan stress.

2. Subprogram DCMPBD

Pada subroutine DCMPBD ini dimasukkan nilai nodal ke dalam sistem persamaan dengan metode penghapusan baris dan kolom.

3. Subprogram SLVBD

Subroutine SLVBD ini merupakan kumpulan dari program DCMPBD. Subroutine ini menguraikan vektor gaya global dan menyelesaikan sistem persamaan dengan substitusi balik.

4. Subprogram CONVERT

Subroutine CONVERT pada program frame kelihatan seperti sebuah gaya aksial, sambungan, balok atau program frame itu sendiri. Matrik kekakuan elemen ddi dalam frame mempunyai tiga titik berat pada setiap node ( titik ), tetapi CONVERT pada program terdiri-dari satu, dua atau tiga pusat beban pada sebuah node ( titik ) yang nilainya tergantung pada ITYP.

5. Subprogram INVERT

Subroutine INVERT adalah kumpulan dari program CONVERT. Subroutine ini menerima hasil perhitungan dari 3 pusat beban dari sebuah node ( titik ).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Alat dan Bahan**

##### **3.1.1 Alat yang digunakan**

- a. Komputer dengan spesifikasi :
  - Prosesor Pentium III 800 MHz
  - Memori 256 MB
- b. Perangkat lunak Mikrosft Fortran Power Station 4.0
- c. Printer

##### **3.1.2 Bahan yang digunakan**

- a. Bahan yang digunakan adalah :
  1. Rib bodi angkutan publik : baja St 37
    - Tegangan luluh baja St 37 =  $235 \text{ N/mm}^2$
    - Tegangan geser baja St 37 =  $117,5 \text{ N/mm}^2$
    - Tegangan lentur baja St 37 =  $330 \text{ N/mm}^2$
    - Modulus elastisitas baja ( E ) =  $2 ( 10^5 ) \text{ N/mm}^2$
  2. Bodi angkutan publik : komposit sandwich
    - Konstanta kekakuan bahannya adalah 1,5.
    - a = percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/s}^2$
    - Berat ( m ) bodi angkutan publik = 750 kg
    - Beban total bodi angkutan publik =  $750 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1,5$   
= 11036,25 N
- b. Bahan berupa literatur berisi hasil-hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dikerjakan .
- c. Buku-buku referensi penunjang penelitian.
- d. Jurnal – jurnal



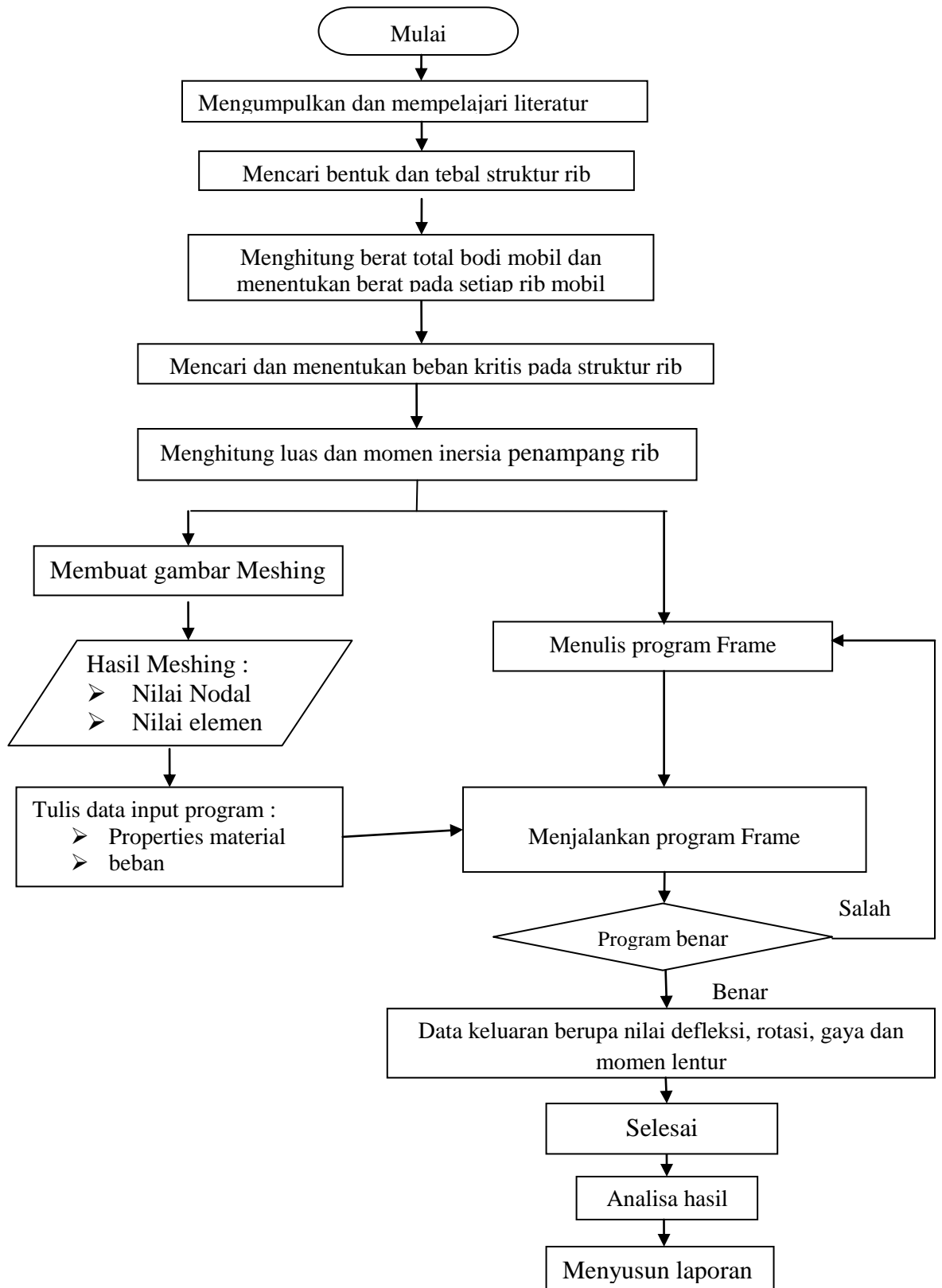
### 3.2. Garis Besar Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik mekanik dari bahan yang digunakan serta mencari tegangan maksimum yang disebabkan oleh pembebanan dan membandingkannya dengan tegangan bahan rib sehingga akan didapatkan bentuk rib yang paling baik dan aman jika digunakan.

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka dengan langkah pelaksanaan secara garis besar sebagai berikut:

- a. Mengumpulkan dan mempelajari literatur berupa :
  1. Hasil – hasil penelitian terdahulu.
  2. Buku penunjang.
  3. Jurnal – jurnal.
- b. Mencari bentuk dan tebal struktur rib yang digunakan.
- c. Menghitung berat total bodi mobil dan menentukan berat pada setiap rib.
- d. Mencari dan menentukan beban kritis pada setiap struktur rib.
- e. Menghitung luas dan momen inersia penampang rib.
- f. Membuat gambar meshing.
- g. Menulis hasil meshing.
- h. Mencari data masukan atau input program antara lain : properties material dan pembebanan.
- i. Menulis program Frame
- j. Menjalankan program Frame.
- k. Memperbaiki kesalahan dalam pemrograman, yaitu :
  1. Kesalahan penulisan.
  2. Kesalahan algoritma.
- l. Data keluaran berupa nilai defleksi, rotasi, gaya dan momen lentur.
- m. Selesai.
- n. Membuat analisa hasil.
- o. Menyusun laporan.

Garis besar penelitian tersebut dapat dibuat diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3. 1 : Diagram alir penelitian

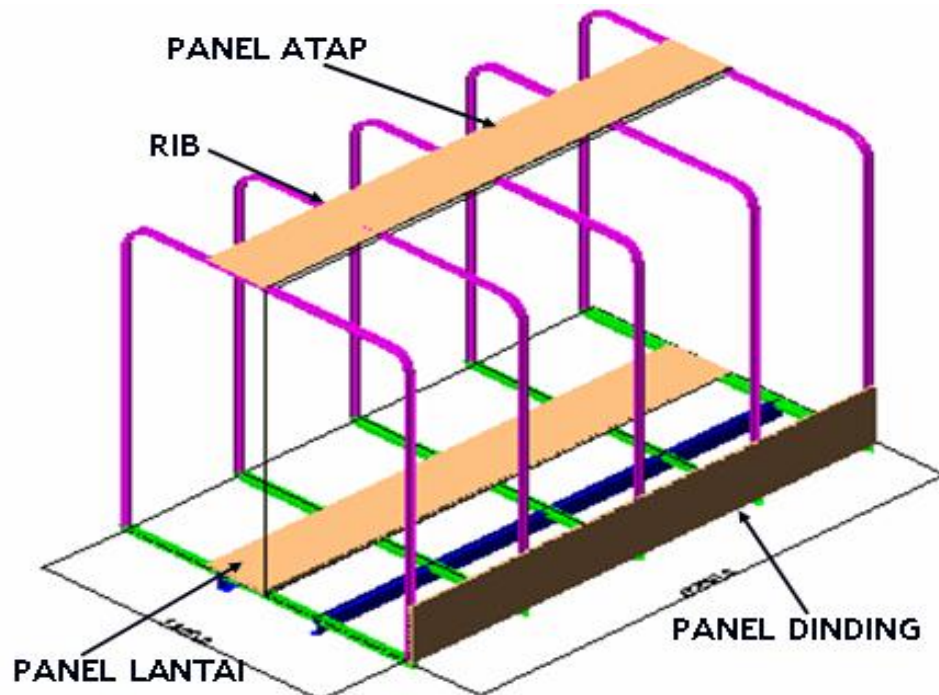
### 3.3 Bentuk dan ukuran rib bodi angkutan publik

#### 3.3.1 Bentuk rib bodi angkutan publik

Rib pada bodi angkutan publik berfungsi untuk menahan berat yang disebabkan oleh bodi mobil angkutan publik. Untuk memperoleh desain struktur rib bodi angkutan publik yang tepat maka dilakukan analisa terutama pada bentuk dan material rib yang digunakan. Rib yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari baja ST 37. Alasan utama digunakannya baja ST 37 untuk membuat rib adalah karena baja ini mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang dihasilkan oleh bodi angkutan publik yang terbuat dari komposit sandwich sehingga struktur rib tersebut aman digunakan.

Pada proses pembuatan struktur rib bodi angkutan publik ini digunakan rib berjumlah 5, dimana besar beban yang ditahan oleh rib itu berbeda-beda. Pada rib nomor 1 dan 5 ( rib bagian tepi kiri dan kanan ) hanya menahan beban setengah dari beban yang ditahan oleh rib bagian tengah.

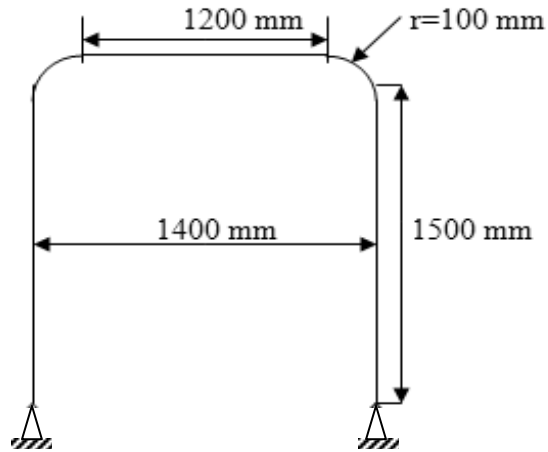
Bentuk rib bodi mobil angkutan publik dapat dilihat seperti dibawah ini :



Gambar 3.2 : Bentuk rib bodi angkutan publik

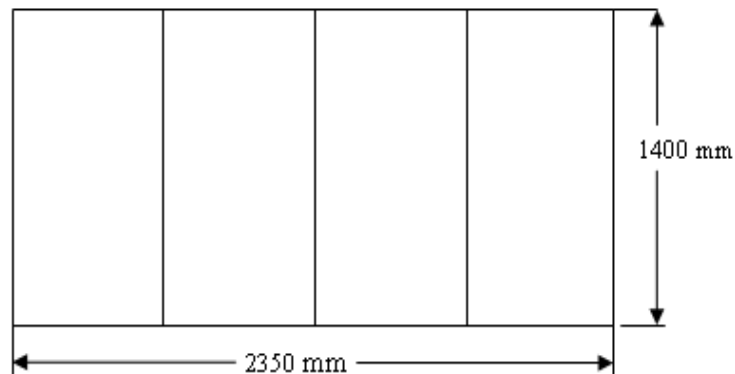
### 3.3.2 Dimensi rib bodi angkutan publik

- a. Dimensi rib bagian atap dan dinding angkutan publik yang digunakan pada penelitian ini adalah :



Gambar 3.3 : Dimensi rib atap dan dinding angkutan publik

- b. Dimensi rib lantai angkutan publik yang digunakan pada penelitian ini adalah :

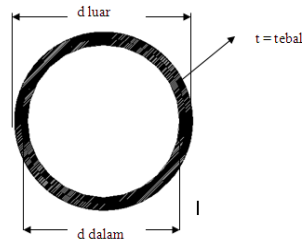


Gambar 3.4 : Dimensi rib lantai angkutan publik

### 3.4 Bentuk dan tebal penampang rib bodi angkutan publik

Pada penelitian ini digunakan rib dengan bentuk dan tebal yang berbeda – beda. Hal ini bertujuan untuk mencari bentuk dan tebal rib yang paling baik dan aman digunakan. Bentuk rib yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 5 antara lain bentuk O, L, C, I dan U dengan 3 variasi ketebalan, yaitu 0,06 cm; 0,08 cm dan 0,1 cm. Bentuk rib yang digunakan dapat dilihat seperti gambar di bawah ini :

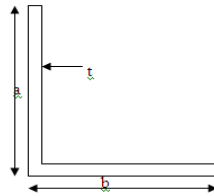
1. Rib berbentuk O



Gambar 3.5 Rib berbentuk O

Rib ini mempunyai diameter ( $d$ ) 2,54 cm dengan variasi ketebalan ( $t$ ) yang digunakan adalah 0,06 cm; 0,08 cm dan 0,1 cm.

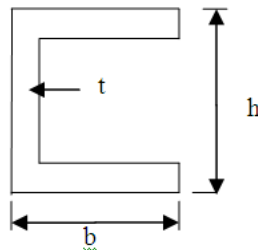
2. Rib berbentuk L



Gambar 3.6 Rib berbentuk L

Rib ini mempunyai panjang ( $b$ ) dan tinggi ( $a$ ) 2,54 cm dengan variasi ketebalan ( $t$ ) yang digunakan adalah 0,06 cm; 0,08 cm dan 0,1 cm.

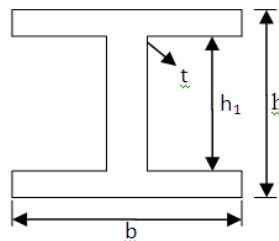
3. Rib berbentuk C



Gambar 3.7 Rib berbentuk C

Rib ini mempunyai panjang ( $b$ ) dan tinggi ( $h$ ) 2,54 cm dengan variasi ketebalan ( $t$ ) yang digunakan adalah 0,06 cm; 0,08 cm dan 0,1 cm.

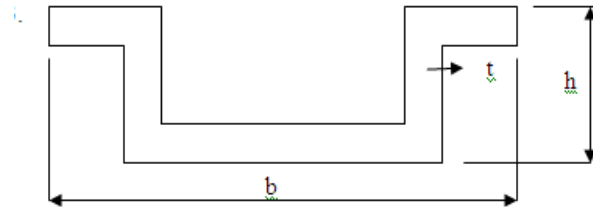
4. Rib berbentuk I



Gambar 3.8 Rib berbentuk I

Rib ini mempunyai panjang (b) dan tinggi (h) 2,54 cm dengan variasi ketebalan (t) yang digunakan adalah 0,06 cm; 0,08 cm dan 0,1 cm.

5. Rib berbentuk U

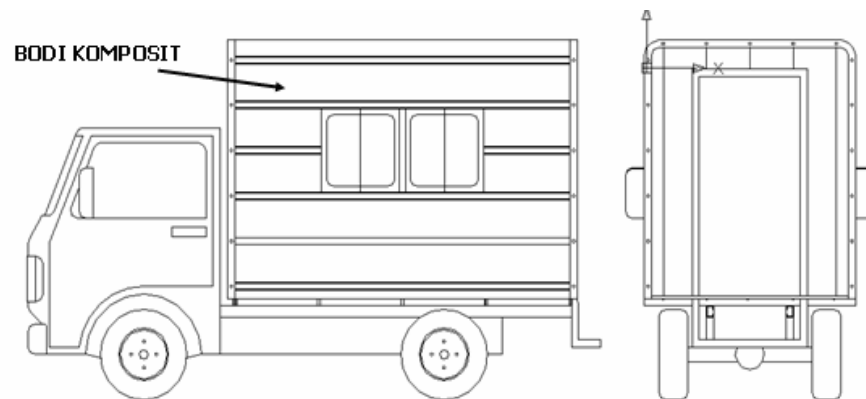


Gambar 3.9 Rib berbentuk U

Rib ini mempunyai panjang (b) dan tinggi (h) 2,54 cm dengan variasi ketebalan (t) yang digunakan adalah 0,06 cm; 0,08 cm dan 0,1 cm.

### 3.5 Bentuk mobil angkutan publik

Pada penelitian ini digunakan mobil angkutan publik dengan bodi yang terbuat dari komposit sandwich. Bentuk mobil angkutan publik dapat dilihat seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3.10 : Bentuk mobil angkutan publik

### 3.6 Dimensi mobil angkutan publik

Dimensi mobil angkutan publik yang digunakan adalah :

- Panjang kendaraan : 235 cm = 2,35 m
- Lebar kendaraan : 150 cm = 1,5 m
- Tinggi : 160 cm = 1,6 m

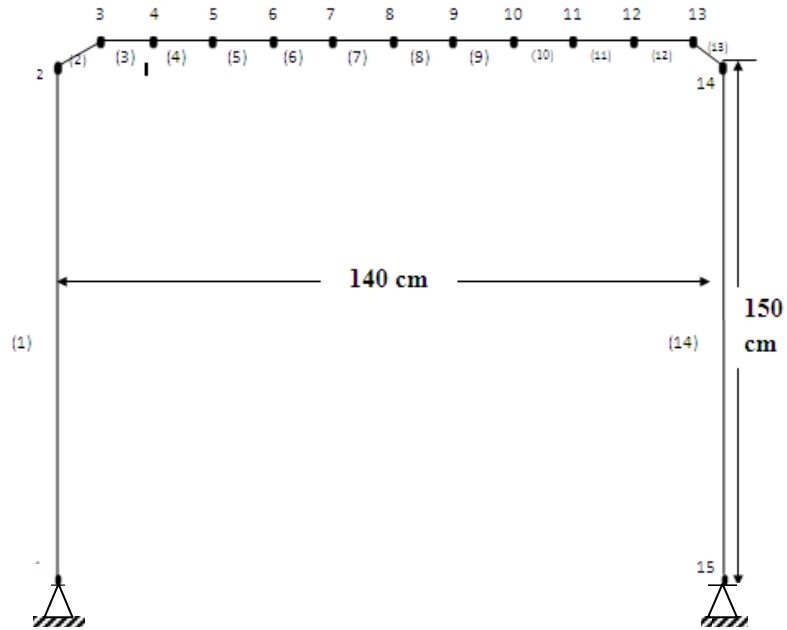
### 3.7 Gambar Meshing

#### 3.7.1 Gambar Meshing pada rib bagian dinding dan atap

Jumlah nodal : 15

Jumlah elemen : 14

Data jumlah nodal dan elemen di atas dapat digambarkan sebagai berikut :



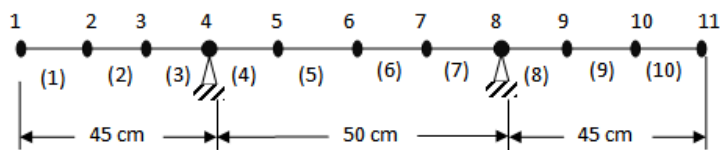
Gambar 3.11 meshing pada rib bagian dinding dan atap

#### 3.7.2 Gambar Meshing pada rib lantai

Jumlah nodal : 11

Jumlah elemen: 10

Data jumlah nodal dan elemen di atas dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.12 meshing pada rib lantai

### 3.8 Distribusi gaya pada rib bodi angkutan publik

Bodi mobil angkutan publik terbuat dari komposit sandwich yang mempunyai konstanta kekakuan bahan (  $k$  ) sebesar 1,5. Dengan demikian gaya yang bekerja pada bodi mobil dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F = k.m.a$$

Dimana :

$F$  = Gaya ( Newton )

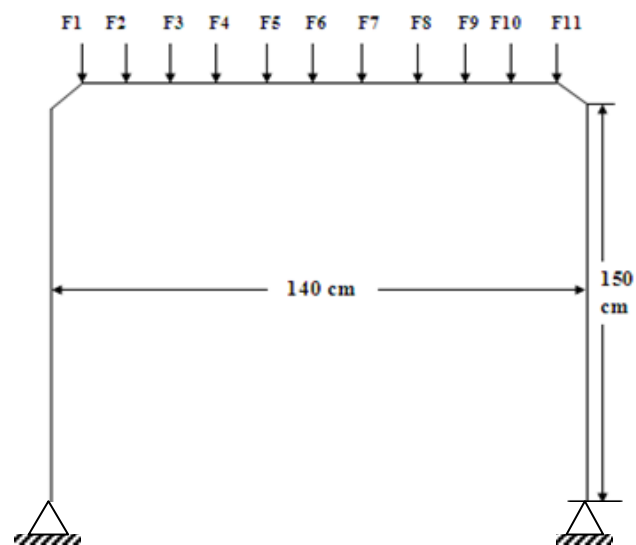
$K$  = konstanta kekakuan bahan

$m$  = massa ( kg )

$a$  = kecepatan gravitasi (  $9,81 \text{ m / s}^2$  )

#### 3.8.1 Distribusi gaya pada rib bagian atap dan dinding mobil angkutan publik

Gaya yang bekerja adalah gaya terbagi merata, dimana nilainya sama di setiap panjang batang. Gaya ini berasal dari berat bodi angkutan publik yang terbuat dari komposit sandwich. Besar gaya yang diterima oleh rib berbeda-beda. Pada rib nomor 1 dan 5 ( rib bagian tepi ) mempunyai nilai sebesar 1379,53 N, sedangkan rib nomor 2, 3 dan 4 mempunyai nilai sebesar 2759,06 N. Gaya yang bekerja pada  $F_2$  sampai  $F_{10}$  sebesar 275,906 N, sedangkan pada  $F_1$  dan  $F_{11}$  sebesar 137,953 N. Gaya yang bekerja pada rib ini dapat dilihat seperti gambar dibawah ini :

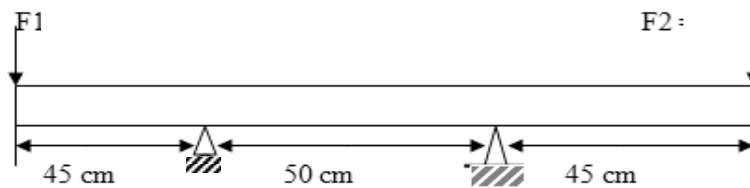


Gambar 3.13 : Distribusi gaya pada rib atap dan dinding angkutan publik



### 3.8.2 Distribusi gaya pada rib lantai mobil angkutan publik

Gaya yang bekerja adalah gaya terpusat yang nilainya didapat dari distribusi gaya pada rib bagian atap dan dinding angkutan publik, dimana gaya ini bekerja terpusat pada bagian tepi kiri dan kanan rib. Gaya yang bekerja pada F1 dan F2 sebesar 1379,53 N. Gaya yang bekerja pada rib ini dapat dilihat seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3.14 : Distribusi gaya pada rib lantai mobil angkutan publik

## 3.9 *Boundary condition* ( kondisi batas ) pada bodi mobil

### 3.9.1 *Boundary condition* ( kondisi batas ) pada rib bagian dinding dan atap

*Boundary condition* ( kondisi batas ) diberikan pada persamaan matrik suatu sistem sebelum menyelesaikan simpangan nodal. Pada penelitian ini, simpangan nodal nomor 1 ( $u_1$ ) dan nomor 15 ( $u_{15}$ ) sama dengan nol ( 0 ) karena tumpuannya adalah sendi, oleh karena itu maka pada nodal 1 dan 15 mempunyai nilai defleksi x dan y nol.

### 3.9.2 *Boundary condition* ( kondisi batas ) pada rib lantai

*Boundary condition* ( kondisi batas ) diberikan pada persamaan matrik suatu sistem sebelum menyelesaikan simpangan nodal. Pada penelitian ini, simpangan nodal nomor 4 ( $u_4$ ) dan nomor 8 ( $u_8$ ) sama dengan nol ( 0 ) karena tumpuannya adalah sendi, oleh karena itu maka pada nodal 4 dan 8 mempunyai nilai defleksi x dan y nol.

## BAB IV DATA DAN ANALISA

Urutan penelitian yang berjudul aplikasi Metode Elemen hingga ( MEH ) pada struktur rib bodi angkutan publik adalah menentukan bahan rib bodi dan bahan bodi angkutan publik serta karakteristik kekuatannya, menentukan bentuk dan tebal rib bodi, melakukan penghitungan jumlah nodal dan elemen, koordinat x dan y, beban kritis yang bekerja pada rib bodi angkutan publik kemudian dari bentuk dan tebal rib bodi dihitung luas dan momen inersianya serta membuat gambar dan menghitung data meshing. Dengan menggunakan Metode Elemen Hingga ( MEH ) dan program Frame, maka data input tersebut diolah dan didapatkan keluaran berupa nilai defleksi, gaya aksial, gaya geser, momen lentur dan tegangan pada setiap node ( titik ) pada rib bodi angkutan publik.

### 4.1 Luas dan momen inersia penampang rib bodi angkutan publik

Tabel 4.1 menunjukkan nilai luas dan momen inersia pada beberapa bentuk rib bodi angkutan publik dengan 3 variasi ketebalan, yaitu : 0,06 cm; 0,08 cm dan 0,1 cm, dimana nilai luas dan momen inersia ini digunakan sebagai input program frame.

Tabel 4.1 Nilai luas dan momen inersia rib bodi angkutan publik

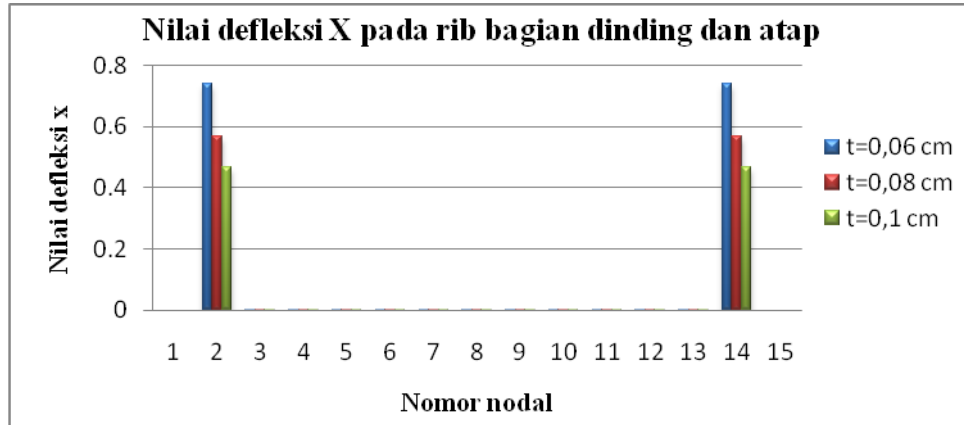
Tebal (t)		Bentuk rib bodi angkutan publik				
		O	L	C	I	U
0,06 cm	Luas (cm <sup>2</sup> )	0,467	0,302	0,45	0,451	0,45
	Momen inersia (cm <sup>4</sup> )	0,719	0,317	0,54	0,539	0,382
0,08 cm	Luas (cm <sup>2</sup> )	0,618	0,4	0,597	0,597	0,597
	Momen inersia (cm <sup>4</sup> )	0,936	0,417	0,705	0,705	0,504
0,1 cm	Luas (cm <sup>2</sup> )	0,766	0,498	0,742	0,742	0,742
	Momen inersia (cm <sup>4</sup> )	1,142	0,515	0,858	0,86	0,618

Dari tabel di atas diketahui bahwa rib berbentuk O mempunyai nilai luas dan momen inersia paling besar, sedangkan rib berbentuk L mempunyai nilai luas dan momen inersia paling kecil. Semakin tebal rib maka nilai luas dan momen inersianya akan semakin besar.

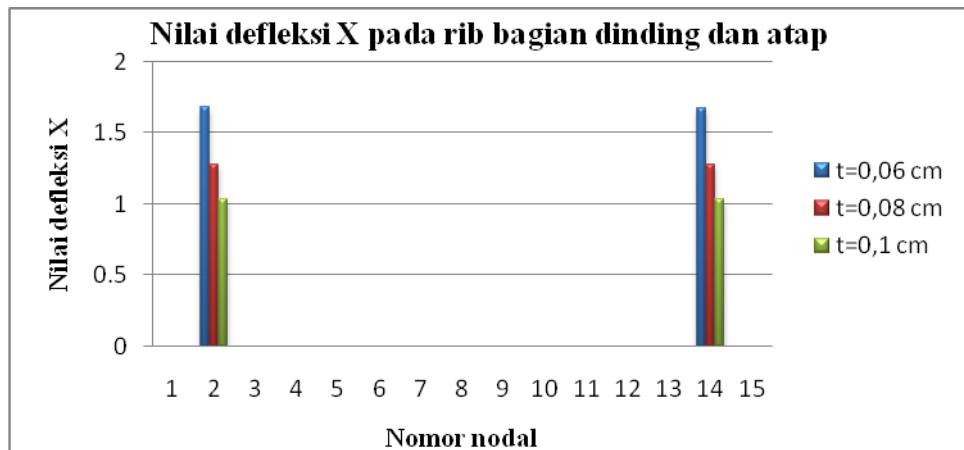
## 4.2 Distribusi defleksi pada rib bodi angkutan publik

### 4.2.1 Distribusi defleksi pada rib bodi angkutan publik

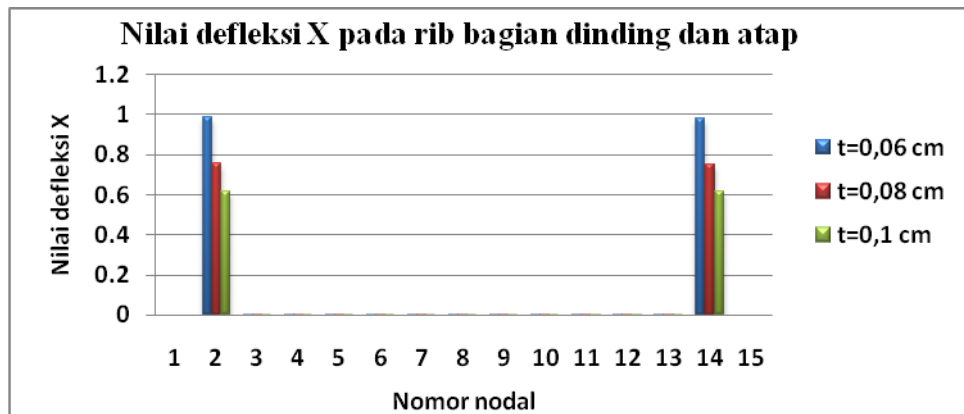
#### 4.2.1.1 Distribusi defleksi x pada rib bagian dinding dan atap



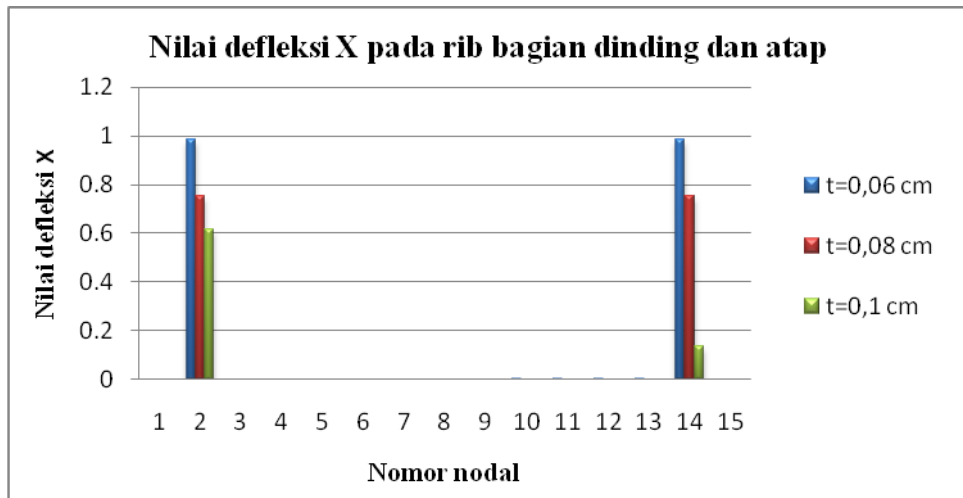
Gambar 4.1 : distribusi defleksi x pada rib O



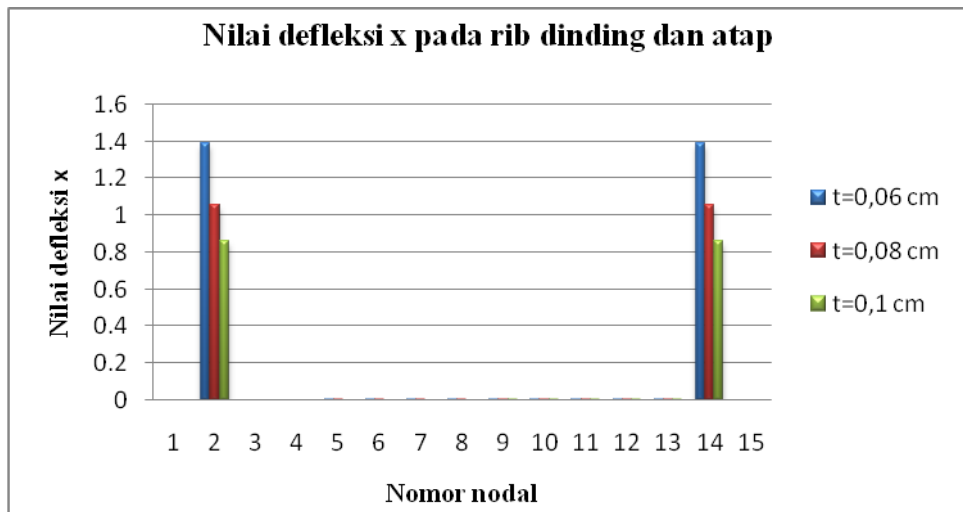
Gambar 4.2 : Distribusi defleksi X pada rib L



Gambar 4.3 : Distribusi defleksi X pada rib berbentuk C



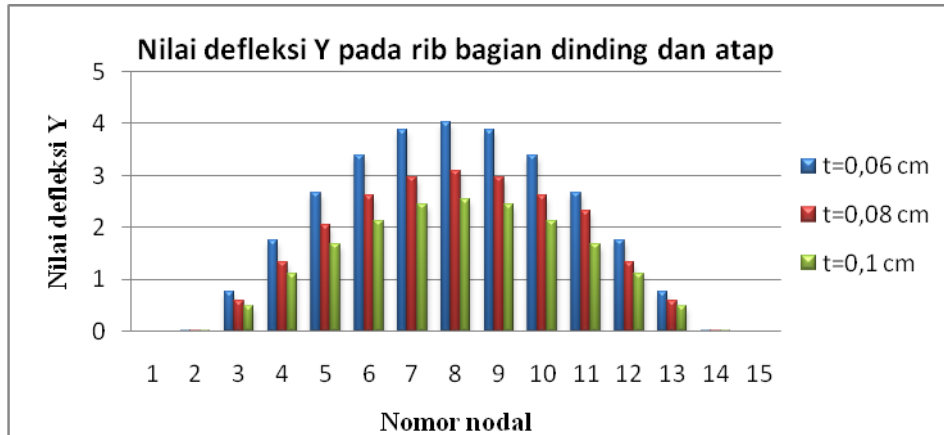
Gambar 4.4 : Distribusi defleksi X pada rib berbentuk I



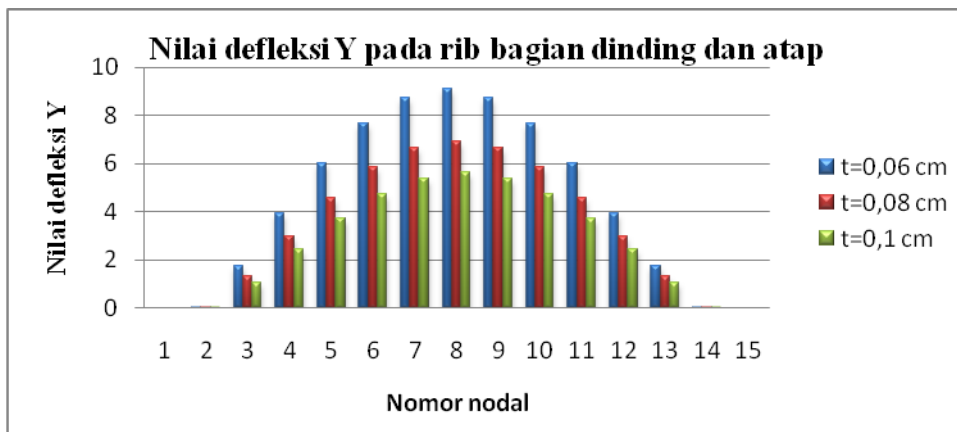
Gambar 4.5 : Distribusi defleksi X pada rib berbentuk U

Dari gambar diketahui bahwa nilai defleksi yang terjadi pada rib berbentuk O, L, C, I dan U mempunyai perbedaan nilai yang cukup signifikan. Pada nodal 1 dan 15 bernilai nol, nodal 3 – 13 mempunyai nilai defleksi tetapi nilainya sangat kecil sedangkan nilai defleksi x maksimumnya terjadi pada nodal 2 dan 14.

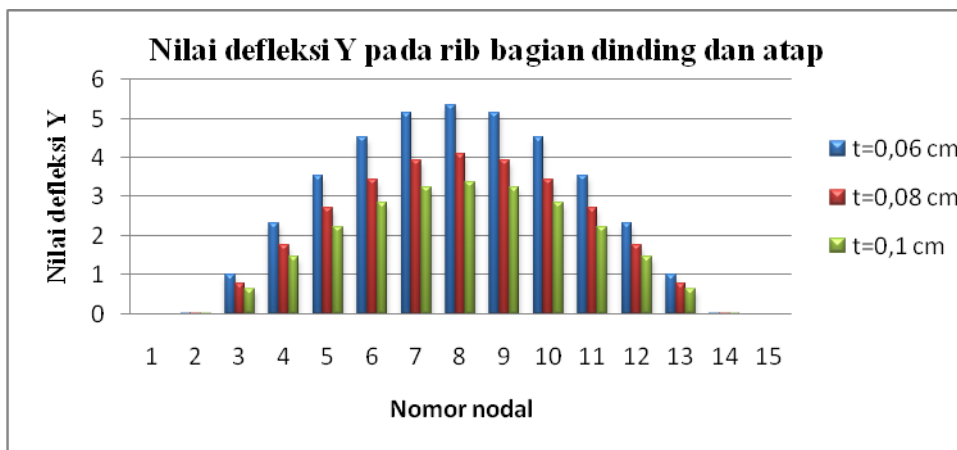
4.2.1.2 Distribusi defleksi Y pada rib bagian dinding dan atap



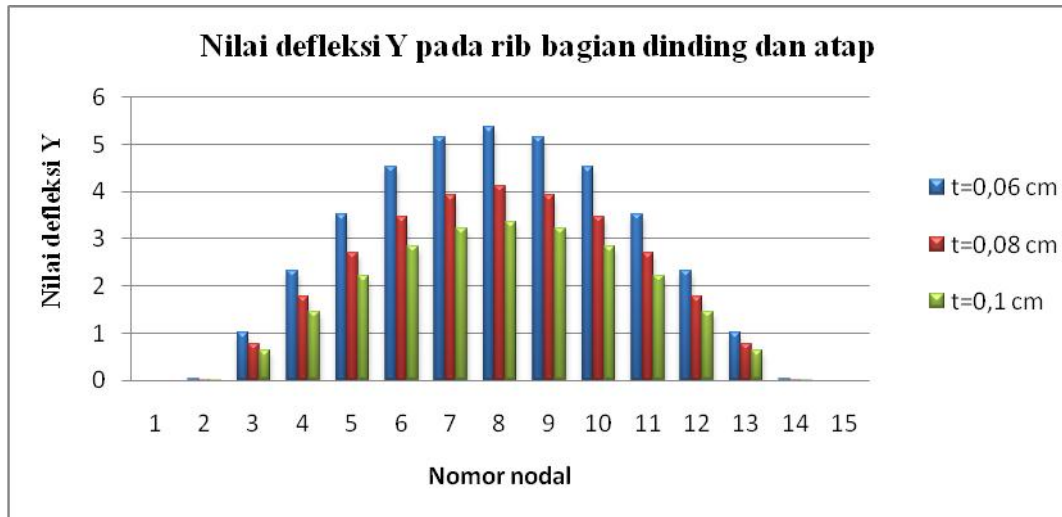
Gambar 4.6 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk O



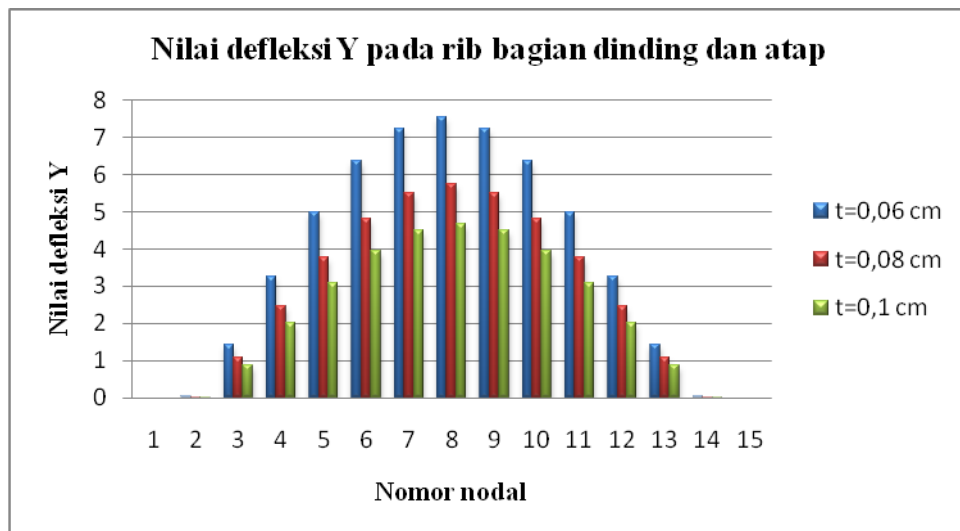
Gambar 4.7 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk L



Gambar 4.8 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk C



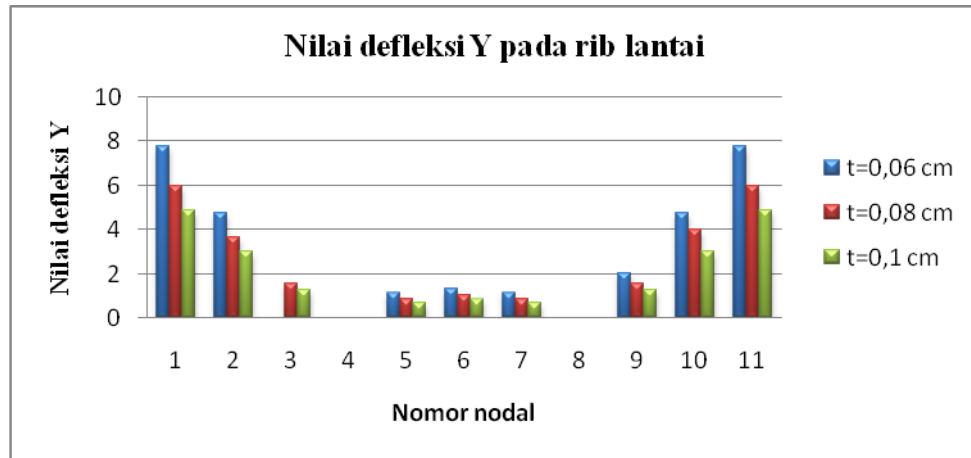
Gambar 4.9 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk I



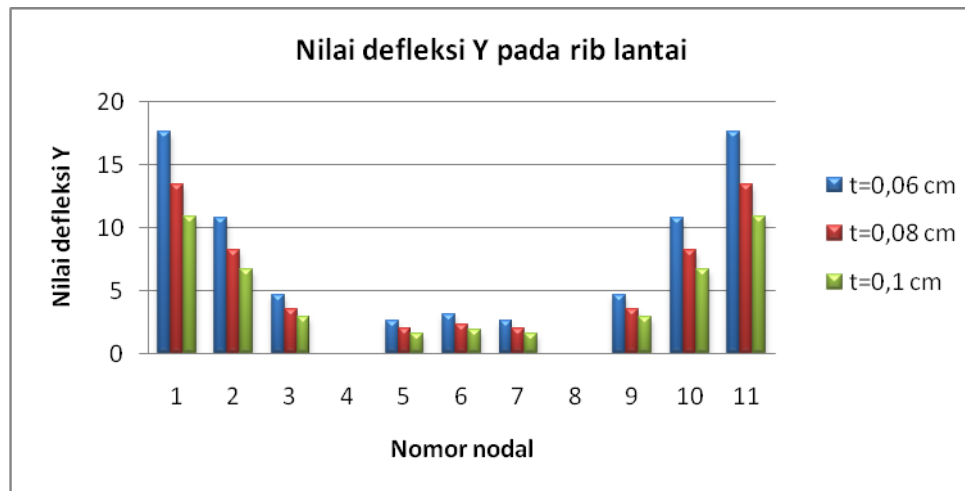
Gambar 4.10 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk U

Dari gambar 4.6 sampai 4.10 diketahui bahwa nilai defleksi yang terjadi pada rib berbentuk O, L, C, I dan U mempunyai perbedaan yang cukup signifikan. Pada nodal 1 dan 15 mempunyai nilai defleksi y nol. Nilai defleksinya terus meningkat mulai nodal 1 sampai mencapai puncak defleksi y pada nodal nomor 8 kemudian nilai defleksi y terus menurun sampai bernilai nol pada nodal 15.

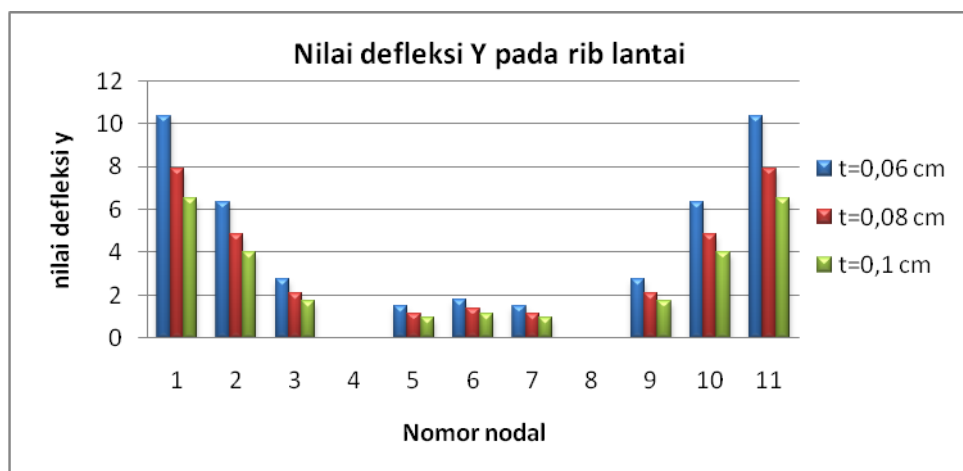
4.2.2. Distribusi defleksi Y pada rib lantai



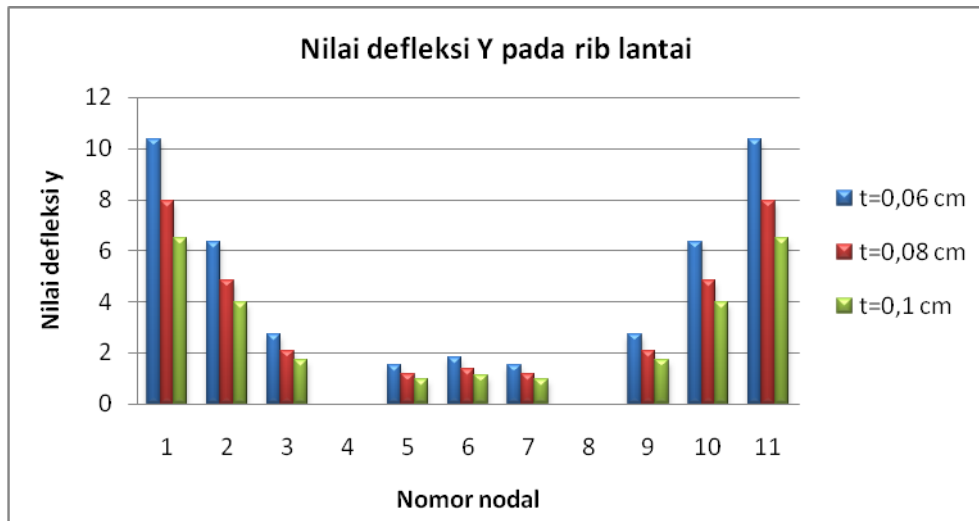
Gambar 4.11 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk O



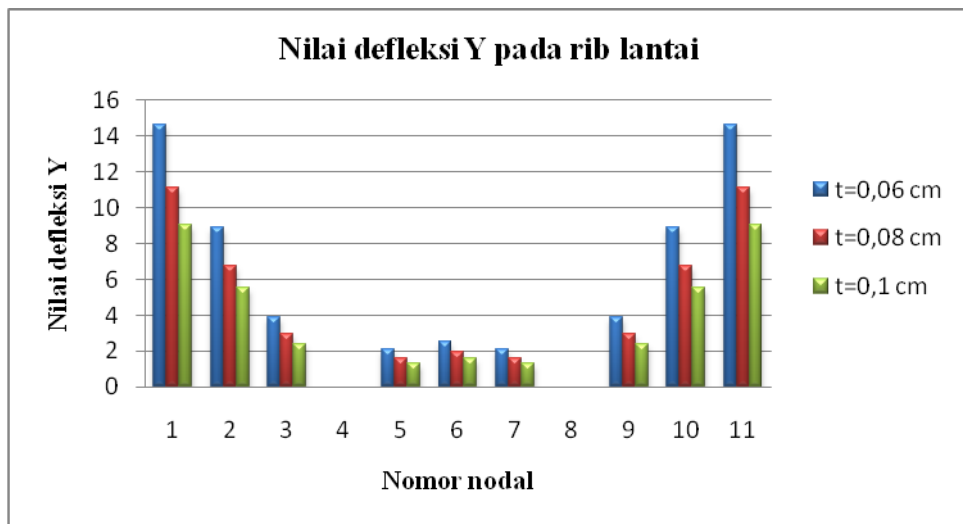
Gambar 4.12 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk L



Gambar 4.13 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk C



Gambar 4.14 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk I



Gambar 4.15 : Distribusi defleksi Y pada rib berbentuk U

Dari gambar 4.11 sampai 4.15 diketahui bahwa nilai defleksi yang terjadi pada rib berbentuk O, L, C, I dan U mempunyai perbedaan yang cukup signifikan. Pada nodal 1 dan 15 mempunyai nilai defleksi y nol. Nilai defleksinya terus meningkat mulai nodal 1 sampai mencapai puncak defleksi y pada nodal nomor 8 kemudian nilai defleksi y terus menurun sampai bernilai nol pada nodal 15.

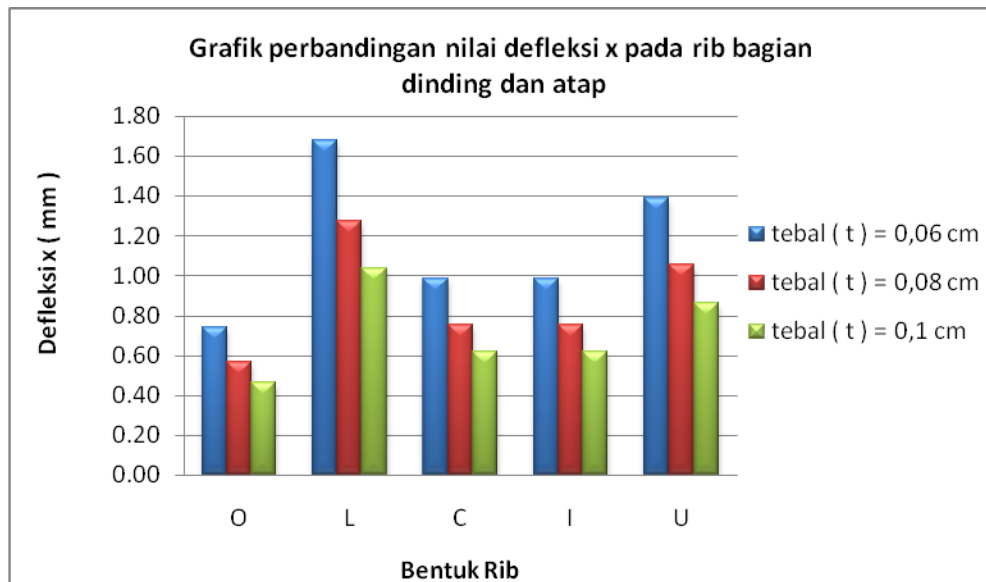


### 4.3 Nilai defleksi pada rib bodi angkutan publik

Defleksi diartikan sebagai jarak perubahan atau perpindahan rib terhadap kedudukan ( x atau y ) semula yang disebabkan oleh pengaruh gaya yang bekerja pada rib.

#### 4.3.1 Nilai defleksi pada rib bagian dinding dan atap

Nilai yang digunakan adalah nilai defleksi x terbesar yang terjadi pada rib bagian dinding dan atap. Hasil penghitungan defleksi x pada beberapa bentuk rib bagian dinding dan atap angkutan publik dapat ditampilkan seperti pada gambar 4.16.



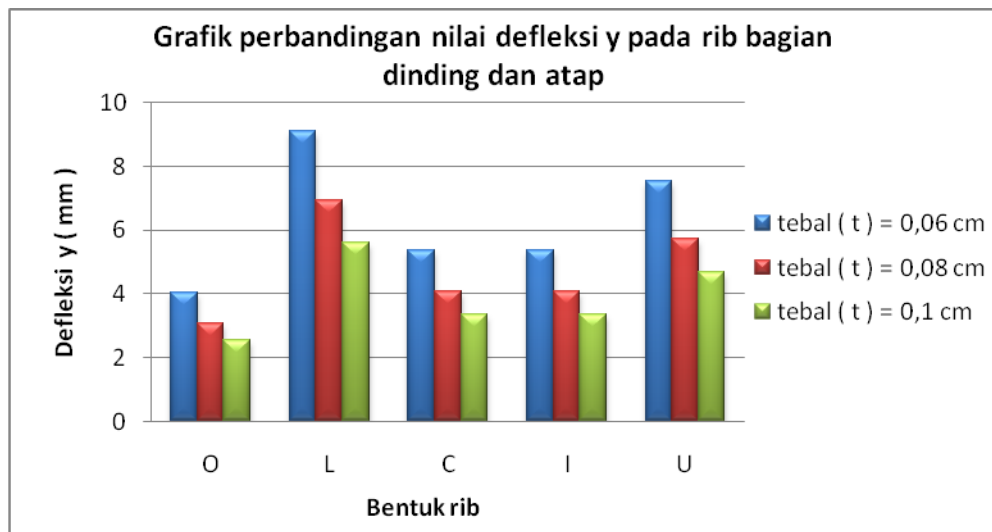
Gambar 4.16 Grafik perbandingan nilai defleksi x pada rib bagian dinding dan atap

Dari gambar grafik 4.16 terlihat adanya perbedaan nilai defleksi x yang terjadi pada kelima bentuk rib.

Untuk menentukan apakah rib itu aman atau tidak, maka nilai defleksi x yang terjadi dibandingkan dengan nilai defleksi maksimum bahan rib. Nilai defleksi maksimum yang dapat ditahan oleh rib adalah 28 mm (2,8 cm). Dari hasil perbandingan diketahui bahwa defleksi x yang terjadi pada semua rib mempunyai nilai di bawah nilai defleksi maksimum rib. Jika defleksi yang terjadi pada semua rib saling dibandingkan, maka didapatkan hasil bahwa rib berbentuk O mempunyai defleksi x paling kecil sedangkan nilai defleksi x terbesar terjadi pada rib berbentuk L.

Defleksi x yang terjadi pada rib berbentuk O mempunyai nilai sebesar 0,729 mm pada rib dengan ketebalan 0,06 cm; 0,568 mm pada rib dengan ketebalan 0,08 cm dan 0,465 mm pada rib dengan ketebalan 0,1 cm. Dari gambar grafik di atas diketahui bahwa penambahan tebal rib akan mempengaruhi nilai defleksi x. Semakin tebal rib maka nilai defleksi akan semakin kecil.

Hasil penghitungan defleksi y pada beberapa bentuk rib bagian dinding dan atap angkutan publik dapat ditampilkan seperti pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik perbandingan nilai defleksi y pada rib bagian dinding dan atap

Dari gambar grafik 4.17 terlihat adanya perbedaan nilai defleksi y yang terjadi pada kelima bentuk rib.

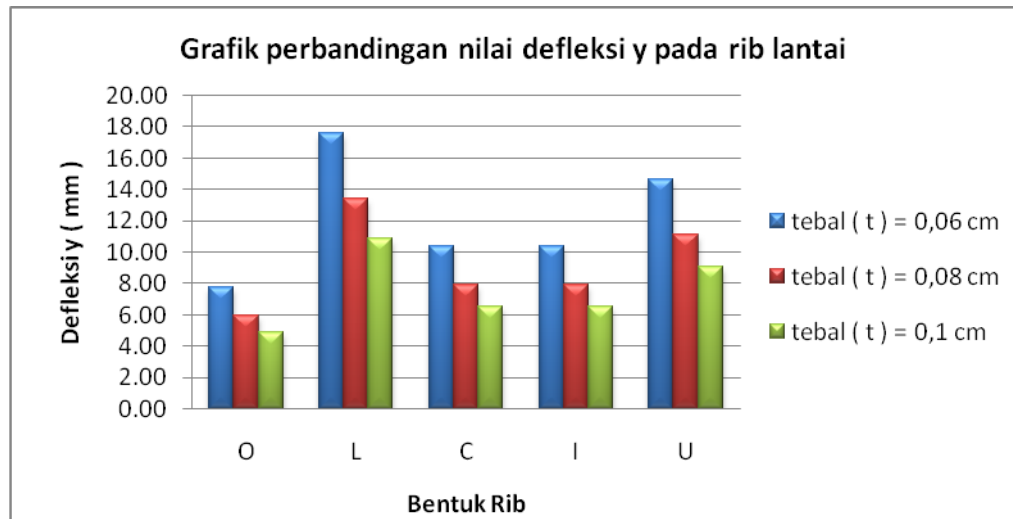
Untuk menentukan apakah rib itu aman atau tidak, maka nilai defleksi y yang terjadi dibandingkan dengan nilai defleksi maksimum bahan rib. Nilai defleksi maksimum yang dapat ditahan oleh rib adalah 28 mm (2,8 cm). Dari hasil perbandingan diketahui bahwa defleksi y yang terjadi pada semua rib mempunyai nilai di bawah nilai defleksi maksimum rib. Jika defleksi yang terjadi pada semua rib saling dibandingkan, maka didapatkan hasil bahwa rib berbentuk O mempunyai defleksi y paling kecil sedangkan nilai defleksi y terbesar terjadi pada rib berbentuk L.

Defleksi y yang terjadi pada rib berbentuk O mempunyai nilai sebesar 4,027 mm untuk ketebalan 0,06 cm; 3,093 mm untuk ketebalan 0,08 cm dan 2,533 mm untuk ketebalan 0,1 cm. Dari grafik di atas diketahui bahwa penambahan

tebal rib akan mempengaruhi nilai defleksi. Semakin tebal rib maka akan semakin kecil nilai defleksi.

#### 4.3.2 Nilai defleksi pada rib lantai

Hasil penghitungan defleksi  $y$  pada beberapa bentuk rib lantai angkutan publik dapat ditampilkan seperti pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Grafik perbandingan nilai defleksi  $y$  pada rib lantai

Dari gambar grafik 4.18 terlihat adanya perbedaan nilai defleksi  $y$  yang terjadi pada kelima bentuk rib lantai.

Untuk menentukan apakah rib itu aman atau tidak, maka nilai defleksi  $y$  yang terjadi dibandingkan dengan nilai defleksi maksimum bahan rib. Nilai defleksi maksimum yang dapat ditahan oleh rib adalah 28 mm (2,8 cm). Dari hasil perbandingan diketahui bahwa defleksi  $x$  yang terjadi pada semua rib mempunyai nilai di bawah nilai defleksi maksimum rib, sehingga semua rib aman digunakan. Jika defleksi yang terjadi pada semua rib saling dibandingkan, maka didapatkan hasil bahwa rib berbentuk O mempunyai defleksi  $y$  paling kecil sedangkan nilai defleksi  $y$  terbesar terjadi pada rib berbentuk L.

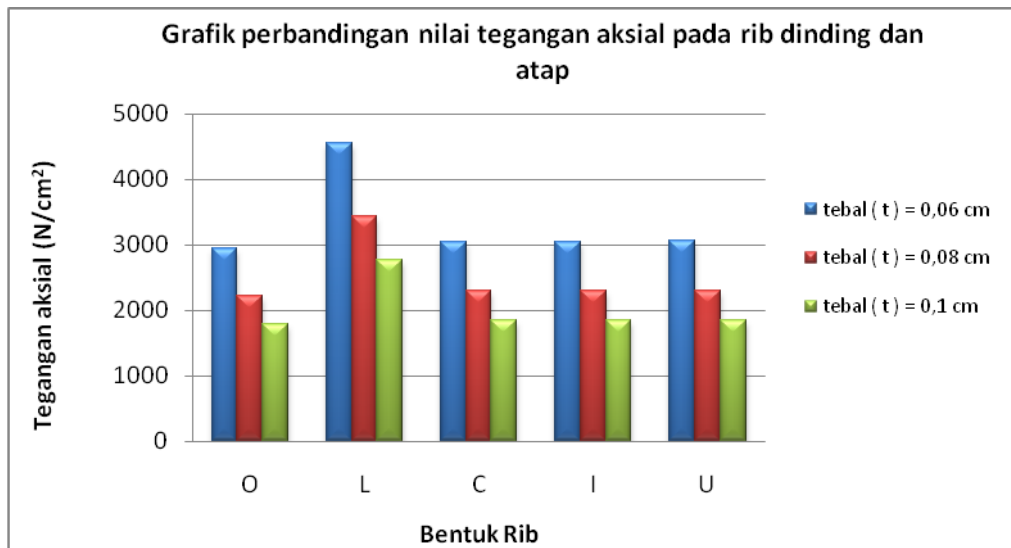
Defleksi  $y$  yang terjadi pada rib berbentuk huruf O mempunyai nilai sebesar 7,769 mm untuk ketebalan 0,06 cm; 5,967 mm untuk ketebalan 0,08 cm dan 4,887 mm untuk ketebalan 0,1 cm. Dari grafik di atas diketahui bahwa penambahan tebal rib akan mempengaruhi nilai defleksi. Semakin tebal rib maka akan semakin kecil nilai defleksi.

#### 4.4 Tegangan yang bekerja pada rib bodi

Dari hasil penghitungan gaya aksial, gaya geser dan momen lentur didapatkan nilai yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena beban yang ditahan oleh semua rib mempunyai nilai yang sama. Oleh karena itu, kemudian dilakukan penghitungan nilai tegangan. Tegangan yang dihasilkan adalah tegangan aksial, tegangan geser dan tegangan lentur.

##### 4.4.1 Tegangan yang bekerja pada rib bagian dinding dan atap

Nilai yang digunakan adalah nilai tegangan aksial, tegangan geser dan tegangan lentur terbesar yang terjadi pada setiap rib bagian dinding dan atap. Hasil penghitungan tegangan aksial pada rib bagian dinding dan atap dapat ditampilkan pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Grafik perbandingan nilai tegangan aksial untuk rib bagian dinding dan atap

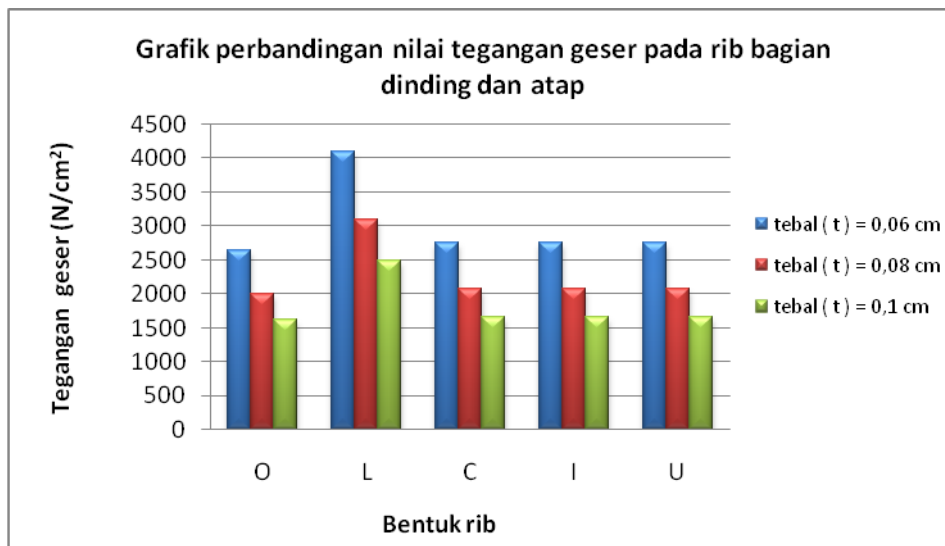
Dari gambar grafik 4.19 terlihat bahwa variasi bentuk rib memberikan perbedaan nilai tegangan aksial yang cukup signifikan.

Dengan rumus  $\sigma = \frac{P}{A}$  didapatkan nilai tegangan aksial. Untuk menentukan apakah rib aman atau tidak, maka nilai tegangan aksial yang dihasilkan harus dibandingkan dengan nilai tegangan luluh bahan rib. Nilai tegangan luluh baja ST 37 adalah  $23500 \text{ N/cm}^2$  (235 MPa). Dari hasil perbandingan diketahui bahwa tegangan aksial yang bekerja pada semua rib mempunyai nilai di bawah nilai

tegangan luluh bahan. Jika tegangan aksial yang terjadi pada semua rib saling dibandingkan, maka didapatkan hasil bahwa rib berbentuk O mempunyai tegangan aksial paling kecil sedangkan rib berbentuk L mempunyai tegangan aksial paling besar.

Nilai tegangan aksial pada rib yang berbentuk O adalah 2941,88 N/cm<sup>2</sup> untuk rib dengan ketebalan 0,06 cm; 2224,30 N/cm<sup>2</sup> untuk rib dengan ketebalan 0,08 cm dan 1793,98 N/cm<sup>2</sup> untuk rib dengan ketebalan 0,1 cm. Dari data di atas diketahui bahwa semakin tebal rib, maka nilai tegangan aksialnya akan semakin kecil.

Hasil penghitungan tegangan geser pada rib bagian dinding dan atap dapat ditampilkan pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Grafik perbandingan nilai tegangan geser untuk rib bagian dinding dan atap

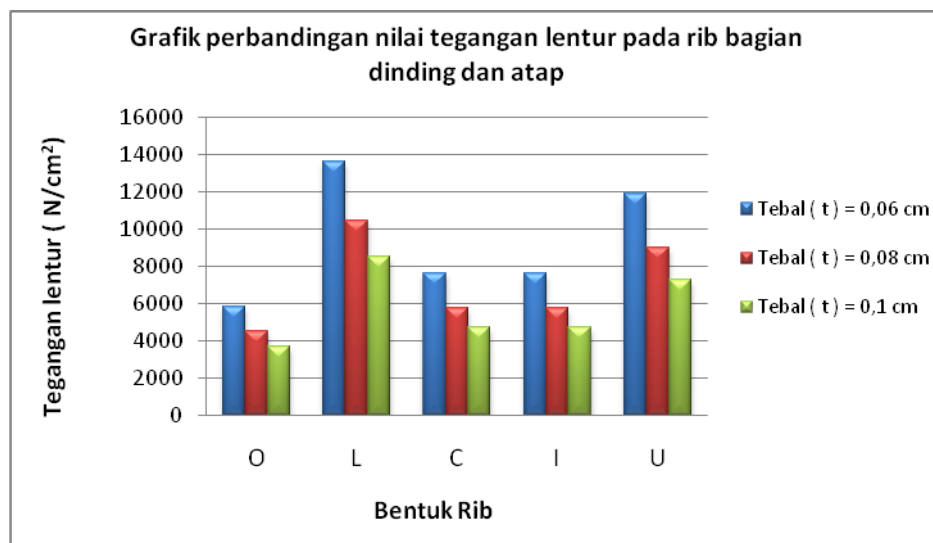
Dari gambar grafik 4.20 terlihat bahwa pada rib yang digunakan mempunyai perbedaan nilai tegangan geser yang cukup signifikan.

Dengan rumus  $\tau = \frac{Z}{A}$  didapatkan nilai tegangan geser. Untuk menentukan apakah rib itu aman atau tidak, maka nilai tegangan geser yang terjadi pada bodi mobil dibandingkan dengan nilai tegangan geser bahan rib. Nilai tegangan geser baja ST 37 adalah 11750 N/cm<sup>2</sup> (117,5 MPa). Dari hasil perbandingan diketahui bahwa tegangan geser yang bekerja pada semua rib mempunyai nilai di bawah nilai tegangan geser bahan. Jika tegangan geser yang terjadi pada semua rib saling dibandingkan, maka didapatkan hasil bahwa rib berbentuk O mempunyai

tegangan geser paling kecil sedangkan rib berbentuk L mempunyai tegangan geser paling besar.

Nilai tegangan geser pada rib yang berbentuk O adalah 2648,62 N/cm<sup>2</sup> untuk rib dengan ketebalan 0,06 cm; 2002,63 N/cm<sup>2</sup> untuk rib dengan ketebalan 0,08 cm dan 1615,20 N/cm<sup>2</sup> untuk rib dengan ketebalan 0,1 cm. Dari data di atas diketahui bahwa semakin tebal rib, maka nilai tegangan gesernya akan semakin kecil.

Hasil penghitungan tegangan lentur pada beberapa bentuk rib bagian dinding dan atap dapat ditampilkan seperti pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Grafik perbandingan nilai tegangan lentur pada rib bagian dinding dan atap

Dari gambar grafik 4.21 terlihat bahwa nilai tegangan lentur yang terjadi pada rib yang berbentuk O, L, C, I dan U mempunyai perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan karena pengaruh nilai  $\bar{Y}$  dan nilai momen inersia (I) dari penampang rib.

Dengan rumus  $\sigma_b = \frac{M\bar{Y}}{I}$  didapatkan nilai tegangan lentur. Untuk menentukan apakah rib itu mampu atau tidak dalam menahan tegangan lentur yang terjadi pada rib, maka nilai tegangan lentur yang terjadi pada rib dibandingkan dengan nilai tegangan lentur yang dapat ditahan oleh bahan rib. Nilai tegangan lentur baja ST 37 adalah 33000 N/cm<sup>2</sup> (330 MPa). Dari hasil perbandingan tegangan lentur yang bekerja pada semua rib mempunyai nilai tegangan lentur dibawah nilai tegangan lentur bahan rib. Jika nilai tegangan lentur

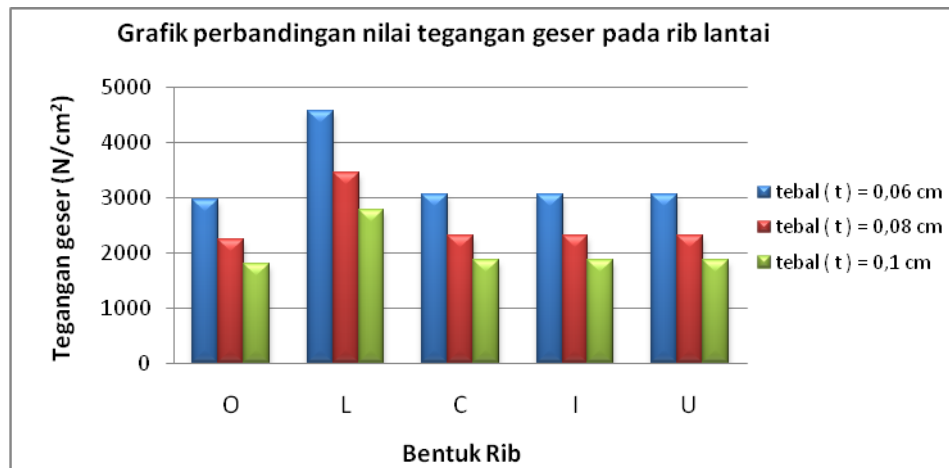
pada semua rib saling dibandingkan, maka didapatkan hasil bahwa rib berbentuk huruf O mempunyai nilai tegangan lentur paling kecil sedangkan rib berbentuk L mempunyai tegangan lentur paling besar.

Nilai tegangan lentur pada rib yang berbentuk O adalah  $5866,78 \text{ N/cm}^2$  untuk rib dengan ketebalan  $0,06 \text{ cm}$ ;  $4506,56 \text{ N/cm}^2$  untuk rib dengan ketebalan  $0,08 \text{ cm}$  dan  $3693,62 \text{ N/cm}^2$  untuk rib dengan ketebalan  $0,1 \text{ cm}$ .

#### 4.4.2 Tegangan yang bekerja pada rib lantai

Tegangan aksial yang bekerja pada rib lantai mempunyai nilai nol karena gaya aksial yang dihasilkan oleh berat bodi mobil juga bernilai nol.

Hasil penghitungan tegangan geser pada beberapa bentuk rib lantai dapat ditampilkan seperti pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Grafik perbandingan nilai tegangan geser pada rib lantai

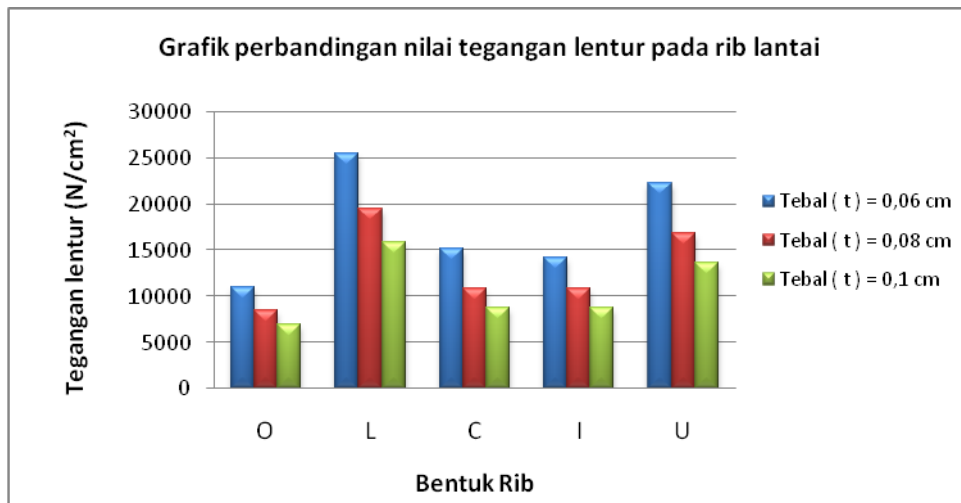
Dari gambar grafik 4.22 diketahui bahwa rib yang digunakan mempunyai perbedaan nilai tegangan geser yang cukup signifikan.

Dengan rumus  $\tau = \frac{Z}{A}$  didapatkan nilai tegangan geser. Untuk menentukan apakah rib itu aman atau tidak, maka nilai tegangan geser yang terjadi pada bodi mobil dibandingkan dengan nilai tegangan geser maksimum yang dapat ditahan oleh bahan rib. Nilai tegangan geser baja ST 37 adalah  $11750 \text{ N/cm}^2$  ( $117,5 \text{ MPa}$ ). Dari hasil perbandingan diketahui bahwa tegangan aksial yang bekerja pada semua rib mempunyai nilai di bawah dari nilai tegangan geser bahan. Jika nilai tegangan geser pada semua rib saling dibandingkan, maka didapatkan hasil bahwa

rib berbentuk O mempunyai nilai tegangan geser paling kecil sedangkan rib berbentuk L mempunyai tegangan geser paling besar

Nilai tegangan geser pada rib yang berbentuk O adalah 2951,42 N/cm<sup>2</sup> pada ketebalan 0,06 cm; 2231,61 N/cm<sup>2</sup> pada ketebalan 0,08 cm dan 1799,94 N/cm<sup>2</sup> pada ketebalan 0,1 cm. Dari data di atas dapat diketahui bahwa semakin tebal rib, maka nilai tegangan gesernya akan semakin kecil.

Hasil penghitungan tegangan lentur pada rib lantai dapat ditampilkan seperti pada gambar 4.23.



Gambar 4.23 Grafik perbandingan nilai tegangan lentur untuk rib lantai

Dari gambar grafik 4.23 diketahui bahwa nilai tegangan lentur yang terjadi pada rib yang berbentuk O, L, C, I dan U mempunyai perbedaan yang signifikan. Hal ini disebabkan karena pengaruh nilai  $\bar{Y}$  dan nilai momen inersia (I) penampang rib.

Dengan rumus  $\sigma_b = \frac{M\bar{Y}}{I}$  didapatkan nilai tegangan lentur. Untuk menentukan apakah rib itu mampu menahan tegangan lentur atau tidak, maka harus membandingkan tegangan lentur yang terjadi dengan tegangan lentur maksimum yang dapat ditahan oleh bahan rib. Nilai tegangan lentur baja ST 37 adalah 33000 N/cm<sup>2</sup> (330 MPa). Dari hasil perbandingan diketahui bahwa semua rib mempunyai nilai tegangan lentur dibawah nilai tegangan lentur bahan rib. Jika nilai tegangan lentur pada semua rib saling dibandingkan, maka didapatkan hasil bahwa rib berbentuk huruf O mempunyai nilai tegangan lentur paling kecil sedangkan rib berbentuk L mempunyai tegangan lentur paling besar.



Nilai tegangan lentur pada rib yang berbentuk O adalah  $10960,95 \text{ N/cm}^2$  pada ketebalan  $0,06 \text{ cm}$ ;  $8419,84 \text{ N/cm}^2$  pada ketebalan  $0,08 \text{ cm}$  dan  $6901,06 \text{ N/cm}^2$  pada ketebalan  $0,1 \text{ cm}$ .

Dari hasil penghitungan dan analisa dengan menggunakan program frame baik yang berupa perbandingan nilai luas penampang rib, momen inersia rib, defleksi x dan y yang terjadi pada rib serta nilai tegangan aksial, tegangan geser dan tegangan lentur yang terjadi pada rib, maka didapatkan kesimpulan bahwa rib yang berbentuk O adalah rib yang paling baik dan aman digunakan pada penelitian yang berjudul aplikasi Metode Elemen hingga pada struktur rib bodi angkutan publik.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penghitungan dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

1. Output atau keluaran dari penelitian ini berupa nilai defleksi, gaya ( aksial dan geser ), momen lentur dan tegangan ( aksial, geser dan lentur ).
2. Beban kritis yang diterima oleh struktur rib bodi angkutan publik adalah 2759,06 N.
3. Semakin tebal rib, maka nilai luasnya juga akan semakin besar sehingga nilai defleksi dan tegangannya akan semakin kecil.
4. Rib dengan bentuk O mempunyai nilai defleksi dan tegangan yang paling kecil.
5. Hasil penghitungan dan analisa didapatkan kesimpulan bahwa rib yang paling baik dan aman digunakan untuk membuat rib adalah rib yang berbentuk O.

#### **5.2 Saran**

Untuk lebih mengembangkan penelitian ini, maka penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Agar dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi bentuk, tebal dan bahan rib yang lebih banyak lagi untuk mendapatkan bentuk rib yang lebih baik dan aman untuk membuat rib.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1998. *Annual Book ASTM Standart*, USA.
- Binsar Hariandja, 1996. *Mekanika Teknik*. Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- C. Fremgen, L. Mkrтчyan, U. Huber, M. Maier, 2005. *Modeling and Testing of Energy Absorbing Lightweight Materials and structures for Automotive Applications*, Germany.
- Craig B. Chapman and Martyn Pinfold, 2001. *The Application of a Knowledge Based Engineering Approach to the Rapid Design and Analysis of an Automotive Structure*, UK.
- Crocker, J., 2003. *Intercity Bus Weight Reduction Program Phase II*, Transportation Development Centre, Canada.
- Ferdinand L. singer, 1980. *Kekuatan bahan*. Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- Gibson, O. F., 1994. *Principle of Composite Materials Mechanics*, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Hayami Nakagawa, Takuo Nakamura, Yoshinobu Matsumura, 2007. *Development of Aluminum Space-Frame Body with New Structure in Front*. Japan.
- Hidajat, R. Lullus Lambang, 2005. *Teori dan Penerapan Metode Elemen Hingga*, UNS Press: Surakarta.
- Jaroslav Jerz , Rainhard Laag, František Simacik, 2001. *New Concept for Design Of Lightweight Automotive Components*. Institute of Materials and Machine Mechanics Slovak Academy of Sciences, Slovakia.
- Jones, R. M., 1975. *Mechanics of Composite Materials*, Scripta Book Company, Washington D.C., USA.
- M. Hendra S., Ginting, 2002. *Pengendalian Bahan Komposit*, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara.
- Niemann, G, Winter, H. 1992. *Elemen Mesin*. Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- O. E. Canyurt, C. Meran, M. Uslu, 2008. *The Effect of Design on Adhesive Joints of Thick Composite Sandwich Structures*, Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Turkey.

- Popov, E. E., 1994. *Mekanika Teknik*, Berkeley, California, USA.
- Pramono Agus, *Komposit Sebagai Trend Teknologi Masa Depan*, Fakultas Teknik Metalurgi & Material Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Rolland D. King., 1994. *Low-Floor Transit Buses*, Columbus, Ohio, USA.
- Segerlind, Larry J., 1937. *Applied Finite Element Analysis*, John Willey & Sons Inc., USA.
- Seimour Lipchutz, Arthur Poe, 1986. *Program Fortran*. Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- Simonetta, Boria, 2008. *Crash Analysis of an Impact Attenuator for Racing Car in Sandwich Material*, Department of Mechanical, University of Pisa, Italy.
- Soesianto F. dan. Eko Nugroho, 1994. *Bahasa Fortran*. Yogyakarta : ANDI OFFSET.
- Taj, S., Munawar, M.A., Khan, S., 2007, *Natural Fiber reinforced Polymer Composites*, Proc. Pakistn acad. Sci. 44(2) : 129 – 144.
- Venkata Dinesh Muthyala, 2005. *Composite Sandwich Structure with Grid Stiffened Cor*, Osmania University, Hyderabad, India.