

## KOMPOSIT CARBON FIBER SANDWICH SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF PENGGANTI ALUMINIUM ALLOY 6063 PADA KNUCKLE PLATE MOBIL NOGOGENI 5 EVO

Eddy Widiyono, Mashuri, Muhammad Yusuf Mahdum, Hafid Rahman, Dedy Zulhidayat Noor

Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

E-mail: [eddy\\_w@me.its.ac.id](mailto:eddy_w@me.its.ac.id), [mashuri@its.ac.id](mailto:mashuri@its.ac.id), [ahardiarto03@gmail.com](mailto:ahardiarto03@gmail.com), [hafidrahman18@gmail.com](mailto:hafidrahman18@gmail.com), [zulnoor@me.its.ac.id](mailto:zulnoor@me.its.ac.id)

**Abstrak** - Nogogeni merupakan mobil riset ramah lingkungan dan hemat energi yang dirancang untuk mendapatkan efisiensi tinggi. Untuk mencapai rancangan tersebut maka tim harus mereduksi berat pada kendaraan. Salah satu upaya untuk mereduksi berat mobil adalah dengan menggunakan komponen mobil dengan material dasar yang lebih ringan, maka nilai efisiensi akan bertambah baik. Untuk mendapatkan komponen mobil yang ringan maka dipilihlah komposit sandwich serat karbon fiber dan double layer aluminium honeycomb core dengan variasi arah serat. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk membantu tim Nogogeni mendapatkan alternatif pemilihan bahan dasar yang ringan namun tidak mengesampingkan kekuatan material. Setelah dilakukan pengujian bending diketahui bahwa data pengujian menghasilkan stiffness sebesar 1370.36 N/mm, facing bending stress 184.405 MPa, core shear ultimate stress 0,792 MPa komposit yang terbaik terdapat pada arah serat 0°, juga hasil momen bending karbonfiber dan double layer aluminium honeycomb core lebih besar 517.62% dibandingkan dengan aluminium alloy 6063 T6-6h, model kegagalan komposit sandwich serat karbonfiber dengan double layer aluminium honeycomb core akibat pengujian bending (three point bending) berupa kegagalan indentation dan kegagalan core shear.

**Kata kunci:** Komposit Sandwich, Karbon Fiber dengan Aluminium Honeycomb Core, uji tiga titik Bending, Double Layer Core, Momen Bending, stiffness.

### PENDAHULUAN

Nogogeni merupakan mobil riset ramah lingkungan mahasiswa D3 Teknik Mesin Industri yang dirancang dan dibangun untuk mengikuti kompetisi nasional dan internasional dalam tawaran kendaraan hemat energi, ramah lingkungan, dan dituntut memiliki efisiensi tinggi. Untuk dapat bersaing dengan peserta lain yang menggunakan teknologi yang diambil dari perkembangan industri otomotif saat ini, maka tim dituntut untuk selalu mempunyai inovasi dalam hal menaikkan efisien salah satunya dengan cara mereduksi massa kendaraan. Reduksi massa dilakukan dikarenakan semakin ringan massa mobil maka kinerja motor penggerak akan semakin ringan juga, hal ini berpengaruh terhadap konsumsi energi yang digunakan untuk menjalankan mobil. Salah satu bagian dari mobil yang masih dapat direduksi massanya adalah konstruksi dan material dari knuckle plate kaki-kaki mobil.

Knuckle plate Nogogeni 5 evo masih menggunakan bahan aluminium plate dengan ketebalan 5mm. Dewasa ini sudah ada bahan komposit yang jauh lebih ringan dan memiliki kekuatan yang lebih baik dari aluminium, seperti karbon fiber. Meskipun data riset menunjukkan bahwa karbon fiber adalah serat fiber yang menawarkan tingkat kekakuan dan kekuatan dalam

keadaan densitas yang rendah, namun jika tidak ada riset atau perhitungan komposisi material yang pas, riset ini tidak akan menghasilkan bodi dengan berat yang paling ringan dengan nilai kekuatan yang optimal.

Oleh sebab itu, kami ingin melakukan pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan data kekuatan material yang akan digunakan untuk pembuatan komponen knuckle plate mobil Nogogeni 5 evo. Dengan membandingkan hasil pengujian eksperimen tersebut maka hasil yang diperoleh dapat dijadikan sebagai dasar perbandingan pemilihan komposisi bahan yang tepat dengan variasi sudut yang pas untuk mobil Nogogeni generasi selanjutnya. Dengan didapatkannya data yang optimal, pembuatan knuckle plate Nogogeni akan mempengaruhi berkurangnya massa pada mobil guna peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik.

### I. DASAR TEORI

#### 1.1 Komposit

Menurut (Bambang K. H, 2000) kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda, digabung atau dicampur secara makroskopis. Kata kunci di sini adalah pengertian makroskopis. Berbeda dengan paduan atau alloy yang penggabungan unsur-unsurnya dilakukan secara mikroskopis.

Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas, yang pada paduan sudah tidak lagi tampak secara nyata. Justru keunggulan bahan komposit di sini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya tersebut

Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (modulus young/density) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina disebut laminat.

Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu:

1. Penguat (reinforcement), memiliki sifat relative kurang elastis namun lebih kuat dan kaku
2. Matrik, memiliki sifat yang akan menghasilkan sifat mekanik dari komposit tersebut

### 1.2 Reinforcement

Berfungsi sebagai penanggung beban utama struktur komposit. Banyak jenis penguat yang dapat di aplikasikan dalam pembuatan komposit dan diantaranya adalah:

#### a. Fiber

Serat atau fiber dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Triyono, & Diharjo, 2000).

Disamping itu, serat atau fiber adalah salah satu komponen terpenting dalam sebuah komposit, hal ini dikarenakan serat atau fiber adalah penentu utama sifat mekanik yang akan dimiliki komposit tersebut seperti kekakuan, keuletan, dll.

#### b. Fiber-nylon

Sifat-sifat fiber-nylon, yaitu sebagai berikut:

1. Dibuat dari polyamide
2. Lebih kuat, lebih ringan, tidak getas dan tidak lebih kaku dari karbon
3. Contoh merek nylon yaitu Kevlar (DuPont) dan Kwaron (Akzo)

#### c. Carbon Fiber

Merupakan material yang terdiri dari serat berdiameter 5-10 $\mu$ m dengan sebagian besar susunannya adalah atom karbon, dimana struktur

karbon berbentuk karbon di bentuk menjadi kristal. Ukuran utasan untuk anyaman carbon fiber bermacam macam, untuk 1 utasan ada dari ukuran 3k,6k, 12k,24k,40k,80k, 160k,320k,400k,410k. Satu utasan yang dimaksud adalah jika pada material terdapat keterangan 3k, maka pada 1 utasan tersebut terdiri dari 3000 serat. Carbon fiber dibuat dengan cara mengkarbonasi material PAN (polyacrylonotrile) dan Rayon yang biasa digunakan saat ini, material tersebut merupakan polimer tekstil. Setelah melewati proses tersebut, dilanjutkan dengan proses grafitisasi pada temperature tinggi dan kemudian dilakukan proses penggulangan serat-serat karbon atau tenun untuk menjadi sebuah anyaman.

### 1.3 Matriks

(Gibson RF, 1994) mengatakan bahwa matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer. logam. maupun keramik. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). (Triyono dan Diharjo, 2000) Syarat pokok matrik yang digunakan dalam komposit adalah matrik harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik, artinya tidak ada reaksi yang mengganggu. (Bambang K.H, 2000) Matriks merupakan bahan-bahan yang lunak dan liat. Polimer (plastik) menjadi bahan umum yang biasa digunakan meskipun untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan suhu tinggi, beberapa logam dapat digunakan seperti aluminium; tembaga, magnesium bahkan titanium. Namun, umumnya matrik dipilih yang mempunyai ketahanan panas yang tinggi.

### 1.4 Struktur Komposit

#### a. Laminate

Laminate adalah gabungan dari dua atau lebih lamina (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit. Proses pembentukan lamina menjadi laminate dinamakan proses laminasi. Sebagai elemen sebuah struktur, lamina yang serat penguatnya searah saja (unidirectional lamina) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Sebab itu struktur komposit dibuat dalam bentuk laminate yang terdiri beberapa macam lamina yang diorientasikan dalam arah serat yang berbeda dan

digabungkan Bersama sebagai sebuah unit struktur.

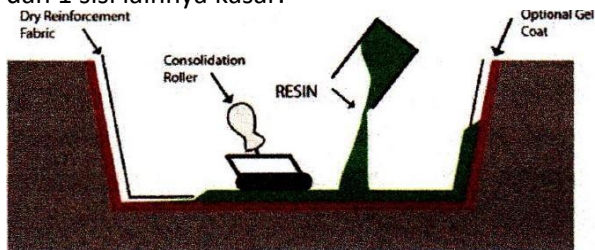
**b. Komposit Sandwich**

Komposit sandwich dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua skin dipasang core. Komposit sandwich merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, impak, meredam getaran dan suara. Komposit sandwich dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit sandwich, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan. Dengan menggunakan material inti yang sangat ringan, maka akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat kuat, ringan, dan kaku. Komposit sandwich dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural bagian internal dan eksternal pada kereta, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya.

**1.5 Macam Pembuatan Komposit**

**a. Hand Lay-up**

Proses hand lay-up merupakan proses laminasi serat fiber secara manual, dan merupakan metode pertama yang digunakan dalam pembuatan komposit. Metode hand lay-up digunakan untuk proses pembuatan benda yang memiliki bentuk mudah, dan akan menghasilkan 1 sisi yang halus dan 1 sisi lainnya kasar.



**Gambar 1.** Proses hand lay-up

Keuntungan hand lay-up:

- Membutuhkan peralatan yang sedikit
- Dapat mengatur ketebalan dan komposisi serat sesuai yang dibutuhkan

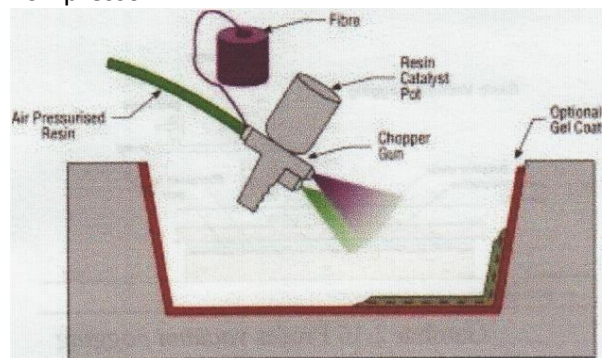
Kekurangan hand lay-up:

- Ketebalan resin yang menempel pada serat tidak teratur
- Berat komposit yang dihasilkan cenderung lebih berat dari proses yang lain

- Hasil cenderung kurang rapi karena pembuatan komposit tergantung pada skill yang mengerjakan hal proses manufaktur komposit.

**b. Spray Up**

*Spray up* adalah salah satu perkembangan dalam hal proses manufaktur komposit. Hal ini dikarenakan pada proses ini sudah menggunakan peralatan yang lebih maju dibandingkan hand lay-up seperti, spray gun dan kompressor. Proses spray up merupakan proses laminasi serat fiber dengan cara menyemprotkan potongan halus fiber dan resin secara bersamaan dengan menggunakan spray gun yang diberi tekanan udara dari kompressor.



**Gambar 2.** Proses Spray Up

Keuntungan spray up :

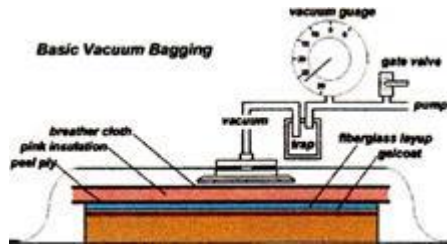
- Cocok untuk desain produk yang rumit
- Dapat mengatur ketebalan komposisi yang disemprotkan sesuai dengan yang dibutuhkan

Kekurangan spray up :

- Untuk kerataan bidang masih kurang dikarenakan tergantung pada skill yang mengerjakan
- Membutuhkan biaya yang besar
- Hasil komposit tergantung pada skill yang mengerjakan

**c. Vacuum Bagging**

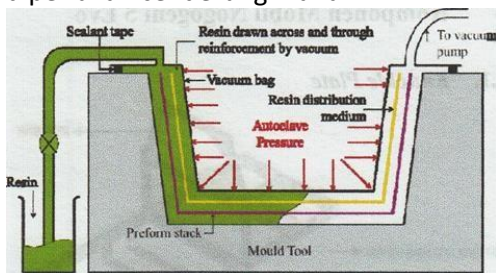
Vacuum bagging adalah salah satu perkembangan terbaru dalam hal proses manufaktur komposit. Hal ini dikarenakan pada proses ini sudah menggunakan peralatan dalam hal manufaktur. Jika dibandingkan dengan hand lay-up dan spray gun yang masih menggunakan tenaga dan skill manusia dalam hal manufaktur, untuk vacuum bagging hanya membutuhkannya pada saat penataan serat saja.



Gambar 3. Proses Vacuum Bagging

#### d. Vacuum Resin Infusion

Vacuum resin infusion adalah salah satu proses pembuatan komposit yang terbaru, hal ini dikarenakan pada proses ini kita hanya membutuhkan tenaga untuk menata karbon fiber saja, jika pada proses yang lain kita memberikan resin dengan cara manual, pada proses ini resin akan disuntikkan ke fiber dengan mekanisme vakum. Jadi nantinya resin akan disedot menggunakan pompa vakum dalam keadaan kedap udara, sehingga distribusi resinnya akan tersebar merata ke segala sudut fiber, dan ketebalan pada semua bidang akan sama. Namun proses ini membutuhkan banyak peralatan pendukung yang banyak dan jarang ada di pasaran, sehingga biaya yang diperlukan cenderung mahal.



Gambar 4. Proses vacuum resin infusion

Keuntungan vacuum resin infusion :

- Hasil yang bagus
- Memiliki kerataan yang sama pada semua bidang
- Distribusi resin yang merata sehingga bobot cenderung ringan

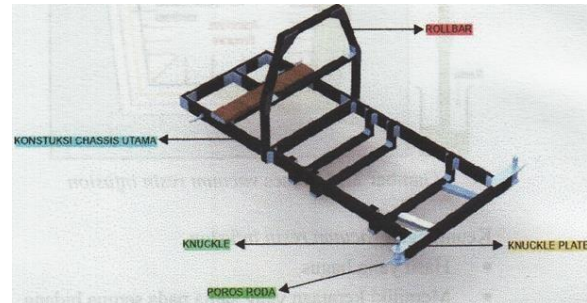
Kekurangan vacuum resin infusion :

- Memerlukan biaya yang mahal
- Membutuhkan banyak peralatan pendukung

#### 1.6 Komponen Mobil Nogogeni V evo

Knuckle plate merupakan komponen support krusial yang di gunakan sebagai tempat bantalan knuckle utama. Komponen knuckle plate terletak pada ujung chassis utama dengan menyisakan ruang antara chassis utama dan knuckle utama sejarak 70 milimeter. Knuckle utama berfungsi sebagai tahanan poros roda mobil Nogogeni 5 Evo untuk menggerakkan roda berputar ke kiri maupun

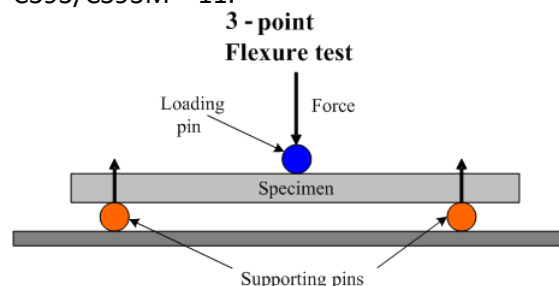
ke kanan. Jika knuckle plate mengalami kerusakan (bending), mengakibatkan mobil susah untuk dibelokkan. Komponen Knuckle Plate pada gambar 6 menggunakan material alumunium alloy 6063. Dimana material ini dirasa masih cukup berat dengan melihat fungsi dari komponen tersebut sebagai support bantalan knuckle dipasang. Berat komponen knuckle plate menggunakan material ini sebesar 165 gram.



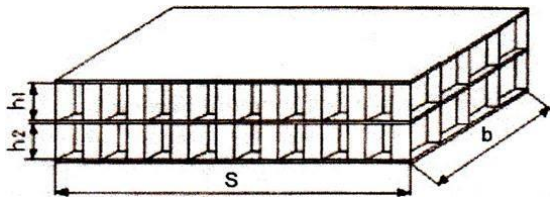
Gambar 6. Posisi Komponen knuckle plate pada mobil Nogogeni V evo

#### 1.7 Pengujian Bending

Dalam aplikasinya komposit sandwich tak pernah lepas dari proses pembebanan mekanik terutama beban bending. Pada umumnya kelemahan komposit sandwich terhadap beban bending terletak pada bagian yang belum merata pemampatannya antara serat dan matik pada bagian bawah pada specimen. Pada lapisan ini mempunyai kekuatan Tarik maksimum dan akan mengalami kegagalan paling awal kaena tidak mampu menahan tegangan Tarik pada bagian bawah komposit, sehingga akan terjadi retak lebih awal. Kegagalan komposit sandwich akibat beban bending diawal dari skin komposit sisi belakang dan dilanjutkan dengan kegagalan core, delaminasi antara skin dan core. Spesimen dan metode pengujian mengacu pada standar ASTM C393/C393M – 11.



Gambar 7. Three point bending method



**Gambar 8.** Dimensi ketebalan komposit sandwich

Jika uji bending dilakukan dengan metode three point bending maka facing bending stress dan core shear ultimate stress komposit sandwich dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini (ASTM C393/C393M - 11)

- Kekuatan skin komposit sandwich (facing bending stress) (ASTM C393/C393M - 11)

$$\sigma = \frac{P_s}{2t(d+h)b} \quad (1)$$

Dengan catatan:

- $\sigma$  = kekuatan skin (MPa)
- P = beban (N)
- d = tebal sandwich (mm)
- h(1,2) = tebal core (mm)
- t = tebal skin (mm)
- S = panjang span (mm)
- b = lebar sandwich (mm)

- Tegangan geser core komposit sandwich (ASTM C393/C393M - 11)

$$\tau = \frac{P}{(d+h)b} \quad (2)$$

Dengan catatan:

- $\sigma$  = tegangan geser core (MPa)
- d = tebal sandwich (mm)
- h(1,2) = lebar core (mm)
- b = lebar sandwich (mm)

- Untuk mencari nilai Stiffness dibutuhkan nilai pembebanan (N) dan displacement (mm) pada daerah elastis pada grafik hasil pengujian. Dalam artian pemilihan titik untuk perhitungan dilihat pada garis kemiringan konstan pada tiap grafik pengujian.

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3)$$

- Akibat pengujian bending bagian atas specimen mengalami tekanan dan bagian bawahnya mengalami tarikan. Pada komposit laminat GFRP, kekuatan bending-nya dapat dirumuskan (ASTM D790-10):

$$\sigma_b = \frac{3PS}{2b.d.d} \quad (4)$$

Dengan catatan:

- $\sigma_b$  = kekuatan bending komposit (MPa)
- b = leher sandwich (mm)
- d = tebal sandwich (mm)
- P = beban maksimum (N)
- S = panjang span (mm)

- Jika komposit sandwich diasumsikan homogen dan dikenai three point bending dengan sumbu netral terletak di tengah, maka momen bending maksimum komposit sandwich dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini:

$$M = P \times \frac{S}{4} \quad (5)$$

Dengan catatan:

- M = momen bending maksimum (Nmm)
- P = beban maksimum (N)
- S = panjang span (mm)

Untuk memperoleh nilai pembebanan yang diterima oleh knuckle plate, dilakukan tegangan bending menurut rumus pada buku diktat Elemen Mesin seperti di bawah ini:

$$\sigma_b = \frac{b \cdot \sigma}{b \cdot A \cdot A} \quad (6)$$

$$\sigma_b = \frac{F}{b \cdot h} \quad (7)$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\sigma_b \cdot \sigma_b + \tau_s \cdot \tau_s} \quad (8)$$

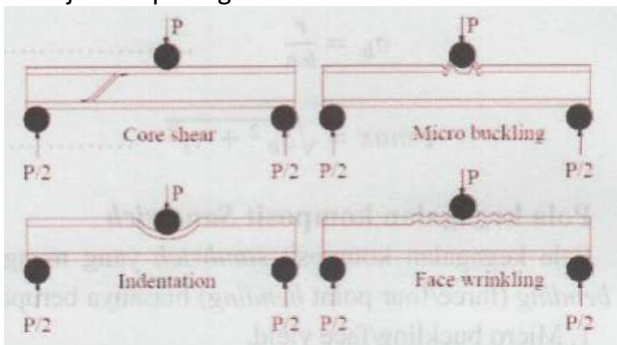
### 1.8 Pola kegagalan komposit sandwich

Pola kegagalan komposit sandwich yang mengalami beban bending (three/four point bending) biasanya berupa :

1. Micro buckling/face yield,
2. Core shear,
3. Core crushing dan
4. Indentation.

Kegagalan micro buckling biasanya terjadi pada skin komposit sandwich yang relatif tipis terhadap tebal core. Kegagalan ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan bending secara drastis. Perilaku gagal core shear biasanya terjadi pada balok sandwich dengan skin yang relatif tebal dengan span yang pendek. Kegagalan didominasi oleh lemahnya kekuatan core yang digunakan. Kegagalan indentation akan muncul pada balok sandwich dengan core yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan skin dengan

kekuatan core yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan lainnya. Kegagalan core crushing ditunjukkan oleh hancurnya core karena tidak mampu menahan beban geser sehingga kegagalan terjadi menyeluruh pada semua bagian core. Kerusakan penampang komposit sandwich sangat dipengaruhi oleh sifat mekanis skin dan core dimana harus ada faktor- faktor penting yang diperhatikan. Peta mekanisme kegagalan komposit sandwich ditunjukkan pada gambar:

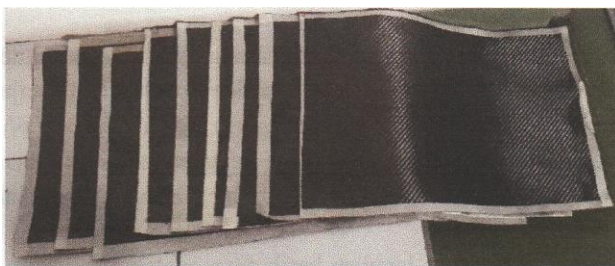


Gambar 9. Pola kegagalan struktur akibat beban bending

## II. METODOLOGI

### 2.1 Proses Pembuatan Spesimen

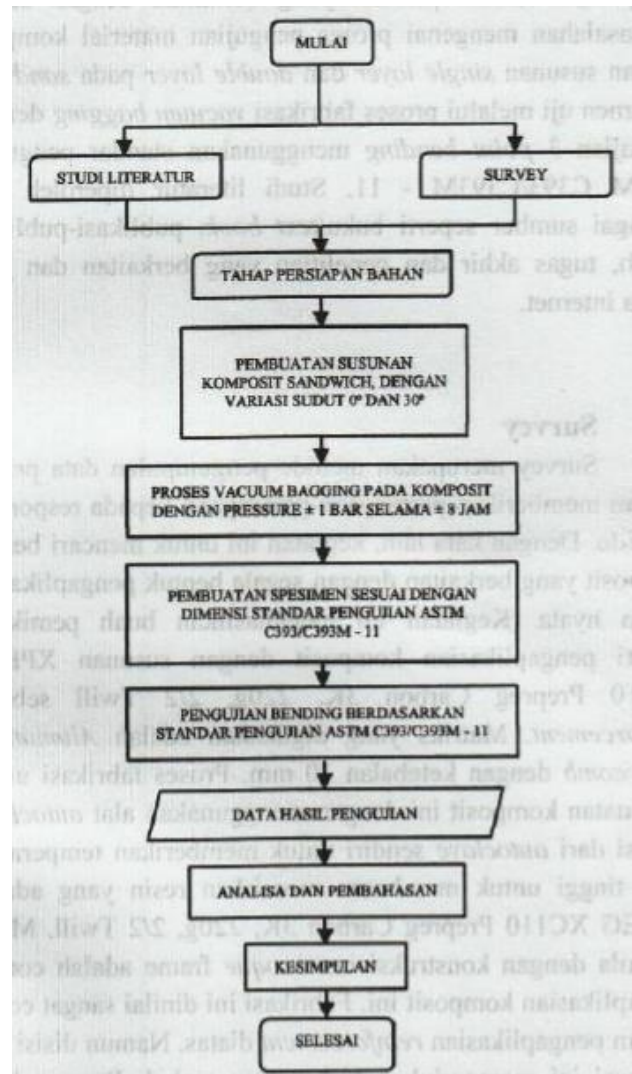
1. Dimulai dengan menakar resin dan hardener yang akan di pakai. Dengan menggunakan perbandingan 3 untuk resin karbon dan 1 untuk hardener. Untuk pencampuran kedua cairan ini dapat dilakukan setelah kedua campuran telah selesai di timbang dengan langsung mengadukan adonan tanpa henti hingga tidak terdapat buih di dalam adonan.
2. Kemudian dilanjutkan dengan pemotongan serat karbon twill sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan. Usahakan untuk memberi mang lebih agar bisa benarbenar menyelimuti aluminium honeycomb core nya.



Gambar 11. Potongan serat karbon twill

3. Setelah dirasa serat karbon dan core telah selesai dipersiapkan, siapkan cetakan kaca yang

4. telah dilapisi wax dan PVA sebagai landasan melakukan proses pemvakuman
4. Serat karbon twill hams di basahi dengan adonan resin sebelum diletakan diatas cetakan, untuk mempennudah penataan lapisan-lapisan berikutnya.



Gambar 10. Diagram alur pengujian

5. Lakukan peletakan serat karbon diatas cetakan tanpa merusak arah serat tersebut. Untuk kali ini menggunakan 2 lapis serat karbon twill.
6. Kemudian jika serat karbon sudah diletakkan pada cetakan, lakukan penataan terhadap aluminium honeycomb core tepat setelah lapisan serat karbon.
7. Setelah core sudah diletakkan, lapis lagi dengan serat karbon sebanyak 2 lapisan. Kemudian letakkan lagi aluminium

honeycomb core setelah 2 lapisan serat karbon.

8. Setelah core kedua sudah diletakkan, lapis kembali dengan 2 lapisan serat karbon. Ini merupakan tahap terakhir dalam penyusunan specimen.
9. Jika susunan sudah tersusun dengan baik. Tempelkan sealant tape pada seluruh bagian pinggiran cetakan, yang berfungsi sebagai batasan area yang akan di vakum dan juga perekat terhadap baggingfilm.
10. Setelah sealant tape terpasang pada cetakan tutupi susunan sandwich dengan menggunakan peel ply. Dilanjut dengan penutupan dengan breatherfabric tepat diatas peel ply. Kemudian taruh port tepat di tengatengah susunan specimen. Port ini berfungsi sebagai jalur dari area yang akan di vakumkan.
11. Kemudian langkah berikutnya adalah pemasangan bagging film sebagai lapisan terakhir pada proses pemvakuman kali ini yang berfungsi sebagai batasan area vakum dari segala arah. Cara pemasangan dengan merekatkan bagging film dengan sealant tape yang telah di letakkan pada tahap sebelumnya.
12. Setelah pemasangan selesai, lubangi bagging film tepat di lubang port yang telah diletakkan sebelumnya. Masukkan vacuum hose pada lubang tersebut. Beri sealant tape disekeliling hose yang terhubung dengan port.
13. Sambungkan juga hose menuju input suctionvacuum pump, kemudian sambungkan hose menuju catchpot. Sebelum menyalakan vacuum pump, pastikan instalasi hose sudah benar benar selesai.
14. Kemudian nyalakan vacuum pump, dengan ini bisa dimanfaatkan juga untuk pengecekan apakah ada kebocoran dari instalasi hose dan area yang berada di cetakan. Dengan melihat vacuum gauge pada catchpot kita bisa memastikan ada tidaknya kebocoran. Kebocoran juga bisa di deteksi dengan adanya suara dari sumber kebocoran. Jika ada kebocoran, tutup dengan sealant tape pada lubang tersebut.



**Gambar 12.** Proses pemvakuman komposit sandwich

15. Kemudian biarkan vacuum pump bekerja dengan durasi delapan jam untuk melakukan pemvakuman pada daerah vakum, juga meratakan dan mengalirkan resin pada setiap sudut specimen.
16. Setelah proses ini selesai, matikan vacuum pump dan diamkan selama 1 hari untuk memastikan resin mengering sempurna pada lapisan sandwich, setelah kering dan mengeras lepas lapisan-lapisan pendukung proses vakum untuk mengambil specimen didalamnya.
17. Lalu lakukan pemotongan sesuai dengan dimensi standar ASTM C393/C393M - 11 dengan menggunakan gerinda untuk kemudian melakukan pengujian bending dengan variasi 0o dan 30°.



**Gambar 13.** Salah satu specimen dengan variasi sudut 0°



**Gambar 14.** Salah satu specimen dengan variasi sudut 30°

## 2.2 Pengujian Spesimen

Pengujian bending merupakan pengujian dengan tujuan untuk mengetahui besar kekuatan bending dari bahan yang diujikan, bahan komposit untuk pengujian bending saat ini. Proses pengujian dilakukan di Laboraturium Beton Departemen

Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan ITS dengan menggunakan mesin uji "Universal Testing Machine" SHIMADZU CORPORATION. Standar yang digunakan pada pengujian Tarik yaitu ASTM C393/C393M - 11.



**Gambar 15.** Mesin uji universal testing machine

Pada pengujian three point bending, pada mesin uji dipasang dua bagian, yakni:

- a. Support Nose, yang berfungsi sebagai tumpuan. Sesuai dengan ketentuan pada ASTM C393/C393M - 11, jarak span pada support nose harus berjarak 50 milimeter lebih pendek dari Panjang total specimen.
- b. Load nose, yang berfungsi sebagai pemberi gaya atau pembebanan hingga specimen mengalami gagal atau patah.



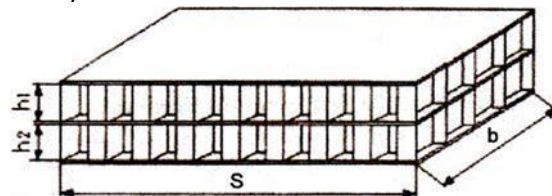
**Gambar 16.** Salah satu proses pengujian pada variasi sudut 0°



**Gambar 17.** Salah satu proses pengujian pada variasi sudut 30°

### 2.3 Dimensi Benda Uji

Benda uji menggunakan standar ukuran ASTM C393/C393M-1 1

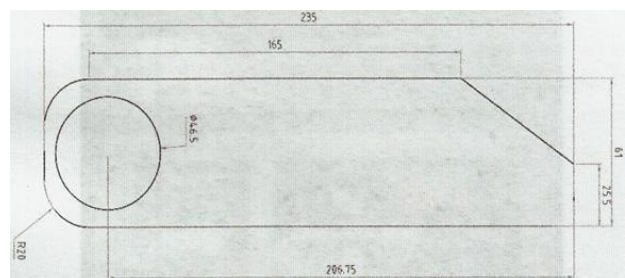


$$S = 200 \text{ mm}$$

$$b = 60 \text{ mm}$$

$$h_{1,2} = 10 \text{ mm}$$

### 2.4 Komponen knuckle plate



**Gambar 18.** dimensi yang digunakan pada mobil nogogeni 5 evo



**Gambar 19.** bahan dasar knuckle plate aluminium alloy 6063



Kemudian dilakukan pengukuran berat komponen knuckle plate, dan didapatkan hasil seperti dibawah ini:



Gambar 20. hasil pengukuran berat komponen knuckle plate setelah di porong sesuai dengan dimensi

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengujian 3 Titik Bending Komposit Sandwich

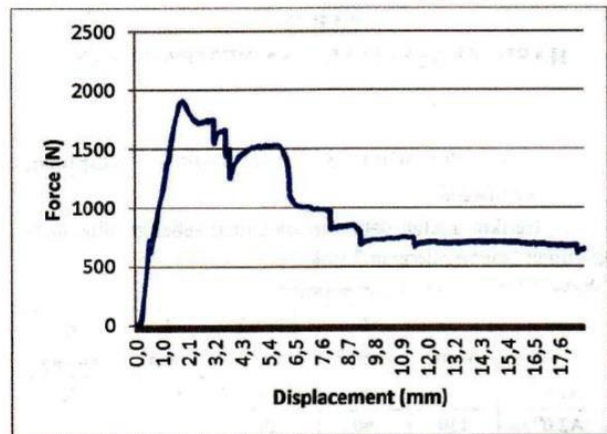
Berikut adalah data tiap specimen sebelum dilakukan pengujian bending dengan 3 titik:

Tabel 1. Data dimensi tiap specimen

Kode Spesimen	s (mm)	b (mm)	h1+h2 (mm)	T (mm)	d (mm)
A1 0°	150	60	20	0.3	22
A2 20°	150	60	20	0.3	22
A3 30°	150	60	20	0.3	22
B1 30°	150	64	20	0.3	22
B2 30°	150	64	20	0.3	22
B3 30°	150	64	20	0.3	22

Dari tabel 1. data specimen dapat digunakan untuk melakukan pengujian bending dengan beban maksimal pada mesin sebesar 100kN, dengan pengujian 3 titik bending berdasarkan standar ASTM C393/C393M - 11 dengan indenter 25 mm dan panjang penumpu (span length) pada pengujian sebesar 150 mm.

Hasil pengujian didapatkan grafik pengujian, berikut adalah basil grafik pengujian pada sebuah specimen B3 30°:



Gambar 21. Grafik pengujian 3 titikbinding specimen B3 30°

Pada gambar 21. didapatkan pembebanan yang di terima pada specimen B3 30° sebesar 1916.56 N dan perpindahan pada pembebanan tersebut sebesar 2 mm. Dengan adanya hasil pengujian ini, data yang diperoleh dapat digunakan untuk mencari data pada specimen komposit seperti:

1. Facing Bending Stress
2. Tegangan geser core
3. Stiffness (Kekakuan Material)
4. Kekuatan Bending
5. Momen Bending

#### 3.2 Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap facing bending stress komposit sandwich

Tabel 2. Hasil facing bending stress

No	Spesimen	Kode Spesimen	$\sigma$ (Mpa)
1	Sandwich 0°	A1 0°	167.438
2		A2 0°	187.562
3		A3 0°	198.215
4	Sandwich 30°	B3 30°	167.331
5		B3 30°	166.168
6		B3 30°	162.046

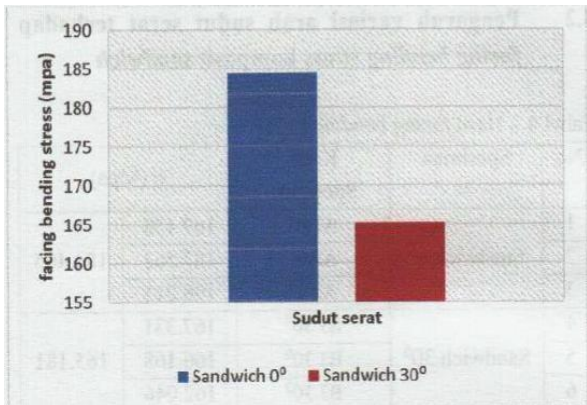
Data dari tabel 2. merupakan basil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM C393/C393-11. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagramfacing bending stress

0° = Arah Serat 0°

30° = Arah Serat 30°

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya.

Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan basil tertinggi menuju basil terendah:



**Gambar 22.** Perbandingan rata-rata hasil perhitungan facing bending stress komposit sandwich terhadap arah sudut serat

Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0° : Arah Serat 0°
- 30° : Arah Serat 30°

Dari gambar 22. dapat dilihat grafik facing bending stress komposit sandwich yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan tegangan bending komposit akibat pengaruh perubahan arah sudut laminate. Pemyataan ini berdasarkan persamaan yang terdapat pada ASTM C393/C393M - 11 mengenai facing bending stress.

Facing bending stress rata-rata pada komposit sandwich bernilai 184.405 Mpa pada sudut serat 0°, dan 165.181 Mpa pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai facing bending stress pada sudut serat 30° mengalami penurunan sebesar 10.5% dari sudut 0°. Jadi tegangan bending rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0°.

### 3.3 Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap tegangan geser core komposit sandwich

Data dari tabel 3. merupakan hasil dari perhitungan dari runms yang ada pada standar ASTM C393/C393-11. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram tegangan geser core:

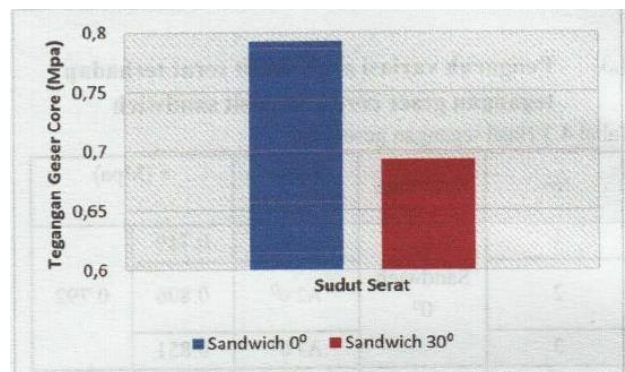
**Tabel 3.** Hasil tegangan geser core

No	Spesimen	Kode Spesimen	$\tau$ (Mpa)	
1	Sandwich 0°	A1 0°	0.719	0.792
2		A2 0°	0.806	
3		A3 0°	0.851	
4	Sandwich 30°	B3 30°	0.702	0.693
5		B3 30°	0.697	
6		B3 30°	0.68	

- 0° : Arah Serat 0°
- 30° : Arah Serat 30°

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya

Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan basil tertinggi menuju hasil terendah:



**Gambar 23.** Perbandingan rata-rata basil perhitungan tegangan geser core komposit sandwich terhadap arah sudut serat

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0° : Arah Serat 0°
- 30°:Arah Serat 30°

Dari gambar 23. dapat dilihat grafik tegangan geser core komposit sandwich yang menunjukkan bahwa pada penambahan tebal inti aluminium honeycomb pada komposit sandwich mengalami ketidakstabilan tegangan geser core dengan skin komposit sandwich seiring dengan arah sudut serat. Pemyataan ini berdasarkan persamaan yang terdapat pada ASTM C393/C393M - 11 mengenai tegangan geser core.

Tegangan geser core rata-rata pada komposit sandwich bernilai 0.792 Mpa pada sudut serat 0°, dan 0.693 Mpa pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai facing bending stress pada sudut serat 30° mengalami penurunan sebesar 12.5% dari sudut 0°. Jadi tegangan geser core rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0°.

**3.4 Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap stiffness komposit sandwich**

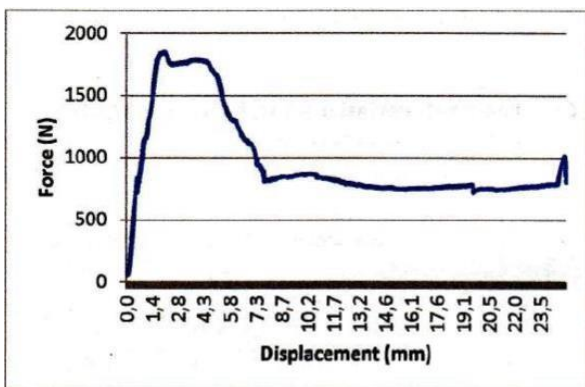
Tabel 4. Data pengujian 3 titik bending

No	Spesimen	Kode Spesimen	Max Force (N)	Max Displacement (mm)
1	Sandwich 0°	A1 0°	1856.56	2.036
2		A2 0°	2079.69	3.492
3		A3 0°	2197.81	1.582
4	Sandwich 30°	B3 30°	1979.06	1.86
5		B3 30°	1965.31	1.576
6		B3 30°	1916.56	1.874

Dari tabel 4. dapat dilihat data yang diperoleh dari hasil pengujian 3 titik bending. Terdapat 6 spesimen percobaan dengan variasi sudut arah serat 00 dan 30°. Dengan masing-masing variasi terdapat 3 spesimen, dimana hasil yang diperoleh juga berbeda untuk gaya maksimal pembebanan dan deformasi tiap spesimen.

Data tersebut yang akan digunakan untuk menentukan nilai stiffness dari grafik spesimen pada basil pengujian 3 titik bending. Perhitungan menggunakan persamaan (3) dibawah:

$$\frac{y2 - y1}{x2 - x1}$$



Gambar 24. grafik spesimen A1 0°

Pada gambar 24. dapat dilihat bahwa beban maksimal yang diperoleh spesimen dari pengujian sebesar 1856.56 N. Untuk mencari nilai stiffeess

dibutuhkan nilai force (axis y pada persamaan) dan, displacement (axis x pada persamaan) pada daerah elastis yang ada di grafik hasil pengujian. Pada gambar 4.4 garis kemiringan konstan di mulai 93.125 N sampai 808.43 N dengan displacement awal 0 mm sampai dengan 0.6 mm.

$$\frac{808.43 N - 93.125 N}{0.6 mm - 0 mm} = 1192.175 N/mm$$

Berikut adalah hasil lengkap perhitungan spesimen uji · material komposit dengan variasi sudut serat yang telah di tabelasi:

Tabel 5. Hasil Stiffness komposit

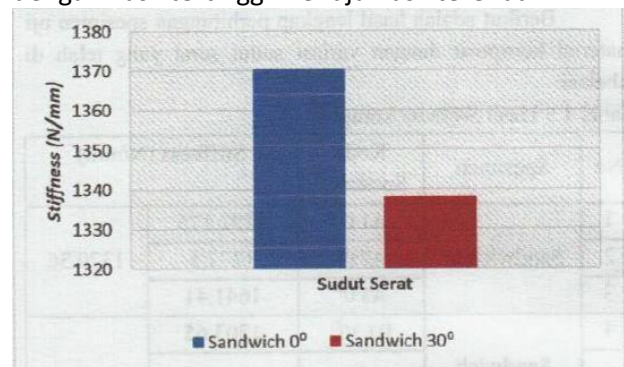
No	Spesimen	Kode Spesimen	Stiffness (N/mm)
1	Sandwich 0°	A1 0°	1192.175
2		A2 0°	1277.5
3		A3 0°	1641.41
4	Sandwich 30°	B3 30°	1303.65
5		B3 30°	1439.83
6		B3 30°	1270.61

Data dari table 5. merupakan hasil dari perhitungan dari rumus yang digunakan Robert D. Story, pada thesis SAE yang telah dibuat. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram stiffness:

- 0° : Arah Serat 0°
- 30° : Arah Serat 30°

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya.

Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan hasil tertinggi menuju hasil terendah:



Gambar 25. Perbandingan rata-rata hasil perhitungan Stiffness komposit sandwich terhadap arah sudut serat

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

0° : Arah Serat 0°

30° : Arah Serat 30°

Dari gambar 25. dapat dilihat grafik stiffness komposit sandwich yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan stiffness komposit akibat pengaruh perubahan arah sudut serat. Disebabkan bonding antar skin dan core pada tiap variasi sempurna. Sesuai kenyataan, bonding antar skin dan core ditentukan oleh persebaran matriks (resin) pada seluruh luasan komposit yang akan mempengaruhi ikatan antara matriks dan reinforce pada tiap variasi spesimen.

Pada proses Vacuum Bagging, sering terjadi penimbunan resin di beberapa bagian yang membuat penekanan resin pada komposit tidak sempurna. Dan juga berbedanya hasil stiffness kedua variasi ini bisa dikarenakan indenter yang tidak terlalu pada posisi center saat pengujian beberapa spesimen.

Stiffness rata-rata pada komposit sandwich bernilai 1370.36N/mm pada sudut serat 0°, dan 1338.03 N/mm pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai stiffness pada sudut serat 00 mengalami peningkatan sebesar 2.41% dari sudut 30°. Jadi stiffness rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0°.

### 3.5 Pengaruh variasi sudut serat terhadap Kekuatan Bending

Tabel 6. Hasil Perhitungan Kekuatan bending komposit

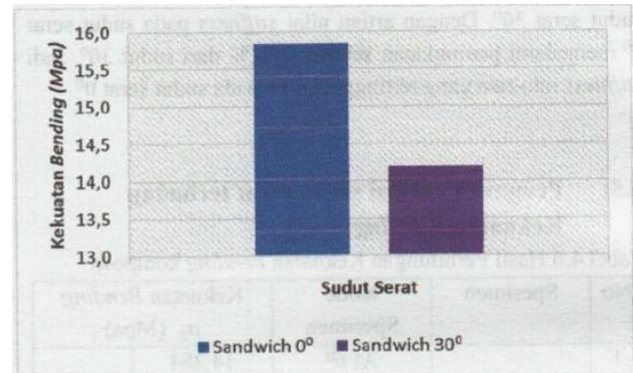
No	Spesimen	Kode Spesimen	Kekuatan Bending $\sigma_b$ (Mpa)
1	Sandwich 0°	A1 0°	14.384
2		A2 0°	16.113
3		A3 0°	17.028
4	Sandwich 30°	B3 30°	14.375
5		B3 30°	14.275
6		B3 30°	13.921

Data dari tabel 6. merupakan basil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM D790 - 10. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram Kekuatan Bending:

0° : Arah Serat 0°

30° : Arah Serat 30°

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya. Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan hasil tertinggi menuju hasil terendah:



Gambar 26. Perbandingan rata-rata hasil perhitungan Kekuatan Bending komposit sandwich terhadap arah sudut serat

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

0° : Arah Serat 0°

30° : Arah Serat 30°

Dari gambar 26. dapat dilihat grafik kekuatan bending komposit sandwich yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan tegangan bending komposit akibat pengaruh perubahan arah sudut laminate.

Kekuatan Bending rata-rata pada komposit sandwich bernilai 15.841 Mpa pada sudut serat 0°, dan 14.190 Mpa pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai kekuatan bending pada sudut serat 0° mengalami peningkatan sebesar 11.63% dari sudut 30°. Jadi kekuatan bending rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0°.

### 3.6 Pengaruh variasi sudut serat terhadap Momen Bending

Tabel 7. Hasil Perhitungan Momen Bending komposit

No	Spesimen	Kode Spesimen	Momen Bending (Nmm)
1	Sandwich 0°	A1 0°	69621
2		A2 0°	77988.375
3		A3 0°	82417.875
4	Sandwich 30°	B3 30°	74214.75
5		B3 30°	73699.125
6		B3 30°	71871

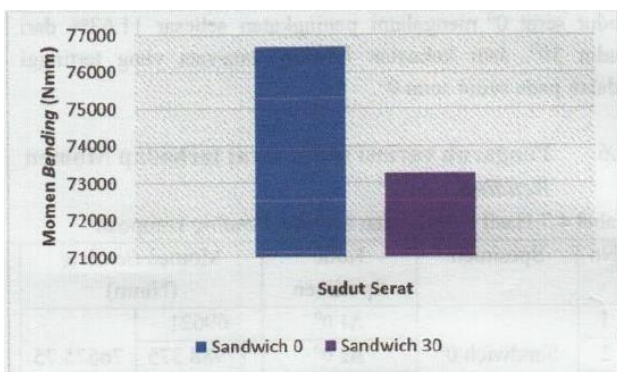
Data dari tabel 7. merupakan basil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM D790 - 10. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembandingan pada diagram Momen Bending :

0° = Arah Serat 0°

30° = Arah Serat 30°

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya.

Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan basil tertinggi menuju basil terendah:



**Gambar 27.** Perbandingan rata-rata hasil perhitungan Momen Bending komposit sandwich terhadap arah sudut serat

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

0° : Arah Serat 0°

30° : Arah Serat 30°

Dari gambar 27. dapat dilihat grafik Momen bending komposit sandwich yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan tegangan bending komposit akibat pengaruh perubahan arah sudut laminate.

Momen bending rata-rata pada komposit sandwich bernilai 76675.75 Nmm pada sudut serat 0°, dan 73261.62 Nmm pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai Momen bending pada sudut serat 0° mengalami peningkatan sebesar 4.66% dari sudut 30°. Jadi Momen bending rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0°.

### 3.7 Pengujian tiga titik bending pada material aluminium alloy 6063

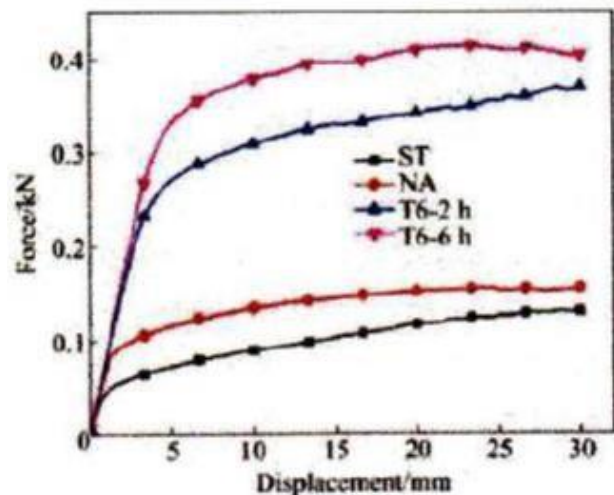
(Liu Zin Wei, 2017) melakukan pengujian tiga titik bending pada material aluminium alloy 6063. Pengujian ini ada pada referensi Influence of heat treatment conditions on bending characteristics of 6063 aluminum alloy sheets. Didalam pengujian, material menerima perlakuan pan.as dengan variasi seperti:

**Tabel 8.** Data spesimen aluminium alloy 6063

No	Spesimen	Perlakuan pan.as
1	ST (Mg)	Heat treated 535°C selama 1jam
2	NA (Si)	Heat treated 535°C selama 1jam
3	T6-2h	Heat treated 180°C selama 2jam
4	T6-6h	Heat treated 180°C selama 6jam

\*T6-6h merupakan material lama knuckle plate mobil nogo geni 5 evo

Dengan 4 variasi perlakuan pan.as yang berbeda pada material aluminium alloy 6063, basil pengujian spesimen di tabel 8. mengalami perbedaan. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada gambar 28. dibawah ini.



**Gambar 28.** Grafik pembebanan terhadap perpindahan basil pengujian tiga titik bending pada 4 spesimen

Pada gambar 27, spesimen ST, NA, T6-2h, T6-6h dapat dilihat spesimen ST menerima beban maksimum sebesar 135.71 N. Spesimen NA menerima beban maksimum sebesar 152.38 N, yang berarti pembebanan lebih besar 12.28% dari pembebanan spesimen ST. Pembebanan pada spesimen T6-2h memiliki nilai yang jauh lebih besar yakni 370.27 N, yang berarti 172.83% lebih besar dibanding pembebanan spesimen ST.

Spesimen T6-2h juga lebih besar 142.99% dari spesimen NA. Pada spesimen T6-6h, pembebanan yang diterima sebesar 413.82 N. Dengan demikian, spesimen T6-6h memiliki pembebanan maksimum lebih besar 204.92% dibandingkan spesimen ST. Pembebanan maksimal pada T6- 6h juga lebih besar 171.57% jika dibandingkan dengan spesimen NA.

### 3.8 Perhitungan Kekuatan Bending pada material aluminium alloy 6063

**Tabel 9.** Kekuatan Bending material aluminium alloy 6063

No	Spesimen	Maksimal Pembebanan (N)	Kekuatan Bending (Mpa)
1	ST (Mg)	135.71	135.71
2	NA (Si)	152.38	152.38
3	T6-2h	370.27	370.27
4	T6-6h	413.82	413.82

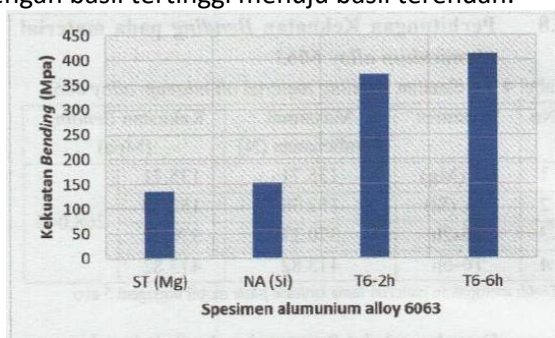
\*T6-6h merupakan material lama knuckle plate mobil nogogeni 5 evo

Data dari tabel 9. merupakan basil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM D790 - 10. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram Kekuatan Bending:

- ST (Mg) melalui proses heat treated 535°C selama 1jam
- NA (Si) melalui proses heat treated 535°C selama 1jam
- T6 temper melalui proses heat treated 180°C selama 2 jam
- T6 temper melalui proses heat treated 180°C selama 6 jam

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram perbedaan berdasarkan heat treatment.

Berikut adalah diagram berdasarkan heat treatment dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan basil tertinggi menuju basil terendah:



**Gambar 29.** Perbandingan hasil perhitungan Kekuatan Bending material aluminium alloy 6063 terhadap heat treatment

Pada gambar 29. spesimen ST, NA, T6-2h, T6 6h dapat dilihat spesimen ST memiliki nilai kekuatan bending sebesar 135.71 Mpa. Spesimen NA sebesar 152.38 Mpa, yang berarti spesimen NA lebih besar 12.28% dari pembebanan spesimen ST. Pada spesimen T6-2h memiliki nilai yang jauh lebih besar yakni 370.27 Mpa, yang berarti 172.83% lebih besar dibanding spesimen ST.

Spesimen T6-2h juga lebih besar 142.99% dari spesimen NA. Pada spesimen T6-6h, hasil perhitungan kekuatan bending sebesar 413.82 Mpa. Dengan demikian, spesimen T6-6h lebih besar 204.92% dibandingkan spesimen ST. Kekuatan bending pada T6-6h juga lebih besar 171.57% jika dibandingkan dengan spesimen NA.

### 3.9 Perhitungan Momen Bending pada material aluminium alloy 6063

**Tabel 10.** Momen Bending material aluminium alloy 6063

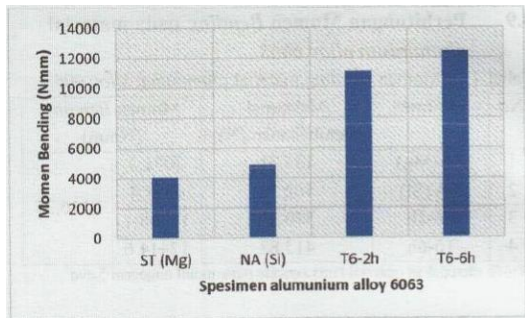
No	Spesimen	Maksimal Pembebanan (N)	Momen Bending (Nmm)
1	ST (Mg)	135.71	4071.3
2	NA (Si)	162.38	4871.4
3	T6-2h	370.27	11108.1
4	T6-6h	413.82	12414.6

\*T6-6h merupakan material lama knuckle plate mobil nogogeni 5 evo

Data dari tabel 10. merupakan basil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM D790 - 10. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram Kekuatan Bending.

ST (Mg) melalui proses heat treated 535°C selama 1jam NA (Si) melalui proses heat treated 535°C selama 1jam T6 temper melalui proses heat treated 180°C selama 2 jam T6 temper melalui proses heat treated 180°C selama 6 jam

Tabel 10. juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan heat treatment. Berikut adalah diagram berdasarkan heat treatment dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan basil tertinggi menuju basil terendah:



**Gambar 30.** Perbandingan hasil perhitungan Momen Bending material aluminium alloy 6063 terhadap heat treatment

Pada gambar 30. spesimen ST, NA, T6-2h, T6-6h dapat dilihat spesimen ST memiliki nilai Momen bending sebesar 4071.3 Nmm. Spesimen NA sebesar 4871.4 Nmm, yang berarti spesimen NA lebih besar 19.65% dari pembebanan spesimen ST. Pada spesimen T6-2h memiliki nilai yang jauh lebih besar yakni 11108.1 Nmm, yang berarti 172.83% lebih besar dibanding spesimen ST.

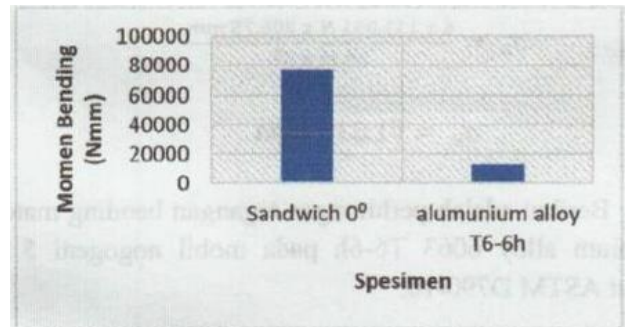
Spesimen T6-2h juga lebih besar 128.02% dari spesimen NA. Pada spesimen T6-6h, hasil perhitungan momen bending sebesar 12414.6 Nmm. Dengan demikian, spesimen T6-6h lebih besar 204.68% dibandingkan spesimen ST. Momen bending pada T6-6h juga lebih besar 154.84% jika dibandingkan dengan spesimen NA.

**3.10 Perbandingan nilai Momen Bending material komposit Double Layer Aluminium Honeycomb Core dan Carbon Fiber Sandwich dengan material Aluminium Alloy 6063**

Pada gambar 27. telah didapat material komposit Double Layer Aluminium Honeycomb Core dengan variasi sudut serat 0 0 memiliki nilai rata-rata momen bending tertinggi di banding dengan sudut serat 30° sebesar 76675.75 Nmm. Sedangkan pada gambar 28 didapat material aluminium alloy 6063 dengan variasi heat treatment T6-6h memiliki nilai 12414.6 Nmm sebagai yang tertinggi pada variasi pengujian 3 titik bending.

Dengan demikian dapat dibuat grafik perbandingan antara kedua material tersebut seperti pada Gambar 31. Pada gambar 30 didapat nilai material komposit Double Layer Aluminium Honeycomb Core memiliki nilai momen bending lebih besar 517.62% dibandingkan dengan material aluminium alloy 6063 T6-6h. Dengan demikian properties dalam hal ini Momen Bending, material komposit Double Layer Aluminium Honeycomb

Core lebih baik dibanding dengan material aluminium alloy 6063 T6-6h. Nilai properties Momen Bending hasil pengujian 3 titik bending dapat digunakan untuk mencari perhitungan Tegangan Bending pada mobil Nogogeni 5 evo.



**Gambar 31.** Perbandingan material komposit dengan material aluminium alloy 6063

**3.11 Perhitungan tegangan bending knuckleplate mobil Nogogeni 5 evo**

Pada persamaan (6), didapatkan perhitungan tegangan bending knuckle plate pada mobil nogogeni 5 evo secara statis. Perhitungan di dapat 48ri data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh knuckle plate:

$$\sigma_b = \frac{6 Mb}{b.h^2}$$

$$\sigma_b = \frac{6 \times 111.051 N \times 206.75 mm}{60 m \times 5^2}$$

$$\sigma_b = 91.839 Mpa$$

Berikut adalah perhitungan tegangan bending material aluminium alloy 6063 T6-6h pada mobil nogogeni 5 evo menurut ASTM D790-10:

$$\sigma_b = \frac{3 Mb}{2.b.h^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 413.82 N \times 206.75 mm}{2 \times 60 m \times 5^2}$$

$$\sigma_b = 85.55 Mpa$$

Berikut adalah perhitungan tegangan bending material aluminium alloy 6063 T6-6h pada mobil nogogeni 5 evo menurut ASTM D790-10:

$$\sigma_b = \frac{3 Mb}{2.b.h^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 2044.68 N \times 206.75 mm}{2 \times 60 m \times 22^2}$$

$$\sigma_b = 21.83 Mpa$$

Pada persamaan (7), didapatkan perhitungan tegangan geser knuckle plate pada mobil nogogeni 5 evo secara statis. Perhitungan di dapat dari data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh knuckle plate:

$$\sigma_b = \frac{F}{b.h}$$

$$\sigma_b = \frac{111.051 N}{60 mm \times 5 mm}$$

$$\sigma_b = 0.37 N/mm^2$$

Berikut adalah perhitungan tegangan geser material alumunium alloy 6063 T6-6h pada mobil nogogeni 5 evo:

$$\sigma_b = \frac{F}{b.h}$$

$$\sigma_b = \frac{413.82 N}{60 mm \times 5 mm}$$

$$\sigma_b = 1.37 N/mm^2$$

Berikut adalah perhitungan tegangan geser material komposit sandwich:

$$\sigma_b = \frac{F}{b.h}$$

$$\sigma_b = \frac{2044.68 N}{60 mm \times 22 mm}$$

$$\sigma_b = 1.549 N/mm^2$$

Pada persamaan (8), didapatkan perhitungan tegangan total knuckle plate pada mobil nogogeni 5 evo. Perhitungan di dapat dari data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh knuckle plate:

$$\tau_{max} = \sqrt{\sigma_b^2 + \tau_s^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{(91.839)^2 + (0.37)^2}$$

$$\tau_{max} = 91.839 N/mm^2$$

$$\tau_{max} = 91.839 Mpa$$

Pada persamaan (8), didapatkan perhitungan tegangan total knuckle plate material aluminium alloy 6063. Perhitungan di dapat dari data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh knuckle plate:

$$\tau_{max} = \sqrt{\sigma_b^2 + \tau_s^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{(85.55)^2 + (1.37)^2}$$

$$\tau_{max} = 87.42 N/mm^2$$

$$\tau_{max} = 87.42 Mpa$$

Pada persamaan (8), didapatkan perhitungan tegangan material komposit sandwich. Perhitungan di dapat dari data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh knuckle plate:

$$\tau_{max} = \sqrt{\sigma_b^2 + \tau_s^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{(21.83)^2 + (1.549)^2}$$

$$\tau_{max} = 24.22 N/mm^2$$

$$\tau_{max} = 22.22 Mpa$$

## PENUTUP

### Kesimpulan

1. Variasi arah serat pada material komposit sandwich serat karbon twill dengan struktur komposit double layer core menghasilkan nilai stiffness tertinggi sebesar 1370.36 N/mm pada arah serat 0°
2. Variasi arah serat pada material komposit sandwich serat karbon twill dengan struktur komposit double layer core menghasilkan nilai facing bending stress tertinggi sebesar 184.405 Mpa dan nilai core shear ultimate stress sebesar 0.792 Mpa pada arah serat 0°.
3. Nilai Momen bending material komposit Double Layer Aluminium Honeycomb Core dengan variasi sudut serat 0° memiliki nilai rata-rata sebesar 76675.75 Nmm. Sedangkan material aluminium alloy 6063 dengan variasi heat treatment T6-6h memiliki nilai 12414.6 Nmm. Dengan demikian, material komposit memiliki properties lebih baik dibandingkan material aluminium alloy 6063 T6-6h.
4. Untuk pengaplikasian material komposit pada komponen mobil nogogeni 5 evo, perhitungan material menyebutkan tegangan total material jika di aplikasikan sebesar 22.22 Mpa. Sedangkan material lama sebesar 87.42 Mpa. Dengan kesimpulan material komposit pengujian masih kurang cocok untuk pengaplikasian pada komponen knuckle plate mobil



nogogeni 5 evo karena specimen terlalu tebal.

5. Kegagalan yang terjadi pada pengujian 3 titik bending berupa kegagalan core shear sebanyak 3 spesimen (1 spesimen pada sudut serat 00 dan 2 spesimen pada sudut 30° dan kegagalan indentation sebanyak 3 spesimen (2 spesimen pada sudut serat 00 dan 1 spesimen pada sudut serat 30°).

#### DAFTAR PUSTAKA

ASTM C393/C393M - 11, Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Construction, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohoken, United States.

ASTM 0790 - 10, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohoken, United States

Kobayashi Y., Ohtsuka Y., Tamura H., Satoh T., Nakajima H., 2006, "Study on Bending Properties of Double Layer Aluminum Honeycomb Core Sandwich Panels" Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers (A), 72: 724

Liu, Z.W., Li, L.X., Yi J., Li, S.K., Wang, Z.H., Wang, G., 2017, "Influence of heat treatment conditions on bending characteristics of 6063 aluminum alloy sheets" Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 27:1948-1506

Wang, J., Shi, C., Yang, N., Sun, H., Liu, Y., Song, B., 2018, "Strength, stiffness, and panel peeling strength of carbonfiber-reinforced composite sandwich structures with aluminum honeycomb cores for vehicle body" Composite Structures, 184:1189-1196

Palomba, G., Epasto, G., Crupi, V., Guglielmino, E., 2018, "Single and double layer honeycomb sandwich panels under impact loading" International Journal of Impact Engineering, 121:77-90

Hadi, B.K., 2000. PN-336 Mekanika Struktur Komposit. Bandung: ITB

Diharjo K. 2011. Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Gelas dengan Core DivinylcellPVC H-60 (Pengaruh Orientasi

Serat, Jumlah Laminat dan Tebal Core terhadap Kekuatan Bending). Surakarta: Teknik Mesin FT UNS.

<https://www.westsystem.com/wp-content/uploads/VacuumBag-7th-Ed.pdf>

[http://www.composites.ugent.be/home/madecomposites/documentation/FibreGlast Vacuum infiltration process. pdf](http://www.composites.ugent.be/home/madecomposites/documentation/FibreGlastVacuum%20infiltration%20process.pdf)

Jones, R.,M., 1999. "Mechanics of Composite Materials Second Edition" London: Taylor and Francis Group

Nugraha, M., A., 2018, "Analisa pengaruh sudut karbon fiber twill dan plain dengan core polyurethane rigid foam komposit sandwich yang menggunakan metode vacuum bagging pada pengujian three point bending" Tugas Akhir, ITS

Anam, M.,C., 2019, "Analisa Perbandingan antara simulasi dan pengujian terhadap stiffness threepoint Bending pada komposit sandwich carbonfiber prepeg dan aluminium honeycomb core menggunakan metode out-of-autoclave " Tugas Akhir,ITS

Maydiyanto, I., 2018, "Rancang bangun composite sandwich panel untuk chassis monocoque mobil FSAE elektrik ITS" Tugas Akhir, ITS

[www.easycomposite.co.uk](http://www.easycomposite.co.uk)

Zainuri, A., 2009 , "Studi Akurasi Kekakuan Bending Antara Metode Analitis Dan Metode Pendekatan Pada Komposit Sandwich", Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Mataram, p. 402-409