



**TUGAS AKHIR–TL 184834**

**SIMULASI ELEMEN HINGGA PADA SAMBUNGAN  
PELAT KOMPOSIT TIPE SINGLE LAP JOINT  
BERDASARKAN VARIASI PANJANG OVERLAP DAN  
KETEBALAN PELAT UNTUK OPTIMASI KEKUATAN  
SAMBUNGAN DAN KETAHANAN VIBRASI**

CUT IRMAFITRI  
NRP. 0251164000098

Dosen Pembimbing  
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D.  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT–TL 184834**

**FINITE ELEMENT SIMULATION OF COMPOSITE  
PLATE SINGLE LAP JOINT BASED ON VARIATIONS  
OF PLATE THICKNESS AND OVERLAP LENGTH FOR  
OPTIMIZATION OF JOINT STRENGTH AND  
VIBRATION RESISTANCE**

CUT IRMAFITRI  
NRP. 0251164000098

Supervisors  
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D.  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(This page is intentionally left blank)*

**SIMULASI ELEMEN HINGGA PADA SAMBUNGAN  
PELAT KOMPOSIT TIPE SINGLE LAP JOINT  
BERDASARKAN VARIASI PANJANG OVERLAP DAN  
KETEBALAN PELAT UNTUK OPTIMASI KEKUATAN  
SAMBUNGAN DAN KETAHANAN VIBRASI**

**Nama** : Cut Irmafitri  
**NRP** : 02511640000098  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing I** : Mas Irfan P. H, S.T., M.Sc., Ph. D.  
**Pembimbing II** : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

**Abstrak**

*Penelitian ini diterapkan pada material grafit fiber dan resin epoxy. Dilengkapi dengan adhesives resin epoxy. Beberapa parameter yang digunakan ialah panjang overlap serta ketebalan pelat dimana respon yang terkait yaitu kekuatan sambungan dan ketahanan vibrasi. Software numerik yang digunakan ANSYS workbench. Hasil simulasi menunjukkan adanya pengaruh dengan penambahan panjang overlap. Untuk analisa kekuatan sambungan, adanya variasi penambahan panjang overlap mampu meningkatkan kekuatan secara konsisten pada ketebalan 2 mm namun mengalami penurunan dengan ketebalan 2,27; 2,54mm, dan mengalami penurunan pada penambahan panjang overlap 60 mm. Sehingga pada penelitian ini dihasilkan bahwa untuk variasi lainnya, terdapat nilai optimalnya. Untuk analisa ketahanan vibrasi, dapat diambil kesimpulan bahwa dengan penambahan variasi panjang overlap serta ketebalan adherend mampu meningkatkan nilai natural frekuensi yang mana meningkatkan ketahanan vibrasinya*

**Kata Kunci:** *Kekuatan sambungan, Ketahanan vibrasi, Getaran bebas, Adhesif, dan Komposit.*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**FINITE ELEMENT SIMULATION OF COMPOSITE  
PLATE SINGLE LAP JOINT BASED ON VARIATIONS  
OF PLATE THICKNESS AND OVERLAP LENGTH FOR  
OPTIMIZATION OF JOINT STRENGTH AND  
VIBRATION RESISTANCE**

**Student Name** : Cut Irmafitri  
**NRP** : 0251164000098  
**Department** : Material and Metallurgical Engineering  
**Supervisor** : Mas Irfan P. H, S.T., M.Sc., Ph. D.  
**Co-Supervisor** : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

**Abstract**

*This research is applied to graphite fiber and epoxy resin materials. Equipped with epoxy resin adhesive. Some parameters used are overlap length and plate thickness while the responses are their joint strength and vibration resistance. The numerical software used is ANSYS workbench. The simulation results show the influence with the addition of overlap length. For analyze the strength of the adhesives, the variation in the addition of overlap length can increase the strength consistently at thickness with 2 mm but decreasing strength while addition the thickness were 2,27; 2,54 mm and also decreasing while adding overlap length 60 mm. However, this research resulted that for other variations, there have optimal values. For vibration resistance analysis, it can be concluded that by adding variations in overlap length and thickness of the adherend can increase the value of the natural frequency which increases the vibration resistance*

**Keywords:** *Joint strength, Vibration resistance, Free vibration, Adhesive, and Composite.*

*(This page is intentionally left blank)*



**SIMULASI ELEMEN HINGGA PADA SAMBUNGAN  
PELAT KOMPOSIT TIPE SINGLE LAP JOINT  
BERDASARKAN VARIASI PANJANG OVERLAP DAN  
KETEBALAN PELAT UNTUK OPTIMASI KEKUATAN  
SAMBUNGAN DAN KETAHANAN VIBRASI**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**CUT IRMAFITRI**  
NRP 02511640000098

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Mas Irfan P Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D. .... (Pembimbing I)
2. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. .... (Pembimbing II)





## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah atas pertolongan Allah SWT, dan shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kemampuan untuk menyelesaikan Tugas Akhir hingga mampu mengikuti sidang tugas akhir. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Mas Irfan Purbawanto Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D dan Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis.
2. Bapak Dr.Eng Hosta selaku Kepala Program Studi S1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama.

Surabaya, 10 Januari 2020  
Penulis

Cut Irmafitri

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Material Komposit .....	5
2.1.1 Matriks .....	8
2.1.2 Reinforce .....	8
2.1.3 Polymers Matrix Composites .....	9
2.2 Komposit Laminat .....	10
2.2.1 Material Orthotropik .....	12
2.2.2 Lamina Isotropik Transversal.....	13
2.3 Adhesive Joint.....	14
2.3.1 Pengaruh Panjang Overlap Terhadap Kekuatan Sambungan.....	24
2.3.2 Pengaruh Ketebalan Adherend Terhadap Kekuatan Sambungan.....	25
2.3.3 Pengaruh Ketebalan Adhesif .....	25
2.3.4 Pengaruh Panjang Overlap Terhadap Ketahanan Vibrasi .....	26
2.3.5 Pengaruh Ketebalan Adherend Terhadap Ketahanan Vibrasi .....	27
2.4 Graphite Fiber.....	29

2.5	Epoxy Resin.....	30
2.6	Optimasi Komposit .....	30
2.7	Mikromekanik.....	31
2.8	Persamaan Gerak Dinamis.....	32
2.9	Lap Shear Stress.....	33
2.10	Penelitian Sebelumnya.....	35

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	41
3.2	Desain Penelitian .....	42
3.2.1	Variabel Beban.....	42
3.2.2	Variabel Respon .....	42
3.2.3	Variabel Proses.....	42
3.3	Spesifikasi Material .....	43
3.3.1	Material Komposit.....	43
3.3.2	Desain Pelat Komposit Single Lap Joint.....	43
3.4	Peralatan.....	44
3.5	Variasi Desain Geometri.....	44
3.5.1	Panjang Overlap .....	46
3.5.2	Ketebalan Pelat.....	47
3.6	Permodelan dengan ANSYS Fluent 17.1.....	48

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

4.1	Proses Pemodelan .....	55
4.1.1	Perhitungan Nilai Shear Stress .....	55
4.1.2	Perhitungan Nilai Natural Frekuensi .....	55
4.2	Analisa Pengaruh Variasi Panjang <i>Overlap</i> dan Ketebalan <i>adherend</i> Terhadap Kekuatan Sambungan.....	57
4.2.1	Analisa Pengaruh Panjang <i>Overlap</i> Terhadap Kekuatan Sambungan.....	59
4.2.2	Analisa Pengaruh Ketebalan <i>Adherend</i> Terhadap Kekuatan Sambungan.....	64
4.3	Analisa Pengaruh Variasi Panjang <i>Overlap</i> dan Ketebalan <i>adherend</i> Terhadap Ketahanan Vibrasi.....	69

4.3.1	Analisa Pengaruh Panjang <i>Overlap</i> Terhadap Ketahanan Vibrasi.....	71
4.4	Perbandingan Desain Optimal .....	76
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan.....	81
5.2	Saran.....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>83</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>87</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>		<b>105</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>		<b>107</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Perbandingan material monolitik konvensional dengan material komposit .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Lamina dan Laminasi .....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Material orthotropic.....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Transformasi sumbu koordinat, jika ada 2 bidang merupakan bidang simetri, yaitu bidang $z = 0$ dan bidang $x = 0$ .....	13
<b>Gambar 2.5</b>	Pengaruh panjang <i>overlap</i> pada <i>failure load</i> menggunakan <i>ductile</i> dan <i>brittle</i> adhesive .....	24
<b>Gambar 2.6</b>	Empat jenis dasar tipe tegangan dalam adhesif .....	27
<b>Gambar 2.7</b>	Skema pembebanan geser pada single lap joint.....	33
<b>Gambar 2.8</b>	Distribusi tegangan pada adhesif ketika tegangan berada pada shear .....	34
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian .....	41
<b>Gambar 3.2</b>	Tampak samping desain sambungan pelat single lap joint .....	43
<b>Gambar 3.3</b>	Start ANSYS workbench 17.1.....	44
<b>Gambar 3.4</b>	Desain tampak depan overlap 55 mm.....	46
<b>Gambar 3.5</b>	Desain tampak depan overlap 60 mm.....	46
<b>Gambar 3.6</b>	Desain tampak depan overlap 65 mm.....	47
<b>Gambar 3.7</b>	Desain tampak depan dektebalan pelat 2 mm .....	47
<b>Gambar 3.8</b>	Desain tampak depan ketebalan pelat 2.27 mm.....	48
<b>Gambar 3.9</b>	Desain tampak depan ketebalan pelat 2.54 mm.....	48
<b>Gambar 3.10</b>	Diagram alir simulasi static structural .....	49
<b>Gambar 3.11</b>	Diagram alir simulasi modal analysis.....	50
<b>Gambar 3.12</b>	Proses import geometri ke ANSYS .....	51
<b>Gambar 3.13</b>	<i>Fixed support</i> pada ANSYS .....	51
<b>Gambar 3.14</b>	<i>Displacement</i> pada ANSYS .....	52
<b>Gambar 3.15</b>	Kurva stress-strain epoksi.....	52



<b>Gambar 3.16</b>	<i>Meshing</i> .....	53
<b>Gambar 4.1</b>	Pengaruh <i>overlap</i> 55 mm dengan ketebalan (a) 2 mm (b) 2.27 mm (c) 2.54. <i>Overlap</i> 60 mm dengan ketebalan (d) 2 mm (e) 2.27 (f) 2.54. <i>Overlap</i> 65 mm dengan ketebalan (g) 2 mm (h) 2.27 mm (i) 2.54 mm .....	58
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik <i>shear stress</i> dan <i>equivalent stress</i> variasi <i>overlap</i> dengan ketebalan (a) 2 mm (b) 2.27 mm (c) 2.54 mm .....	62
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik <i>shear stress</i> dan <i>equivalent stress</i> variasi ketebalan dengan panjang <i>overlap</i> (a) 55 mm (b) 60 mm (c) 65 mm.....	67
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil simulasi modal analysis dengan 10 variasi mode vibrasi.....	70
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik natural frekuensi dengan variasi ketebalan (a) 2 mm (b) 2.27 mm (c) 2.54 mm.....	73
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik natural frekuensi dengan variasi <i>overlap</i> (a) 55 mm (b) 60 mm (c) 65 mm .....	75
<b>Gambar 4.7</b>	Nilai <i>shear strength</i> analisa pengaruh penambahan panjang <i>overlap</i> dengan variasi ketebalan.....	76
<b>Gambar 4.8</b>	Nilai <i>shear strength</i> analisa pengaruh penambahan ketebalan <i>adherend</i> dengan variasi panjang <i>overlap</i> .....	78

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Pengaruh fiber dan matriks pada sifat mekanik material .....	11
<b>Tabel 2.2</b>	Jenis-jenis aplikasi sambungan .....	15
<b>Tabel 2.3</b>	General comparison of joining process characteristics .....	17
<b>Tabel 2.4</b>	Comparison of joining method .....	18
<b>Tabel 2.5</b>	Aturan umum desain sambungan.....	19
<b>Tabel 2.6</b>	Sifat dari lima adhesif yang paling sering digunakan .....	20
<b>Tabel 2.7</b>	Keuntungan dan kerugian dalam penggunaan lima adhesif paling sering digunakan.....	22
<b>Tabel 2.8</b>	Perbandingan penggunaan tipe tegangan .....	28
<b>Tabel 2.9</b>	Hasil penelitian sebelumnya .....	35
<b>Tabel 3.1</b>	Sifat mekanik dari grafit fiber, epoxy, dan lamina untuk ( $V_f = 63.5\%$ ).....	43
<b>Tabel 3.2</b>	Variasi geometri pelat komposit .....	45
<b>Tabel 4.1</b>	Nilai natural krekuenasi menggunakan mode 1 .....	80

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Komposit jika diartikan mengikuti istilah material komposit ialah gabungan dua atau lebih pada skala makroskopis untuk menghasilkan material yang berguna. Beberapa material yang berbeda dapat digabungkan dalam skala mikroskopis, seperti contohnya paduan logam karena hanya dapat dilihat secara mikroskop. Hal ini berbeda dengan komposit yang pembuatannya skala makroskopis dimana masih mampu diidentifikasi dengan visual mata saja. Beberapa sifat yang dapat ditingkatkan dengan material komposit ialah *fatigue life*, kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, dan lain lain. Alamiannya sifat-sifat tersebut tidak dapat dimaksimalkan atau ditingkatkan dalam waktu yang bersamaan. Seperti contohnya termal insulasi berlawanan dengan termal konduktivitas. Sehingga tujuan dari komposit kebanyakan adalah membuat satu sifat mekanik khusus saja (Jones, 1999). Teknik penyambungan adhesif telah berhasil menggantikan teknik penyambungan mekanik menggunakan baut dan paku keling karena mampu menghilangkan kerugian yang disebabkan oleh sambungan mekanik. Teknik penyambungan adhesif saat ini sedang dikembangkan untuk pembebanan dinamis dan statis. Untuk mendapatkan desain adhesive joint yang baik dibutuhkan pemahaman tentang mekanisme deformasi dan adhesi yang baik dibawah pembebanan dinamis maupun statis. Oleh karena itu, *service life* sambungan adhesive menjadi pertimbangan utama karena beban harmonik menyebabkan *fatigue* lokal pada material adhesive dan *adherend*. Akibatnya, karakteristik dinamis dari adhesive *joint* menjadi sangat penting dalam aplikasinya (Apalak & Yildirim, 2009).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Apalak & Yildirim, 2009) mengatakan bahwa analisa vibrasi tiga dimensi serta Analisa *modal stress* dari sambungan adhesive *single lap joints* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah *fiber angle*,

fraksi volume fiber, *overlap length*, serta ketebalan. Menurut Kadioglu, Avil, Ercan, & Aydogan (2018) parameter lain yang mempengaruhi kemampuan *single lap adhesive joints* adalah adanya perbedaan *overlap length*. Hasil kinerja yang dilakukan adalah meningkatkan *overlap length* mengakibatkan meningkatnya juga kemampuan sambungan yang mana secara umum tergantung juga pada sifat mekanik dari *adhesives* yang digunakan. Selanjutnya menurut penelitian yang dilakukan oleh (Apalak & Yildirim, 2009) nilai dari *natural frequencies* mampu mengalami peningkatan seiring juga dengan meningkatnya nilai dari ketebalan.

Telah dijelaskan bahwa *natural frequencies* dan *modal strain energies* sangat kuat keterkaitannya dengan parameter geometri seperti *overlap length* dan *plate thickness*. Sebuah desain yang optimal dari ikatan adhesive komposit *single lap joint* (Apalak & Yildirim, 2009). Dalam penelitian ini akan terfokus pada analisa desain sambungan komposit plate dengan perekat adhesif. Investigasi akan berfokus pada parameter geometri komposit plate seperti ketebalan ( $t$ ) dan *overlap length* ( $c$ ), sehingga mendapatkan desain yang optimal untuk desain sambungan plat komposit.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ketebalan dan *overlap length* terhadap kekuatan sambungan?
2. Bagaimana pengaruh ketebalan dan *overlap length* terhadap ketahanan vibrasi?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan dan memperoleh hasil yang baik, terdapat pembatasan masalah pada:

1. Kondisi lingkungan eksternal dianggap tidak berpengaruh.

- 
2. Material komposit yang digunakan dianggap tidak memiliki cacat.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa pengaruh ketebalan dan *overlap length* terhadap kekuatan sambungan
2. Analisa pengaruh ketebalan dan *overlap length* terhadap ketahanan vibrasi

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan desain yang optimal untuk komposit plat *single lap joint* dengan perekat adhesif sehingga dapat memperpanjang umur pemakaian.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

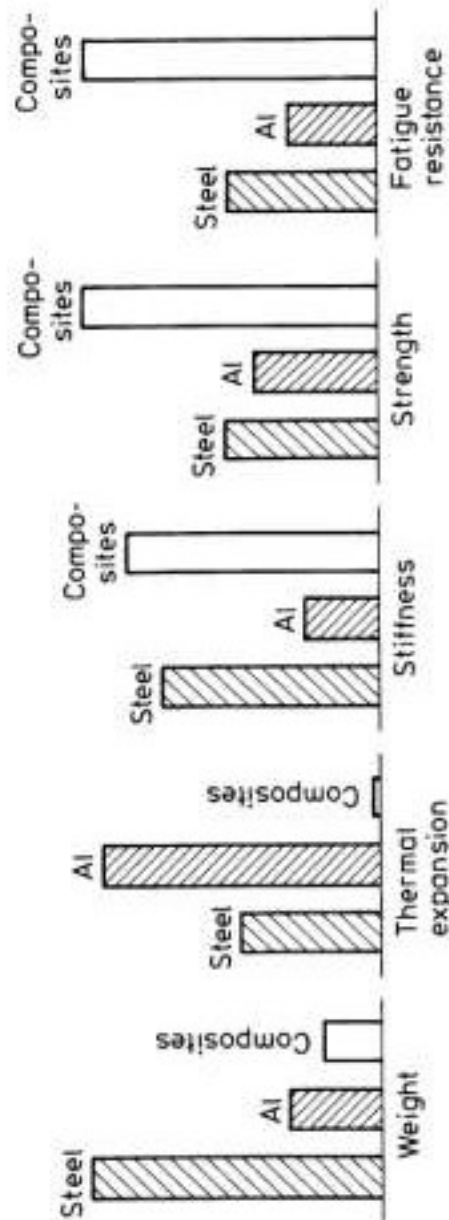
Pada bab tinjauan pustaka terkandung beberapa dasar teori yang mendukung pada simulasi ini. Diantaranya mengenai komposit serta dilengkapi beberapa metode yang terkait dengan judul dan topik yang telah dipilih. Berikut dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.

#### **2.1 Material Komposit**

Material komposit untuk saat ini merupakan salah satu upaya para ahli dibidangnya dalam optimalisasi kemampuan material. Berdasarkan pada penulis, "komposit telah memperkenalkan fluiditas yang luar biasa untuk rekayasa desain, sehingga memaksa perancang desain untuk membuat bahan yang berbeda untuk setiap aplikasi saat ia mengejar penghematan dalam berat dan biaya." Disisi lain ada beberapa poin lain yang mencolok adalah integrasi ilmu Teknik material serta dengan dimasukkannya desain dan manufaktur pada semua tingkatan, mulai dari secara konsep dari material komposit hingga pengaplikasiannya, melalui inspeksi selama masa pakai serta adanya analisa kegagalan. Namun, hal baiknya adalah kenyataan bahwa masyarakat kita telah menjadi sangat sadar tentang energi. Kenyataan ini yang menyebabkan permintaan meningkat untuk adanya struktur yang ringan namun kuat dan kaku pada aplikasi dalam kehidupan sehari-hari. Gambar 2.1 membuat perbandingan, diakui untuk tujuan ilustrasi, antara bahan monolitik konvensional, seperti aluminium dan baja, dan bahan komposit [Deutsch, 1978]. Gambar ini menunjukkan kemungkinan



peningkatan yang dapat diperoleh seseorang dari bahan konvensional dengan menggunakan bahan komposit. Dengan demikian, hal ini menggambarkan dengan jelas kekuatan



**Gambar 2.1** Perbandingan material monolitik konvensional dengan material komposit (Chawla, 1897)

karena adanya dorongan dibalik besarnya usaha di bidang material

komposit. Resin yang diperkuat serat gelas telah digunakan sejak sekitar tahun 1940-an. Resin yang diperkuat serat gelas adalah bahan yang sangat ringan dan kuat, meskipun kekakuannya (modulus) tidak terlalu tinggi, terutama karena serat gelas itu sendiri tidak terlalu kaku. Kuartal ketiga abad kedua puluh melihat munculnya serat maju yang disebut sangat tinggi, misalnya, boron, karbon, silikon karbida, dan alumina (Chawla, 1997).

Bahan struktural dapat dibagi menjadi empat kategori dasar: logam, polimer, keramik, dan komposit. Komposit, yang merupakan gabungan dari dua atau lebih material atau komponen bahan terpisah yang digabungkan dalam unit struktural, biasanya dibuat dari berbagai kombinasi dari tiga bahan lainnya. Pada era awal bahan komposit buatan manusia, penyusun material tersebut biasa dapat dilihat secara makroskopis. Setelah teknologi komposit mengalami kemajuan selama beberapa dekade terakhir, bahan penyusun, terutama bahan penguat, terus mengalami penurunan dalam skala ukuran. Dalam waktu dekat ini, adanya minat yang cukup besar dalam "*nanocomposites*" yang memiliki ukuran nanometer seperti karbon nanopartikel, nanofibers, dan nanotube, karena sifat superior yang dimiliki oleh material tersebut. Komposit umumnya digunakan karena mereka memiliki sifat yang dibutuhkan dimana sifat tersebut tidak dapat dilakukan oleh salah satu bahan penyusun yang bekerja sendiri. Contoh yang paling umum adalah komposit berserat yang terdiri dari penguat serat yang tertanam dalam matriks. Partikel atau serat juga digunakan, tetapi mereka umumnya tidak seefektif serat (Gibson, 2016).

Bahan Komposit dapat diartikan sebagai kombinasi dari dua atau lebih bahan yang menghasilkan sifat yang lebih baik daripada masing-masing komponen jika digunakan sendiri. Keuntungan utama dari material komposit adalah kekuatan dan kekakuannya yang tinggi, dikombinasikan dengan kepadatan rendah, jika dibandingkan dengan material butir (*bulk materials*),

memungkinkan untuk penurunan berat pada bagian akhir (Campbell, 2010). Jika mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh (Hidayat & Yusoff, 2010) telah dinyatakan bahwa kebanyakan dari komponen sering mengalami siklus tegangan yang kompleks dengan berbagai amplitudo dan tegangan rata-rata sepanjang umur kerjanya dengan itu memerlukan representasi yang mampu menggambarkan kondisi secara efisien dan efektif.

### 2.1.1 Matriks

Polimer, logam, dan keramik semuanya digunakan sebagai bahan matriks dalam komposit, tergantung pada permintaan khusus. Matriks menahan serat bersama-sama dalam unit struktural dan melindunginya dari kerusakan eksternal, mentransfer dan mendistribusikan beban yang diterapkan ke serat, serta dalam banyak kasus, berkontribusi beberapa properti yang dibutuhkan seperti keuletan, ketangguhan, atau insulasi listrik. Ikatan *interface* yang kuat antara serat dan matriks jelas diinginkan, sehingga matriks harus mampu mengembangkan ikatan mekanis atau kimia dengan serat. Bahan serat dan matriks juga harus kompatibel secara kimia, sehingga reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi di *interface*. Reaksi semacam itu cenderung lebih menjadi masalah pada komposit dengan temperatur tinggi. Temperatur sering menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan bahan matriks. Dengan demikian, bahan akan dibahas di bawah ini dalam rangka meningkatkan kemampuan temperatur (Gibson, 2016).

### 2.1.2 Reinforce

*Reinforcement* tidak harus dalam kondisi dengan serat panjang. Seseorang dapat memilikinya dalam bentuk partikel, serpihan, *whiskers*, serat pendek, serat kontinu, atau lembaran. Ternyata sebagian besar *reinforcement* yang digunakan dalam komposit memiliki bentuk berserat karena bahan lebih kuat dan kaku dalam bentuk berserat daripada dalam bentuk lainnya.

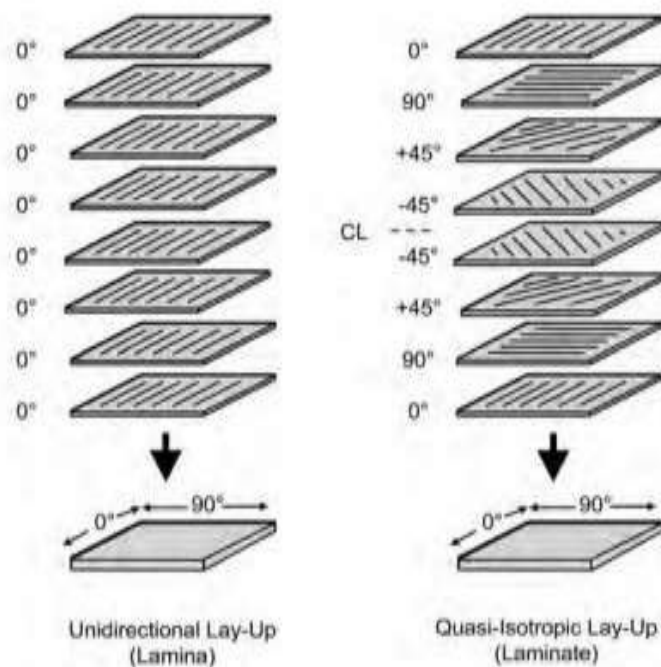
Khususnya, dalam kategori ini, yang paling ketertarikan adalah *advanced fibers*, yang memiliki kekuatan sangat tinggi dan kekakuan sangat tinggi ditambah dengan kepadatan yang sangat rendah. Peneliti harus menyadari bahwa banyak serat alami dapat dan digunakan dalam situasi dengan melibatkan stress yang tidak terlalu tinggi (Chawla, 1976; Chawla dan Bastos, 1979). Keuntungan besar dalam hal ini, tentu saja, adalah biayanya yang rendah. Faktanya, kerajaan nabati adalah sumber terbesar bahan berserat. Serat selulosa dalam bentuk kapas, rami, dan sisal misalnya, telah digunakan dalam industri tekstil, sedangkan kayu dan jerami telah digunakan dalam industri kertas. Serat alami lainnya, seperti rambut, wol, dan sutra, terdiri dari berbagai bentuk protein. Serat sutra yang diproduksi oleh berbagai laba-laba, khususnya, tampak sangat menarik karena fraktur yang tinggi (Chawla, 1998; Warner, 1995). Serat dengan daya kerja tinggi lainnya yang menggabungkan kekuatan tinggi dengan kekakuan tinggi adalah boron, silikon karbida, karbon, dan alumina. Ini semua dikembangkan di bagian dua abad kedua puluh. Secara khusus, beberapa serat keramik dikembangkan pada 1970-an dan 1980-an dengan metode yang sangat baru, yaitu, pirolisis terkontrol dari prekursor organik (Chawla, 1997).

### **2.1.3 Polymers Matrix Composites**

*Polymer matrix composites* (PMCs) telah menjadikan diri mereka sebagai bahan struktural rekayasa, bukan hanya sebagai keingintahuan laboratorium atau barang murah untuk membuat kursi dan meja. Ini terjadi bukan hanya karena pengenalan serat dengan kinerja yang tinggi seperti karbon, boron, dan aramid, tetapi juga karena beberapa bahan matriks baru dan lebih baik. Namun demikian, polimer yang diperkuat serat gelas telah mewakili kategori jenis PMC terbesar (Chawla, 1997).

## 2.2 Komposit Laminat

Ketika ada lapisan tunggal atau lay-up di mana semua lapisan atau lapisan ditumpuk dalam orientasi yang sama, lay-up disebut lamina. Ketika lapisan ditumpuk di berbagai sudut, lay-up disebut laminasi. Komposit serat kontinu biasanya merupakan bahan yang dilaminasi (Gambar. 2.2) di mana lapisan, lapisan, atau lamina individu diorientasikan ke arah yang akan meningkatkan kekuatan dalam arah beban primer.



**Gambar 2.2** Lamina dan Laminasi (Campbell, 2010)

Lamina searah ( $0^\circ$ ) sangat kuat dan kaku pada arah  $0^\circ$ . Namun, mereka sangat lemah ke arah  $90^\circ$  karena beban harus dibawa oleh matriks polimer yang jauh lebih lemah. Sementara serat berkekuatan tinggi dapat memiliki kekuatan tarik 500 ksi (3500 Mpa) atau lebih, matriks polimerik biasanya memiliki kekuatan tarik hanya 5 hingga 10 ksi (35 hingga 70 Mpa). Tegangan longitudinal dan beban kompresi adalah dibawa oleh

serat, sedangkan matriks mendistribusikan beban antara serat dalam tegangan dan menstabilkan serat dan mencegahnya dari tekuk dalam kompresi. matriks juga merupakan pembawa beban primer untuk geser antar lapisan serta tegangan transversal ( $90^\circ$ ). Karena orientasi serat berdampak langsung pada sifat-sifat mekanis, tampaknya logis untuk mengarahkan sebanyak mungkin lapisan pada arah pengangkutan beban utama. Meskipun pendekatan ini dapat digunakan untuk beberapa struktur, pada umumnya masih diperlukan untuk menyeimbangkan kemampuan membawa beban pada sejumlah arah yang berbeda, seperti  $0^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ , dan  $90^\circ$  arah (Campbell, 2010) seperti tabel 2.1 dibawah ini.

**Tabel 2.1** Pengaruh fiber dan matriks pada sifat mekanik material (Campbell, 2010)

Mechanical Property	Dominating composite constituent	
	Fiber	Matrix
<b>Unidirectional</b>		
$0^\circ$ tension	√	...
$0^\circ$ compression	√	√
Shear	...	√
$90^\circ$ tension	...	√
<b>Laminate</b>		
Tension	√	...
Compression	√	√
In-plane shear	√	√
Interlaminar shear	...	√

Laminasi komposit yang mengandung lapisan dari dua atau lebih jenis bahan yang berbeda disebut komposit hibrida, dan lebih khusus interply hybrid komposit. Misalnya, laminasi komposit

dapat dibuat dari kaca searah / epoksi, karbon / epoksi dan aramid / lapisan epoksi yang ditumpuk bersama dalam urutan yang ditentukan. Dalam beberapa kasus memungkinkan adanya keuntungan untuk mencampurkan berbagai jenis serat, seperti kaca dan karbon atau aramid dan karbon, dalam lapisan searah. Komposit semacam itu disebut komposit hibrida intraply. Tentu saja dapat menggabungkan lapisan hybrid intraply dengan layer lain untuk membentuk komposit hybrid intraply / interply. Laminasi komposit ditentukan dengan cara yang menunjukkan nomor, jenis, orientasi, dan susun urutan lapisan. Konfigurasi laminasi yang menunjukkan komposisi lapisannya disebut lay-up. Konfigurasi yang menunjukkan, selain komposisi lapisan, lokasi atau urutan yang tepat dari berbagai lapisan, disebut susunan (Isaac M. Daniel, 2006).

### 2.2.1 Material Orthotropik

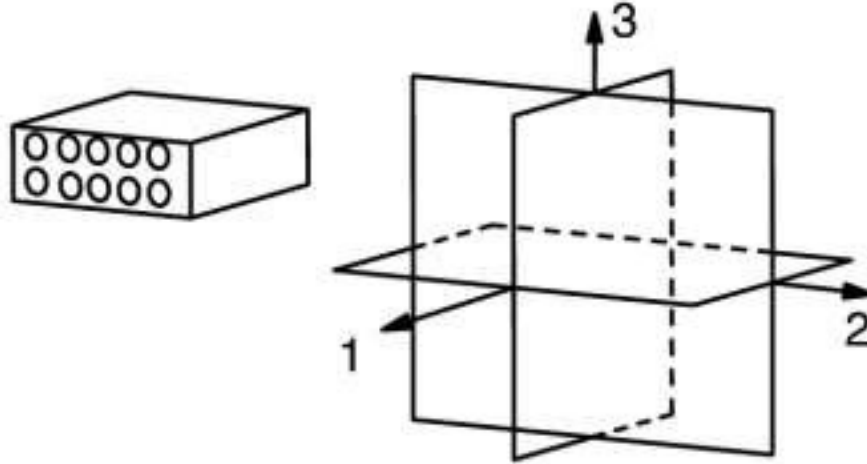
Untuk material orthotropik memiliki tiga bidang simetri yang mana bertepatan dengan bidang koordinat (gambar 2.8). Sebuah unidireksional dari *fiber-reinforced* komposit dapat dikategorikan dianggap sebagai salah satu material orthotropik. Satu bidang simetri tegak lurus dengan arah fiber, dan dua lainnya bisa berupa sepasang bidang dengan arah sejajar terhadap arah *fiber* dan ortogonal. Ada sembilan konstanta yang dibutuhkan untuk menjabarkan material orthotropik antara lain: tiga modulus young  $E_1, E_2, E_3$ , tiga *poisson ratio* dan tiga modulus geser  $G_{12}, G_{13}, G_{23}$ .

Apabila ada 2 bidang yang merupakan bidang simetri, yaitu bidang  $z = 0$ , dan  $x = 0$  maka material ini disebut dengan material *orthotropic* yang ditandai dengan tak saling berpengaruh atas sifat mekanik arah normal dan gesernya. Agar lebih jelas adapun gambar 2.4 dibawah ini sebagai informasi terkait

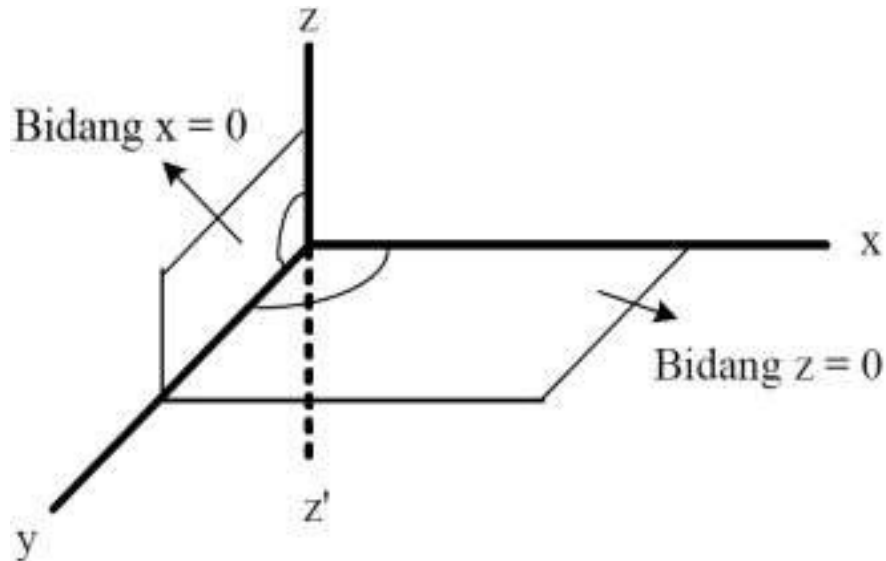


### 2.2.2 Lamina Isotropik Transversal

Pada material isotropik transversal hanya memiliki satu bidang simetri yaitu sumbu x saja. Sebagai contoh, arah *fiber* dari unidireksional *fiber-reinforced* dapat dipertimbangkan sumbu x-



**Gambar 2.3** Material orthotropic (Barbero, 2017)



**Gambar 2.4** Transformasi sumbu koordinat, jika ada 2 bidang merupakan bidang simetri, yaitu bidang  $z = 0$  dan bidang  $x = 0$  (Sulistijono, 2012)

*symmetry* atau searah. Seperti pada Gambar 2.3 dan 2.4. Apabila  $E_1 \neq E_2 \neq E_3$  maka material tersebut disebut sebagai material



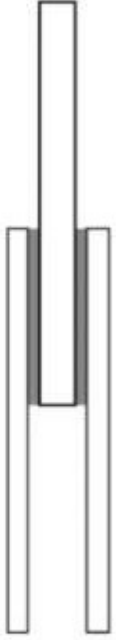

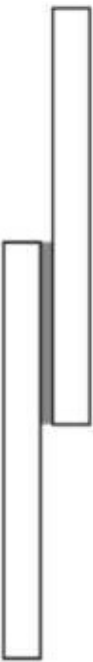

orthotropik. Material isotropik transversal dijelaskan oleh lima konstanta antara lain: modulus elastisitas  $E_1$ ,  $E_2$ , *poisson ratio*  $\nu_{12}$ ,  $\nu_{23}$  dan modulus geser  $G_{13}$ , dengan  $G_{13} = G_{12}$ ,  $\nu_{12} = \nu_{13}$  dan  $G_{23} = \frac{E_2}{2+(1+\nu_{23})}$  (Barbero, 2017).

### 2.3 Adhesive Joint

Adhesives dalam artian umum adalah sebuah zat organik atau nonorganik yang mampu menyatukan bahan secara permanen. Adhesive dalam dunia *engineering* adalah sebuah fenomena yang sangat penting dalam banyak proses serta adhesive memiliki peran yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik yang dimiliki. Hal ini sering difokuskan pada teknologi seperti ikatan structural, penyegelan, serta pemberian semen. Serta ikatan seperti ini sudah banyak digunakan untuk menggantikan penggunaan pengelasan, solder, dan sambungan paksa (Kuczmaszewski, 2006). Menurut Ebnesajjad (2008) adhesive adalah suatu material yang diaplikasikan pada permukaan benda dengan tujuan untuk menyambungkan keduanya secara permanen dengan proses tertentu. Berikut adapun beberapa jenis aplikasi adhesive dan deskripsi singkatnya.

Fungsi utama yang dimiliki oleh adhesive adalah menggabungkan dua bagian menjadi satu. Proses yang dilakukan ialah mentransmisikan tegangan dari daerah satu ke bagian daerah yang lain dengan cara mendistribusikan tegangan dengan lebih seragam daripada saat menggunakan pengencang mekanis. Penggunaan adhesives mampu memberikan area yang jauh lebih besar guna adanya proses transfer *stress*, dengan ini menjadikan konsentrasi tegangan menurun (Ebnesajjad, 2008). Adapun berikut Tabel 2.2; 2.3; dan Tabel 2.4 sebagai salah satu informasi dasar.

**Tabel 2.2** Jenis-jenis aplikasi sambungan (Prieto, 2013)

Gambar	Jenis Adhesif	Deskripsi
 <p>(b) double lap joint</p>	Double Lap Joint	Double Lap Joint merupakan salah satu konfigurasi simetrik yang mana kegagalan terjadi karena adanya <i>shear stress</i> .
 <p>(c) stepped joint</p>	Stepped Joint	Sambungan dengan jenis berikut adalah sebuah konfigurasi yang terbentuk dari berbagai jenis <i>step</i> . Kekuatan yang dimiliki sambungan tersebut bergantung pada panjang dan banyaknya <i>step</i> yang dimiliki. Konfigurasi ini mampu memiliki permukaan yang halus setelah melalui proses pengikatan.
 <p>(a) single lap joint</p>	Single Lap Joint	Sambungan adhesif jenis berikut ini merupakan sebuah konfigurasi yang asimetri, sebagai hasil momen bending yang diproduksi di adherend. Sambungan ini biasa digunakan dalam bidangnya karena paling <i>simple</i> dan tidak terlalu mahal dalam manufakturasinya.
 <p>(d) scarf joint</p>	Scarf Joint	Scarf joint mampu mengurangi <i>singularities</i> yang ada. Sambungan scarf ini juga memiliki keuntungan seperti <i>stepped</i> . Proses manufakturasinya sangat kompleks.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

**Tabel 2.3** General comparison of joining process characteristics (Petrie, 1999)

	<b>Welding</b>	<b>Brazing and Soldering</b>	<b>Mechanical fastening</b>	<b>Adhesive bonding</b>
	Joint Features			
Permanence	Permanent joints	Usually permanent (soldering may be non-permanent)	Threaded fasteners permit disassembly	Permanent joints
Stress distribution	Local stress points in structure	Fairly good stress distribution	Points of high stress at fasteners	Good uniform load distribution over joint area (except in peel)
Appearance	Joint appearance usually acceptable. Some dressing necessary for smooth surfaces	Good appearance joints	Surface discontinuities sometimes unacceptable	No surface marking. Joint almost invisible
Materials joined	Generally limited to similar material groups	Some capability of joining dissimilar metals	Most forms and combinations of materials can be fastened	Ideal for joining most dissimilar materials
Temperature	Very high temperature resistance	Temperature resistance	High temperature resistance	Poor resistance to elevated

resistance		limited by		temperature
		filler metal		s
Mechanical	Special	Fairly good	Special	Excellent
resistance	provision	resistance to	provision for	fatigue
	often	vibration	fatigue and	properties.
	necessary		resistance to	Electrical
	to enhance		loosening at	resistance
	fatigue		joints	reduces
	resistance			corrosion

Para engineer seharusnya mempertimbangkan serta menimbang factor-faktor berikut dalam memutuskan untuk penggunaan sambungan (Petrie, 1999). Disamping itu, adapun

**Tabel 2.4** Comparison of joining method (Petrie, 1999)

	<b>Riveting</b>	<b>Welding</b>	<b>Brazing</b>	<b>Adhesive bonding</b>
Preliminary machining	P	E	P	E
with thin metals	P	P	F	E
Limits on metal combinations	F	P	P	E
Surface preparation	E	G	F	P
Tooling	E	F	F	F
Need for access to joint	P	P	E	E
Heat requirements	E	P	P	F-G
Stress distribution	P	F-G	E	E
Sealing function	P	F	E	G
Rate of strength development	E	E	E	P
Distortion of assembly	F	P	F	E
Final machining	G-E	F	E	E
Final heat treatment	E	F	F	E
Solvent resistance	E	E	E	F

---

Effect of temperature	E	E	E	P
Ease of repair	G	P	P	F
Level of skill required	E	G	E	E

Notes: E – Excellent, G – Good, F – Fair, P – Poor

beberapa material seperti *plastics*, elastomer, dan beberapa logam tertentu (seperti aluminium dan titanium) lebih banyak menggunakan sambungan adhesif daripada menggunakan metode sambungan yang lain.

Desainer diharuskan untuk mempertimbangkan beberapa aturan dalam menentukan desain untuk sambungan. Berikut Tabel 2.5 adalah dasar rekomendasi desain geometri sambungan.

**Tabel 2.5** Aturan umum desain sambungan (Petrie, 1999)

---

No	Peraturan
1.	Pertahankan tegangan pada garis sambungan dalam skala seminimal mungkin
2.	Jika memungkinkan, desain sambungan agar beban menekan adhesif pada <i>shear</i> .
3.	Tegangan pada <i>peel</i> dan <i>cleavage</i> seminimal mungkin.
4.	Distribusi tegangan diatur secara merata pada seluruh area sambungan
5.	Kekuatan adhesif berbanding lurus dengan lebar sambungan. Menambah lebar sambungan maka memperkuat sambungan tersebut.
6.	Adhesif yang kaku umumnya bagus diterapkan pada <i>shear</i> , dan adhesif yang lunak lebih baik diaplikasikan pada <i>peel</i> .

---

7. Walaupun jenis adhesif yang kuat biasanya memiliki sambungan yang kuat juga, sebuah adhesif dengan elongasi yang tinggi serta kohesi yang rendah mampu memiliki sambungan yang kuat dalam aplikasinya dengan distribusi tegangan yang tidak merata.
8. Nilai *stiffness* dari adherend dan adhesif mempengaruhi kekuatan dari sebuah sambungan. Umumnya, semakin tinggi nilai *stiffness* berbanding lurus dengan adhesif, maka semakin rata distribusi tegangan pada sambungan serta menjadikan semakin tinggi ikatan sambungan.
9. Semakin tinggi nilai *Et* (modulus x *thickness*) dari adherend, semakin kecil kemungkinan deformasi ketika proses pembebanan, dan menguatkan sambungan.
10. Karakteristik yang penting adalah ketebalan sambungan yang merata, dan *void free* dari layer adhesif.

**Tabel 2.6** Sifat dari lima adhesif yang paling sering digunakan (Petrie, 1999)

	<b>Epoxy</b>	<b>Polyurethane</b>	<b>Modified acrylic</b>
Substrates bonded	Most	Most smooth, nonferrous	Most smooth, nonferrous
Service Temperature C	-55 to 121	-157 to 79	-73 to 121
Impact Resistance	Poor	Excellent	Good
Tensile shear, psi	2200	2200	3700
T-peel, piw	3	80	30
Heat Cure or mixing required	Yes	Yes	No

Solvent resistance	Excellent	Good	Good
Moisture resistance	Excellent	Fair	Good
Gap limitation, in. maximum	None	None	0.030
Odor	Mild	Mild	Strong
Toxicity	Moderate	Moderate	Moderate
Flammability	Low	Low	High
	<b>Cyanoacrylate</b>	<b>Anaerobic</b>	
Substrates bonded	Most nonporous metals or plastics	Metals, glass, thermosets	
Service Temperature C	-55 to 79	-55 to 149	
Impact Resistance	Poor	Fair	
Tensile shear, psi	2700	2500	
T-peel, piw	3	10	
Heat Cure or mixing required	No	No	
Solvent resistance	Good	Excellent	
Moisture resistance	Poor	Good	
Gap limitation, in. maximum	0.010	0.025	
Odor	Moderate	Mild	
Toxicity	Low	Low	
Flammability	Low	Low	



**Tabel 2.7** Keuntungan dan kerugian dalam penggunaan lima adhesif paling sering digunakan (Petrie, 1999)

	<b>Epoxy</b>	<b>Polyurethane</b>	<b>Modified acrylic</b>
<b>Advantages</b>	High Strength Good solvent resistance Good gap filling properties Good elevated temperature resistance Wide range of formulations Relatively low cost	Varying cure times Tough Excellent flexibility and low temperature One or two component, room temperature or elevated temperature cure Moderate costs	Good flexibility Good peel and shear strengths No mixing required Will bond dirty (oily) surfaces Room temperature cure Moderate costs
<b>Disadvantages</b>	Exothermic reaction Exact properties needed for optimum properties Two component formulations require exact measuring and mixing One component formulations often require	Both uncured and cured are moisture and sensitive Poor elevated temperature resistance May revert with heat and moisture Short pot life Special mixing and dispensing equipment required	Low hot temperature strength Slower cure than with anaerobics or cyanoacrylate Toxic Flammable Odor Limited open time Dispensing equipment required

---

refrigerated  
storage and an  
elevated  
temperature  
cure  
Short pot life

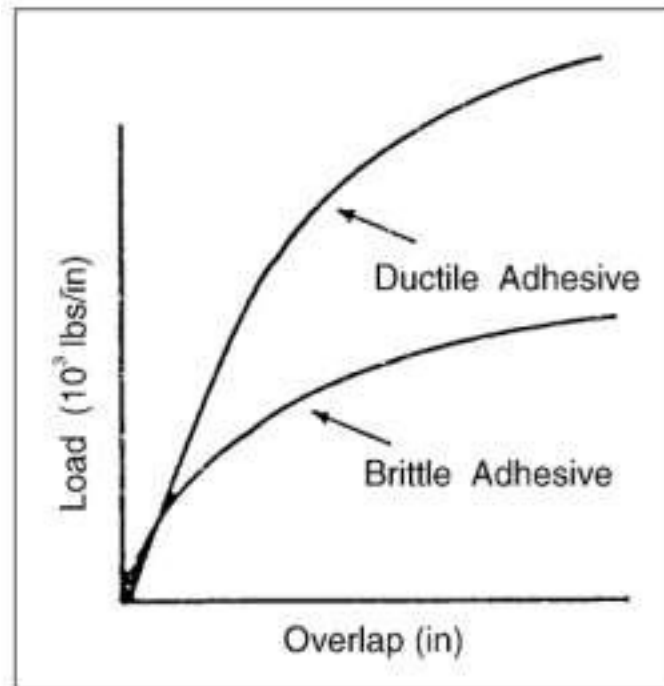
---

	<b>Cyanoacrylate</b>	<b>Anaerobic</b>
Advantages	Rapid room temperature cure One component High tensile strengths Long pot life Good adhesion to metal Dispense easily from package	Rapid room temperature cure Good solvent resistance Good elevated temperature resistance No mixing Indefinite pot life Nontoxic High strength on some substrates Moderate cost
Disadvantages	High cost Poor durability on some surfaces Limited solvent resistance Limited elevated temperature resistance Bonds to skin	Not recommended for permeable surfaces will not cure in air as a wet fillet Limited gap cure

---

### 2.3.1 Pengaruh Panjang Overlap Terhadap Kekuatan Sambungan

Hasil penelitian Pero (2007) meningkatkan panjang overlap membuat kekuatan sambungan menjadi meningkat dikarenakan meningkatnya daerah sambungan. Disamping itu



**Gambar 2.5** Pengaruh panjang *overlap* pada *failure load* menggunakan *ductile* dan *brittle* adhesive (Petrie, 1999)

pada penelitian yang dilakukan oleh Hart dan Smith (1994) dikatakan bahwa nilai dari overlap yang diterapkan harus memiliki nilai disekitar 30 kali dari nilai ketebalannya. Adanya hasil untuk memperkuat statis dari sambungan adhesive oleh (Shaikh, Anekar, Kanase, Patil, & Tarate, 2017) untuk memilih overlap yang Panjang dibandingkan dengan overlap yang pendek. Hal ini bertujuan untuk memastikan tegangan geser yang berada pada pertengahan overlap itu rendah sehingga mampu mencegah adanya *creep*. Penggunaan overlap yang pendek menjadikan adanya kegagalan pada *creep-rupture*. Telah dikatakan bahwa

adanya overlap ini memberikan pengaruh yang sangat besar pada kekuatan adhesive, sifat mekanik dari adhesif, sifat mekanik ketebalan, dan juga proses penyambungannya. (Shaikh, Anekar, Kanase, Patil, & Tarate, 2017).

### 2.3.2 Pengaruh Ketebalan Adherend Terhadap Kekuatan Sambungan

Variasi ketebalan adherend telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan sambungan. Hasil dari penelitian yang dilakukan Lee, Chun, dan Eudora (2013) menyatakan bahwa adanya pengaruh yang diberikan oleh ketebalaan *adherend* terhadap *tensile strength* dan *failure mechanism*. Bukti bahwa semakin ekuivalen nilai distribusi yang diberikan oleh tegangan dan regangan dari ujung akhir menuju pertengahan bagian dari overlap dengan meningkatnya juga ketebalan *adherend*. Ini merupakan salah satu alasan *adherend* pada panjang *overlap* yang sama (Aydin, Özel, & Temiz, 2012). Selain itu, ketebalan dari *adherend* dapat mempengaruhi nilai maksimum dan minimum dari tegangan geser, selain itu adapun hasil penelitian oleh Zhang dan Wang (2016) dengan adanya variasi peningkatan pada ketebalan *adherend* terjadi penurunan nilai maksimum pada tegangan geser serta meningkatkan ketebalan *adherend* mampu mengakibatkan meningkatnya nilai *stiffness* pada sambungan.

### 2.3.3 Pengaruh Ketebalan Adhesif

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Adam (2007), kekuatan sambungan yang dihasilkan memiliki nilai tertinggi ketika ketebalan adhesive pada rentang 0.05 sampai 0.5 mm. Dikatakan oleh Crocombe (1989), sambungan single lap joint yang tebal menyebabkan rendahnya kekuatan sambungan. Analisa elastis menunjukkan distribusi stress pada adhesif yang tipis lebih uniform dibandingkan adhesif yang tebal. Gleich (2001), dengan metode elemen hingga mendapatkan *interface stress* meningkat ketika adhesif semakin tebal. Adams dan

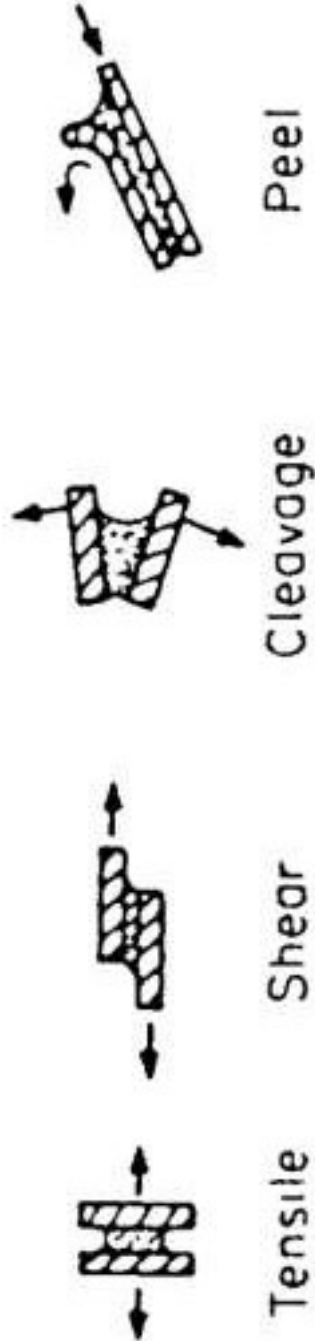
---

Peppiatt (1974), adhesif yang tebal mengandung cacat seperti *void* dan *microcracks*.

#### **2.3.4 Pengaruh Panjang Overlap Terhadap Ketahanan Vibrasi**

Dengan menjadikan nilai natural frekuensi menjadi maksimal serta meminimalisir atau meminimalkan nilai energi modal strain dibutuhkan panjang overlap untuk diperbesar selagi menurunnya ketebalan pelat (Apalak, Gunesa, & Yildirim, 2006). Adapaun penelitian yang dilakukan oleh Shailendra (2015) menghasilkan bahwa adanya peningkatan yang dialami oleh system untuk natural frekuensi dimana diikuti juga dengan meningkatnya panjang overlap. Hal ini diakibatkan karena kecenderungan yang ada pada sambungan untuk menjadi kaku dengan adanya peningkatan pada panjang overlap.

### 2.3.5 Pengaruh Ketebalan Adherend Terhadap Ketahanan Vibrasi



Gambar 2.6 Empat jenis dasar tipe tegangan dalam adhesif

**Tabel 2.8** Perbandingan penggunaan tipe tegangan (Petrie, 1999)

NO	Tipe Tegangan	Deskripsi
1.	Tensile Stress	<p>Untuk <i>tensile stress</i> membutuhkan desain yang sesuai sehingga mampu menghasilkan ketahanan yang bagus pada pembebanan <i>tensile</i> hal ini diakibatkan karena beban lebih mudah untuk didistribusikan. Namun jika <i>crack</i> yang kecil terjadi pada daerah yang paling lemah kekuatannya, yaitu ujung daerah dengan potensi tegangan yang paling tinggi akan mengakibatkan terjadinya propagasi dengan sangat cepat dan mampu memicu terjadinya kegagalan pada sambungan. Pembebanan <i>tensile</i> sebaiknya didesain dengan pembatasan fisik sehingga dapat dipastikan <i>continual axial loading</i>.</p>
2.	<i>Shear Stress</i>	<p>Tegangan <i>shear</i> muncul ketika gaya diberikan pada bidang dari adhesive yang berusaha untuk memisahkan diri dari <i>adherend</i>. Sambungan tergantung pada kekuatan dari adhesive geser yang relatif mudah untuk dibuat serta sering digunakan pada praktiknya. Adhesive umumnya kuat saat tegangan berada pada geser, hal ini dikarenakan seluruh area ikatan berkontribusi pada kekuatan dari sambungan dan substrat relatif mudah untuk diatur ditengah.</p>

- Tegangan geser dihitung dengan cara yang hampir sama dengan *tensile*, yaitu *force per bonded area*, psi.
3. *Cleavage and Peel Stress* Pembelahan dan pengelupasan tegangan merupakan hal-hal yang tidak diinginkan pada adhesive. *Cleavage* dapat diartikan sebagai tegangan yang terjadi ketika gaya pada salah satu ujung susunan ikatan yang kaku dimana mampu memisahkan adherend. Sedangkan pengelupasan hampir sama dengan pembelahan namun ini hanya terjadi pada sambungan dimana satu atau kedua adherendnya fleksibel. Sambungan pada *cleavage* dan *peel* memberikan kekuatan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tegangan geser hal ini dikarenakan tegangan konsentrasi hanya berada pada satu daerah kecil dari total area ikatan.
- 

## 2.4 Graphite Fiber

Serat karbon dan grafit adalah bentuk serat yang paling umum digunakan dalam struktur komposit berkinerja tinggi. Mereka dapat diproduksi dengan berbagai properti. Mereka umumnya menunjukkan kekuatan tarik dan tekan yang unggul, memiliki moduli tinggi, memiliki sifat kelelahan yang sangat baik, dan tidak menimbulkan korosi. Meskipun istilah ini sering digunakan secara bergantian, serat grafit menjadi sasaran perlakuan panas di atas 3000 °F (1650 °C), memiliki pengurutan atom tiga dimensi, memiliki kandungan karbon lebih besar dari 99 persen, dan memiliki modulus elastis (E) lebih besar dari 50 msi

---



(345 GPa). Serat karbon memiliki kandungan karbon yang lebih rendah (93 hingga 95 persen) dan dipanaskan pada temperatur yang lebih rendah. Serat karbon sebenarnya terdiri dari bahan grafit grafit dan nongraphitic. fase graphitic adalah dalam bentuk kristalit dengan dimensi diskrit yang dapat diorientasikan berbeda satu sama lain, dengan serat karbon dengan kekakuan tinggi yang mengandung sebagian besar grafit yang disejajarkan dengan arah serat (Campbell, 2010).

## 2.5 Epoxy Resin

Epoksi adalah bahan matriks yang paling umum untuk komposit dan perekat berperforma tinggi. Mereka memiliki kombinasi kekuatan, daya rekat, susut rendah, dan keserbagunaan pemrosesan yang luar biasa. Matriks dan perekat epoksi komersial dapat sesederhana satu epoksi dan satu bahan pengawet; namun, sebagian besar mengandung epoksi besar, satu hingga tiga epoksi kecil, dan satu atau dua bahan pengawet. Epoxies minor ditambahkan untuk memberikan kontrol viskositas, memberikan sifat suhu yang lebih tinggi, memberikan penyerapan kelembaban yang lebih rendah atau untuk meningkatkan ketangguhan.

## 2.6 Optimasi Komposit

Untuk aplikasi struktural bahan komposit meningkat di beberapa bidang teknik seperti sifat kekakuan tinggi dan rasio kekuatan terhadap berat, umur kelelahan yang panjang, sifat termal yang unggul, dan ketahanan korosif adalah salah satu yang paling menguntungkan. Jenis umum yang termasuk pada komposit laminat ialah nanokomposit beserta dengan struktur komposit yang memiliki keunggulan khusus. Bahkan struktur komposit biasanya disesuaikan, tergantung pada tujuan spesifik, dengan memilih bahan penyusun individu dan fraksi volumenya, sudut orientasi serat, dan ketebalan dan jumlah laminat, serta prosedur fabrikasinya. Untuk mencapai hasil terbaik, model optimasi yang memadai harus diimplementasikan untuk menemukan solusi optimal yang praktis serta memuaskan untuk serangkaian kendala desain yang dimiliki. Beberapa masalah

dapat diatasi, termasuk desain struktural untuk stabilitas maksimum, frekuensi alami maksimum, dan massa minimum atau kekakuan maksimum yang tunduk pada batasan kekuatan, defleksi, dan kendala samping. Variabel desain yang relevan termasuk dimensi geometris dan sifat material juga. Contoh numerik diberikan pada akhir bab ini untuk menunjukkan aplikasi nyata dan praktis dari struktur komposit yang optimal (Maalawi, 2018).

## 2.7 Mikromekanik

Bila dilihat pada skala dimensi serat, komposit memiliki keunggulan serat yang tinggi dan kaku. Sifat fiber yang mudah patah dapat diperkuat dengan adanya matriks. Dengan adanya kemampuan matriks mentransfer tegangan yang memungkinkan pengembangan mekanisme kegagalan banyak pada tempat didalam komposit. Di sisi lain, serat-serat tersebut menunjukkan kekuatan yang relatif tinggi. Konsentrasi tegangan yang berada di sekitar serat mengurangi kekuatan tarik transversal. Material konvensional lebih sensitif terhadap struktur mikro dan penyimpangan lokal yang memengaruhi sifat getas atau ulet material (Isaac M. Daniel, 2006).

Komposit laminat berserat disintesis menggunakan dua atau lebih sebuah lamina. Lamina diorientasikan dengan sedemikian rupa agar mampu menghasilkan sifat mekanik yang dibutuhkan. Dengan demikian, seseorang mengeksplorasi anisotropi yang melekat dari komposit berserat untuk merancang bahan komposit dengan sifat yang sesuai. Sebagai salah satu contoh dapat diketahui sifat mekanik suatu komposit dengan syarat diketahuinya komponen penyusunnya. Sementara mikromekanik sangat berguna dalam menganalisis perilaku komposit (Chawla, 1997).

Mikromekanik komposit dapat digunakan untuk memprediksi *properties* dari sebuah komposit dengan menggunakan *rule of mixtures* pada Persamaan 2.1; 2.2; 2.3; 2.4; 2.5; dan 2.6 :

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.1)$$

$$E_2 = \frac{E_f E_m}{E_f V_m + E_m V_f} \quad (2.2)$$

$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{G_f V_m + G_m V_f} \quad (2.3)$$

$$v_{12} = v_f V_f + v_m V_m \quad (2.4)$$

$$\rho = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (2.5)$$

$$\frac{v_{21}}{E_2} = \frac{v_{12}}{E_1} \quad (2.6)$$

Dimana  $E_1$  adalah longitudinal modulus elastisitas,  $E_2$  adalah modulus elastisitas transversal,  $G_{12}$  adalah modulus geser,  $v_{12}$  dan  $v_{21}$  adalah rasio poisson mayor dan minor dan  $\rho$  adalah densitas (Apalak & Yildirim, 2009).

## 2.8 Persamaan Gerak Dinamis

Persamaan gerak dinamis suatu struktur dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan Lagrange dan prinsip Hamilton. Persamaan Lagrange seperti pada Persamaan 2.7 :

$$\frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right\} - \left\{ \frac{\partial L}{\partial q} \right\} + \left\{ \frac{\partial R}{\partial \dot{q}} \right\} = \{0\} \quad (2.7)$$

Sehingga didapatkan persamaan 2.8 dan 2.9

$$\det([K] - \lambda^2 [M]) = \{0\} \quad (2.8)$$

$$\lambda = \omega^2 \quad (2.9)$$

Setiap *eigenvalue*  $\lambda_i$ , dikaitkan dengan  $Q_i$  *eigenvector* yang disebut sebuah mode alami. Natural frekuensi didapatkan dengan  $\omega$ . Metode ekstraksi *block lanczos eigenvalue* telah digunakan untuk menghitung *eigenvalue* dan *eigenvectors* karena model memiliki tingkat kebebasan yang besar (Cook, 1981).

## 2.9 Lap Shear Stress

Adhesif umumnya sangat kuat ketika tegangan pada *shear* dikarenakan seluruh ikatan serta sambungan kontribusi terhadap kekuatan dari sambungan tersebut seperti pada Persamaan 2.10 (Petrie, 1999).

$$\tau = \frac{P}{bl} \quad (2.10)$$

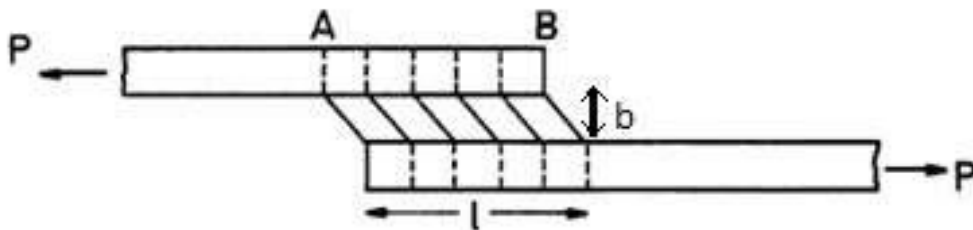
Dimana:

$P$  = Beban yang diberikan

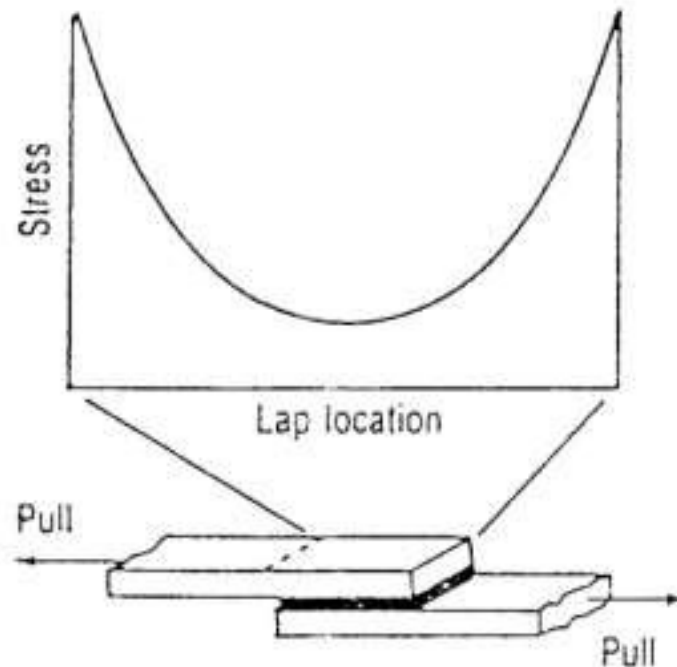
$b$  = Lebar sambungan

$l$  = Panjang Overlap

$\tau$  = Adhesive shear stress



**Gambar 2.7** Skema pembebanan geser pada single lap joint



**Gambar 2.8** Distribusi tegangan pada adhesif ketika tegangan berada pada shear (Adams, 2006)

Penggunaan *lap shear stress* seperti pada Gambar 2.8 merupakan uji yang digunakan dengan tujuan untuk menghitung kekuatan dari adhesif pada *shear*. Uji ini salah satu yang paling sering digunakan karena specimen tidak mahal, mudah untuk dibuat, dan mudah atau simpel saat diuji. Standard yang digunakan adalah ASTM D 3165 (Petrie, 1999).

Berdasarkan Goland dan Reissner (William & Adams, 1984), momen bending didapat dengan persamaan 2.11 dan 2.12 :

$$M_o = \frac{P\delta}{2} \quad K = 1 \quad (2.11)$$

$$M_o = \frac{KP\delta}{2} \quad K < 1 \quad (2.12)$$

Dimana:

P = Gaya yang diberikan (N)

$K$  = Bending Moment Factor

$\delta$  = Adherend Thickness (mm)

Rotasi tidak terjadi pada overlap jika pembebanan yang diberikan pada sambungan terlalu kecil, dalam hal ini  $M_0 = \frac{P\delta}{2}$  dan  $K=1$  ditunjukkan oleh rumus 2.12. Apabila ada *force* meningkat, rotasi overlap juga mengalami peningkatan dengan menunjukkan garis aksi beban akan semakin dekat dengan garis tengah adherend, dimana hal ini dapat menyebabkan penurunan nilai faktor momen bending (Soliman G. N., 1995). Didapatkan sumber dari Golland dan Reissner (J, 1987) adanya pemberian nilai faktor momen bending mampu didapatkan dengan Persamaan 2.13 :

$$\frac{1}{K} = 1 + 2(2)^{\frac{1}{2}} \tanh \left\{ \left( \frac{3}{2} (1 - \nu_s^2) \right)^{\frac{1}{2}} \frac{l_a}{2d} \left( \frac{F}{E_s b d} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (2.13)$$

Dimana:

$\nu_s$  = Poisson Rasio Adherend

$l_a$  = Panjang Overlap

$d$  = Ketebalan Adherend

$F$  = Gaya

$E_s$  = Modulus Elastisitas Adherend

$b$  = Lebar Sambungan

## 2.10 Penelitian Sebelumnya

**Tabel 2.9** Hasil penelitian sebelumnya

No	Peneliti	Metode	Hasil
1	Diaz & Romera (2009)	Aplikasi metode elemen hingga untuk evaluasi terhadap nilai Stress and Strain pada	Simulasi numerik untuk tiga dimensi dinyatakan layak adanya korelasi antara sifat




---



---

		<i>adherends</i> dan diluar bidang.
		<i>adhesives</i> layer Respon structural tidak dipengaruhi secara signifikan dengan kenaikan angka pada elemen layer.
2	Goncavales, Moura, & Castro (2002)	Metode elemen Analisa pada hingga pada tiga material elasto-plastic mengalami dimensi untuk plastic mengalami Analisa tegangan penurunan pada dari <i>adhesives joint</i> tegangan normal menggunakan pada <i>interface</i> . Hal ABAQUS untuk ini dipengaruhi oleh mendapatkan variasi <i>plastification</i> yg tegangan pada mampu menurunkan ketebalan <i>adhesives</i> nilai konsentrasi dan juga distribusi tegangan. Dimasa tegangan. Dimasa yang akan datang permodelan ini mampu untuk dilakukan prediksi untuk kekuatan dari <i>adhesives joints</i> .
3	Adams & Peppiat (1974)	Analisa tegangan Analisa ini pada <i>adhesives-bonded joints</i> didukung dengan empat parameter menggunakan diantaranya adalah metode elemen <i>adherend length</i> , hingga dengan Panjang <i>overlap</i> , beberapa parameter <i>spew size</i> , ketebalan lapisan <i>adhesives</i> ,

---



---

- serta ketebalan *adherend*.  
Dinyatakan hasil dari tegangan normal adalah empat kali lebih besar sama halnya seperti tegangan geser.
- 4 Chuan & Cheng (2019) Analisa *interfacial stress* pada ikatan adhesives *lap joint* menggunakan metode elemen hingga dengan software ANSYS untuk mendapatkan Analisa pada maksimum *shear and peel stress* pada adhesives. Serta memahami peran tegangan pada ikatan adhesives untuk menentukan struktur mana yang aman dan mengalami kegagalan.
- Analisa *interfacial stress* didukung dengan parameter untuk material dan geometri pada *double lap joint*. Hasil menunjukkan bahwa pada *shear and peeling stress* mengalami peningkatan secara cepat pada akhir dari daerah ikatan. Tingginya konsentrasi tegangan mampu memicu adanya kegagalan pada *joint*. Kekuatan dari *double lap joint* dapat ditingkatkan dengan meningkatkan





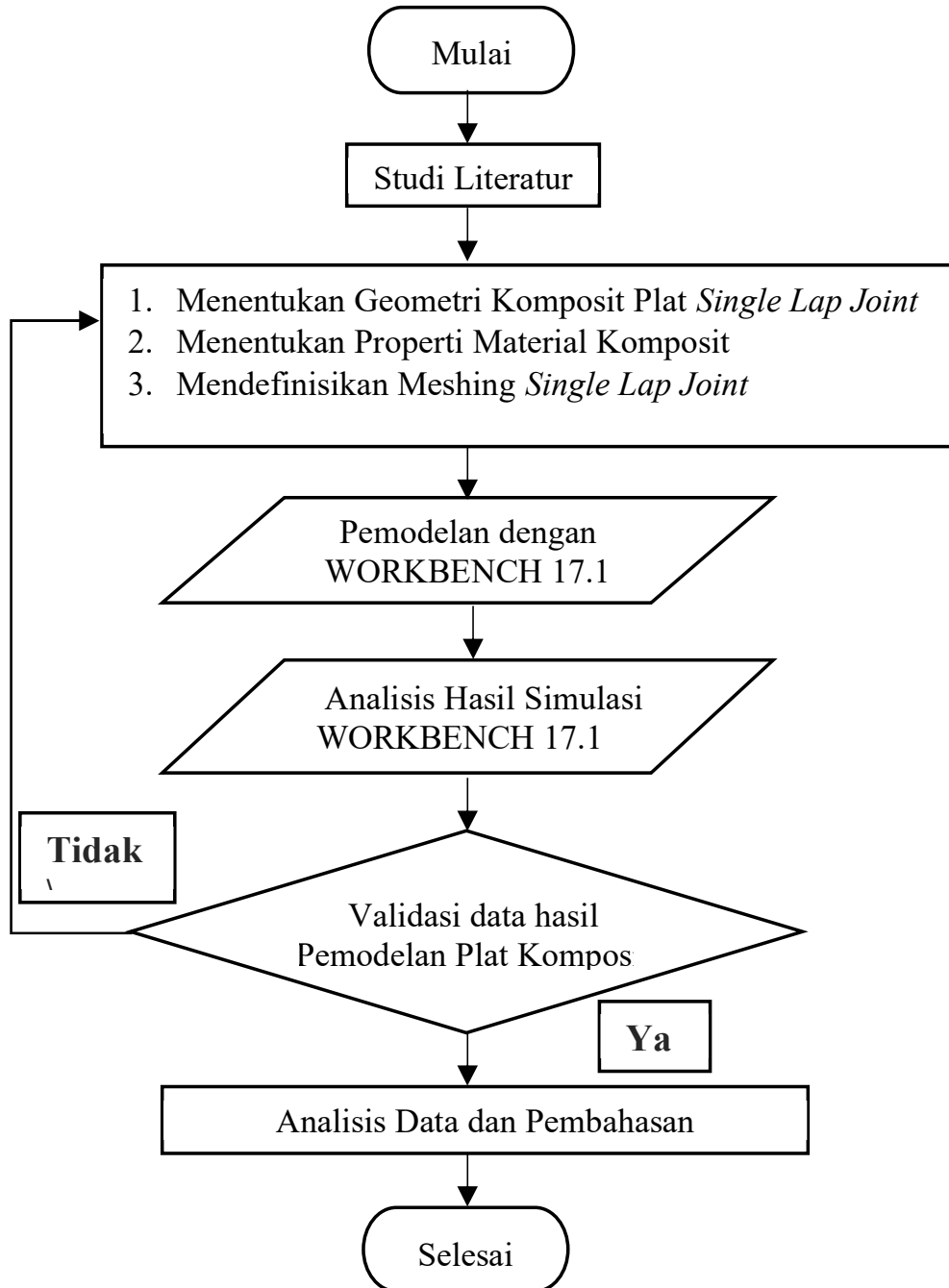
- ketebalan dari *adhesives*. Dengan menggunakan *Euler's theory* dan teori elastisitas, hasil Analisa numerik menyimpulkan bahwa semakin tebal *adhesives* maka semakin kecil konsentrasi tegangan akan terjadi pada akhir dari ikatan.
- 5 F Kadioglu, dkk (2018) Analisa pengaruh perbedaan Panjang *overlap* dan ketebalan *adherend* pada performa *adhesives bonded joint* terhadap pengaruh Tarik dan *bending loadings* menggunakan material woven carbon fiber-reinforced polymer matrix composite. Pada setiap mode beban, *tensile*, dan bending memiliki perbedaan performa mekanik. Pada beban *tensile*, adanya peningkatan Panjang *overlap* menyatakan adanya peningkatan performa pada *joint* kecuali satu variable yang mengalami penurunan kekuatan. Untuk sambungan pada empat titik bending,

- parameter yang lebih berpengaruh adalah ketebalan *adherend* dibandingkan dengan panjang *overlap* serta ketebalan *adherend* berpengaruh terhadap peningkatan performa sebesar 100%
- 6 M Demiral, dkk (2019) Analisa pengaruh panjang *overlap* pada kekuatan baut, ikatan, dan *hybrid* SLJ dengan perbedaan material *adherend* serta ketebalannya. Digunakan dua jenis material berbeda, tiga jenis ketebalan *adherend* yang berbeda, serta dua panjang *overlap*. Aplikasi metode elemen hingga menggunakan software ABAQUS. Hasil untuk SLJ adanya rotasi dari baut lebih besar yang khususnya pada ketebalan yang paling rendah dan *overlap* yang paling pendek, rotasi ini menyebabkan bearing pada lapisan *adherend* meningkat. Untuk hasil yang paling besar, rotasi dari baut tidak mengalami banyak perubahan atau bahkan nilainya tetap.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

---

### 3.2 Desain Penelitian

Nilai-nilai variabel yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan teori tentang plat komposit *single lap joint* dan penelitian sebelumnya. Adapun penjabaran desain penelitian yang meliputi variabel respon dan proses.

#### 3.2.1 Variabel Beban

Diberikan tipe beban pada pelat komposit sebesar 1,5 mm dengan bentuk *displacement* yang ditarik searah dengan benda kerja yang dimiliki.

#### 3.2.2 Variabel Respon

Variabel respon merupakan variable yang nilainya dipengaruhi oleh variable proses, dimana hasilnya didapatkan setelah melakukan simulasi dan validasi. Variable respon dalam penelitian ini adalah:

1. *Natural Frequency*  
Frekuensi Natural yang diharapkan dari mendapatkan nilai yang paling maksimum sehingga didapatkan ketahanan vibrasi yang optimum.
2. *Shear Strength*  
*Shear strength* yang diharapkan mendapatkan nilai yang paling maksimum sehingga kekuatan sambungan dapat optimum.
3. *Equivalent Stress*  
Hasil dari *equivalent stress* yang dimiliki ditujukan agar dapat memvalidasi bentuk grafik dari *shear stress* selama proses simulasi

#### 3.2.3 Variabel Proses

Variabel proses adalah variabel yang nilainya ditentukan dan divariasikan dengan tujuan mendapatkan hasil dan analisa tentang pengaruh variabel proses terhadap variabel respon. Variabel proses yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah *overlap length* dan *thickness*.

---

### 3.3 Spesifikasi Material

Berikut ini merupakan penjelasan detail mengenai spesifikasi dari material yang digunakan dalam penelitian ini.

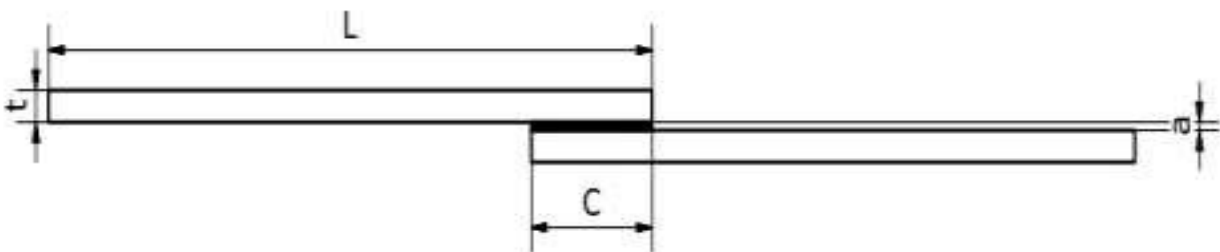
#### 3.3.1 Material Komposit

Material komposit yang digunakan adalah material grafit fiber dengan matriks epoxy resin. Adhesive joint material yang digunakan ialah epoxy. Grafit merupakan salah satu bentuk serat yang paling umum digunakan dalam struktur komposit dengan kinerja baik. Mereka dapat diproduksi dengan berbagai properti. Epoksi adalah bahan matriks umum untuk komposit dan perekat baik. Mereka memiliki kombinasi kekuatan, daya rekat, dan susut rendah. spesifikasi material seperti pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1** Sifat mekanik dari grafit fiber, epoxy, dan lamina untuk ( $V_f = 63.5\%$ ) (Apalak & Yildirim, 2009).

No.	Property	Fiber	Epoxy	Lamina	Unit
1.	$\rho$	1743.834	1264.972	1552.289	Kg/m <sup>3</sup>
2.	$E_{11}$	259.105	4.344	157.218	GPa
3.	$E_{22}, E_{33}$	13.927	4.344	9.309	GPa
4.	$G_{12}, G_{13}$	50.952	1.597	5.723	GPa
5.	$G_{23}$	8.274	1.597	3.475	GPa
6.	$\nu_{12}, \nu_{13}$	0.26	0.36	0.3	
7.	$\nu_{23}$	0.33	0.36	0.34	

#### 3.3.2 Desain Pelat Komposit Single Lap Joint



**Gambar 3.2** Tampak samping desain sambungan pelat single lap joint

Dimana :

C = Panjang overlap

L = Panjang pelat 160 mm

t = Ketebalan pelat

a = Ketebalan adhesive 0,2 mm

### 3.4 Peralatan

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan adalah perangkat lunak (*software*) ANSYS WORKBENCH 17.1. Dalam pengoperasian ANSYS WORKBENCH 17.1 modul yang digunakan dalam penelitian ini adalah *static structural* dan *modal analysis*.



**Gambar 3.3** Start ANSYS workbench 17.1

Semua bentuk pengerjaan dikerjakan dalam satu sistem operasi karena *software* ini mendukung semua simulasi dan analisis sekaligus. Dimulai dari geometri, menentukan *properties material* dari proses pembebanan, meshing, hingga mendefinisikan kontak semua dikerjakan dalam *software*.

### 3.5 Variasi Desain Geometri

Dalam penelitian ini terdapat variasi geometri pada silinder komposit tipe single lap joint yaitu panjang overlap dan ketebalan

silinder. Adapun variasi geometrinya pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Variasi geometri pelat komposit

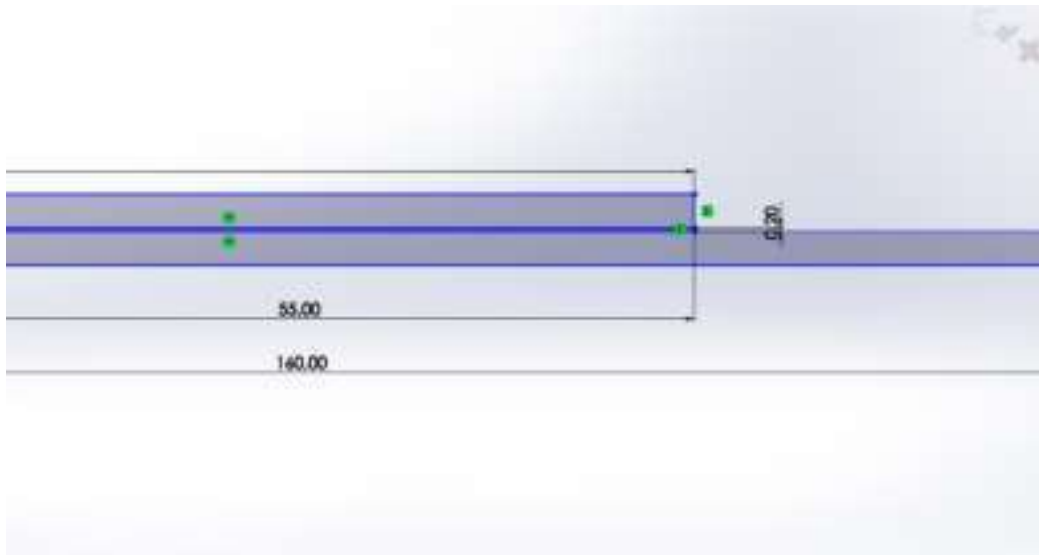
No.	Ketebalan Adhesif (mm)	Panjang Pelat (mm)	Ketebalan Pelat (mm)	Panjang Overlap (mm)
Joint 1	0.2	160	2	55
	0.2	160	2	60
	0.2	160	2	65
Joint 2	0.2	160	2	55
	0.2	160	2.27	60
	0.2	160	2.54	65



### 3.5.1 Panjang Overlap

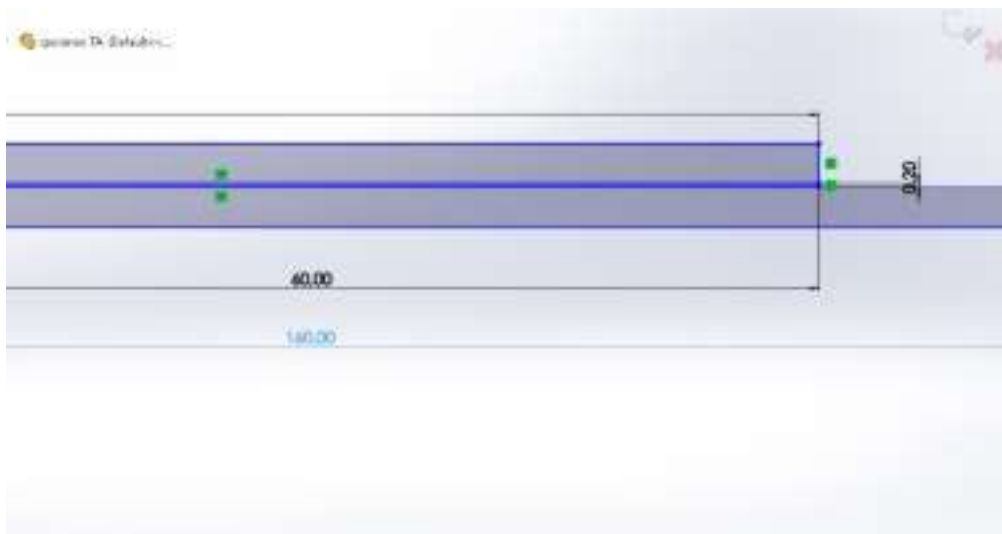
Berikut merupakan hasil Gambar 3.4; 3.5; dan 3.6 merupakan material sebelum dilakukan simulasi

a. Overlap 55 mm



**Gambar 3.4** Desain tampak depan overlap 55 mm

b. Overlap 60 mm



**Gambar 3.5** Desain tampak depan overlap 60 mm

c. Overlap 65 mm

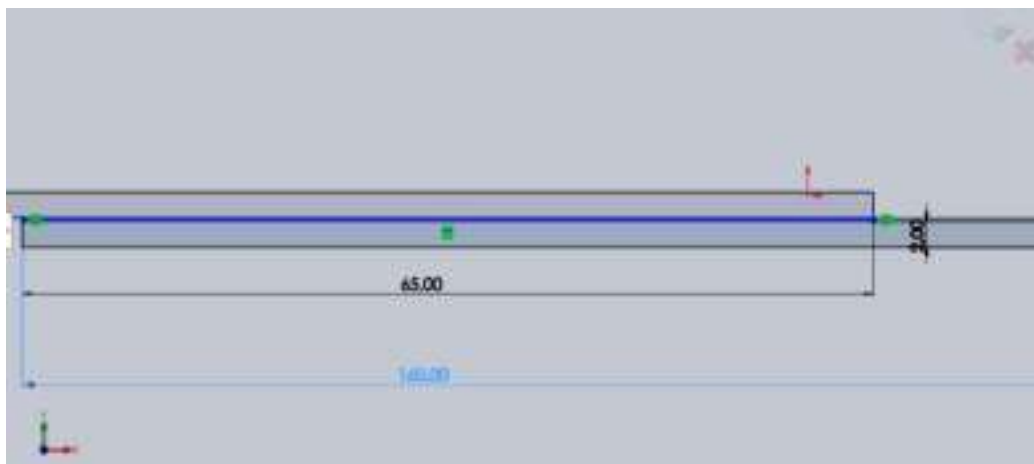


**Gambar 3.6** Desain tampak depan overlap 65 mm

### 3.5.2 Ketebalan Pelat

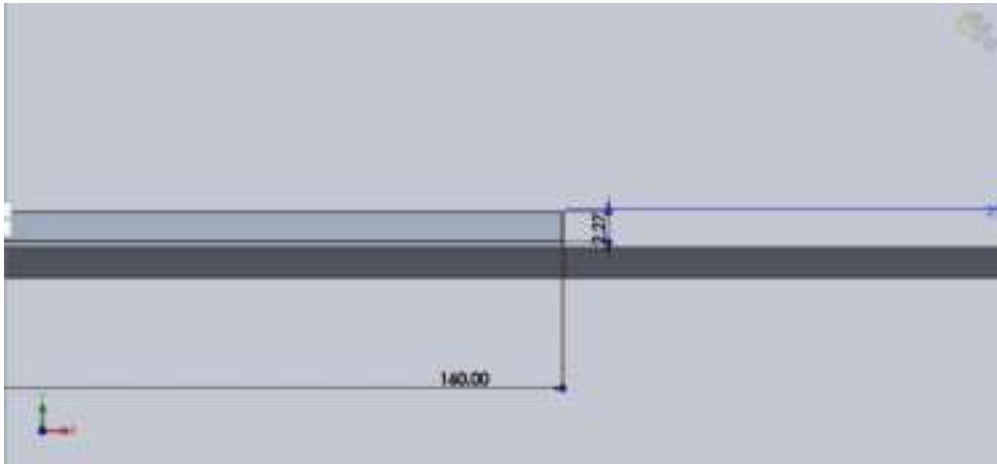
Berikut Gambar 3.7; 3.8; dan 3.9 merupakan hasil gambar material sebelum dilakukan simulasi

a. Ketebalan 2 mm



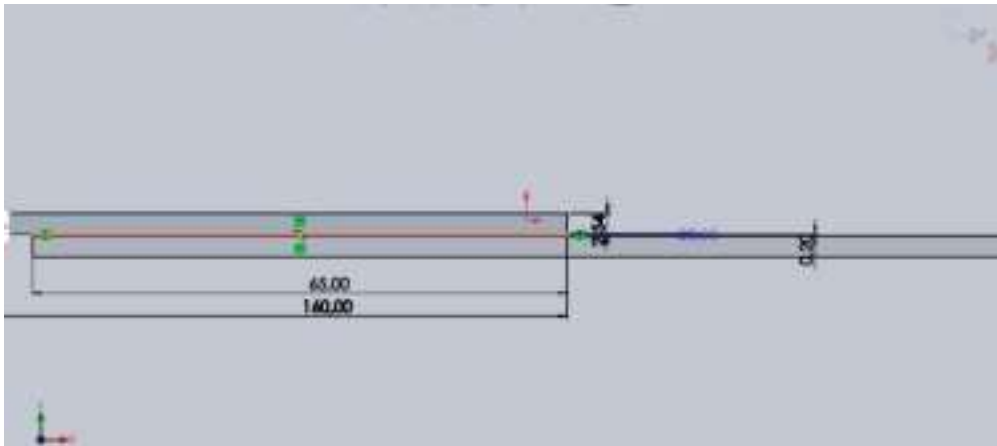
**Gambar 3.7** Desain tampak depan deketebalan pelat 2 mm

b. Ketebalan 2.27 mm



**Gambar 3.8** Desain tampak depan ketebalan pelat 2.27 mm

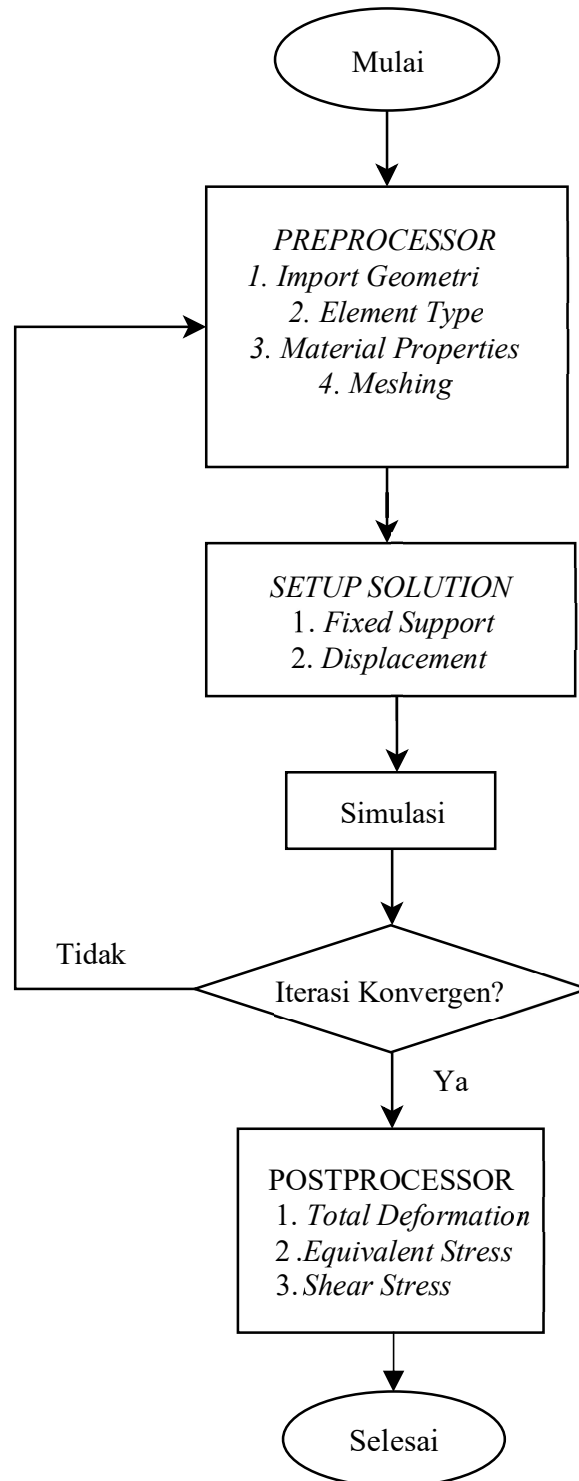
c. Ketebalan 2.54 mm



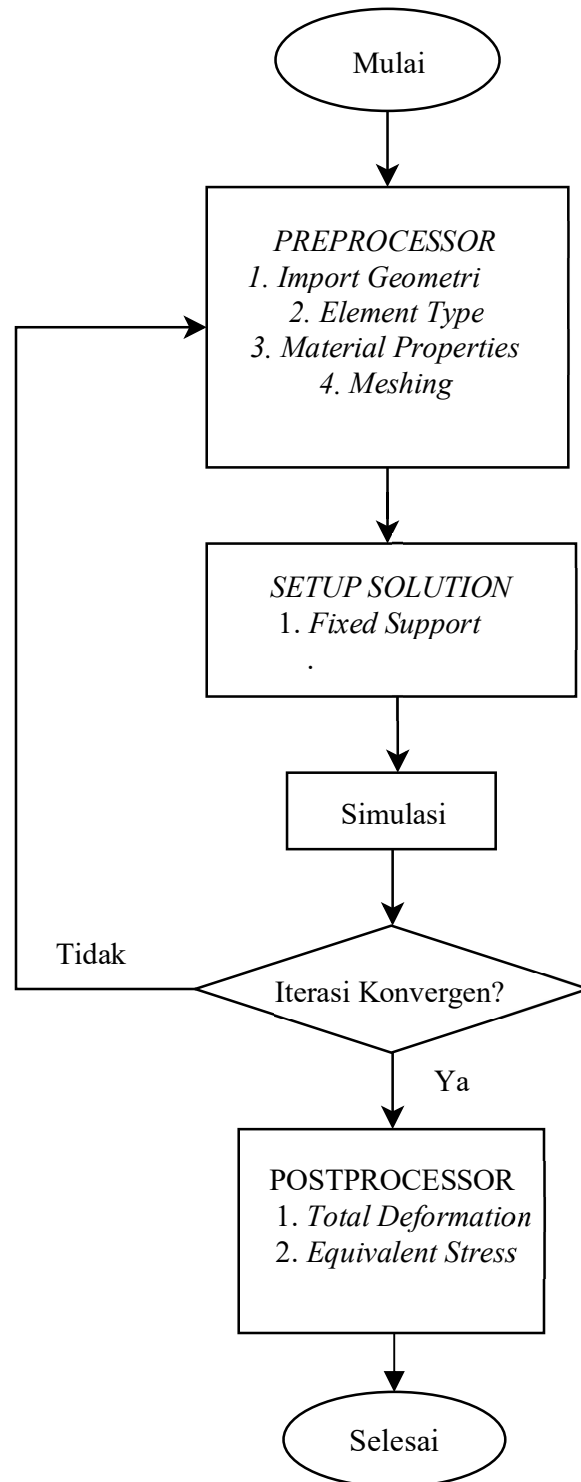
**Gambar 3.9** Desain tampak depan ketebalan pelat 2.54 mm

### 3.6 Permodelan dengan ANSYS Fluent 17.1

Diagram alir dari simulasi *static structural* dan *modal* dengan menggunakan ANSYS Workbench 17.1 yaitu sebagai pada Gambar 3.10 dan 3.11 :



**Gambar 3.10** Diagram alir simulasi static structural

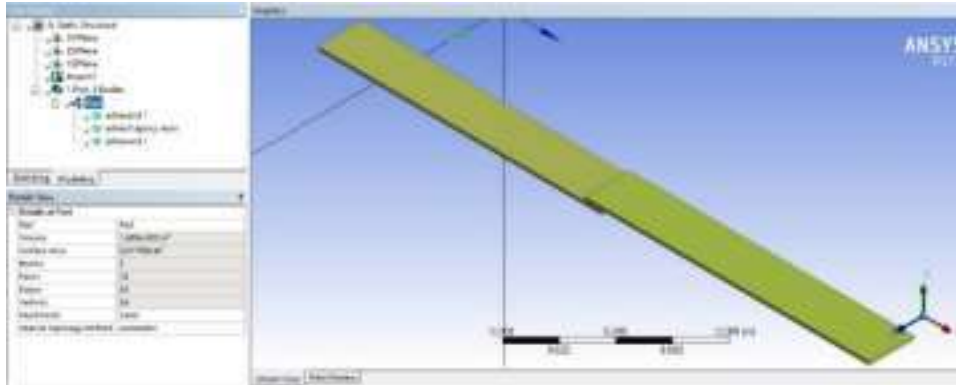


**Gambar 3.11** Diagram alir simulasi modal analysis

Penjelasan tentang alur simulasi tersebut yaitu sebagai berikut :

1. Membuat geometri model 3D

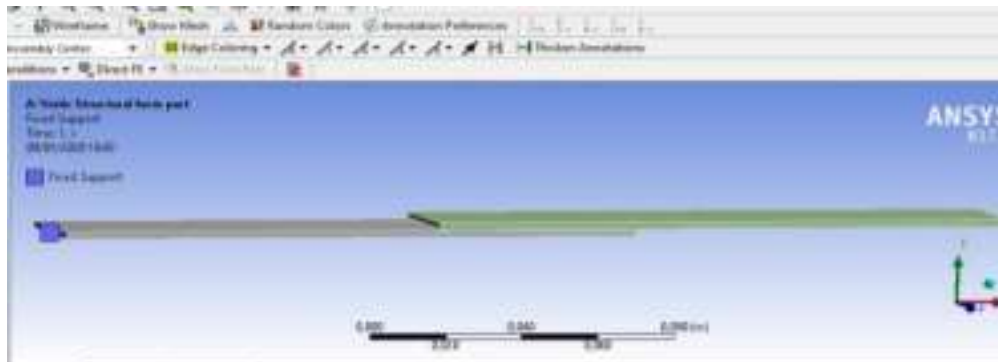
Dalam membuat model 3D digunakan *software Solidworks* yang kemudian di import ke dalam *Design Modeler* seperti pada Gambar 3.12



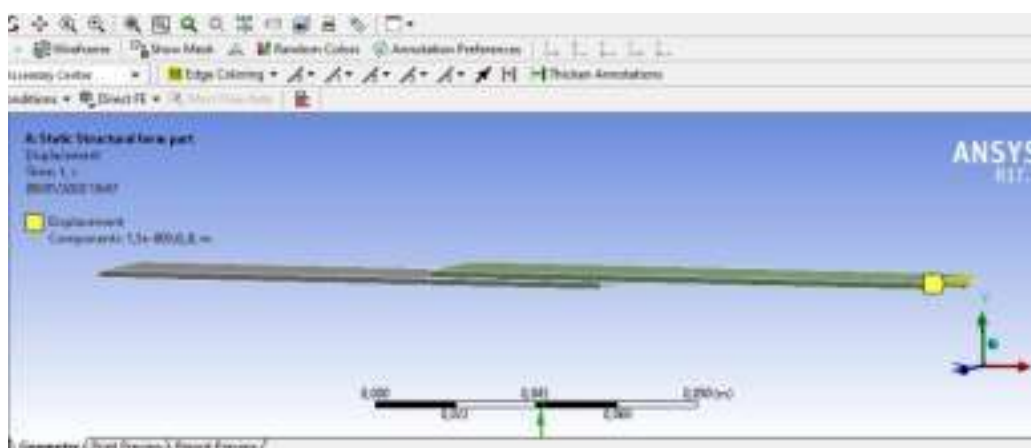
**Gambar 3.12** Proses import geometri ke ANSYS

2. Penentuan *Fix Support* dan *Displacement*

Dalam simulasi analisa getaran bebas menggunakan solver modal analysis hanya diberikan *fix support* pada bagian ujung pelat terluar. Sedangkan untuk analisa statis digunakan *fix support* dan *displacement*. *Fix support* diberikan pada ujung pelat bagian terluar dan *displacement* pada ujung pelat yang berlawanan dengan penempatan *fix support* dengan arah *displacement x* berikut gambar 3.13 dan 3.14.

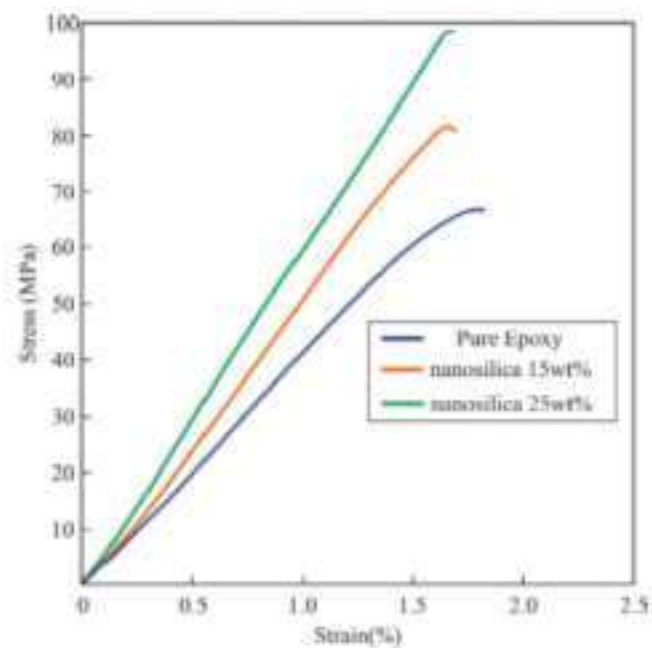


**Gambar 3.13** *Fixed support* pada ANSYS



**Gambar 3.14** *Displacement* pada ANSYS

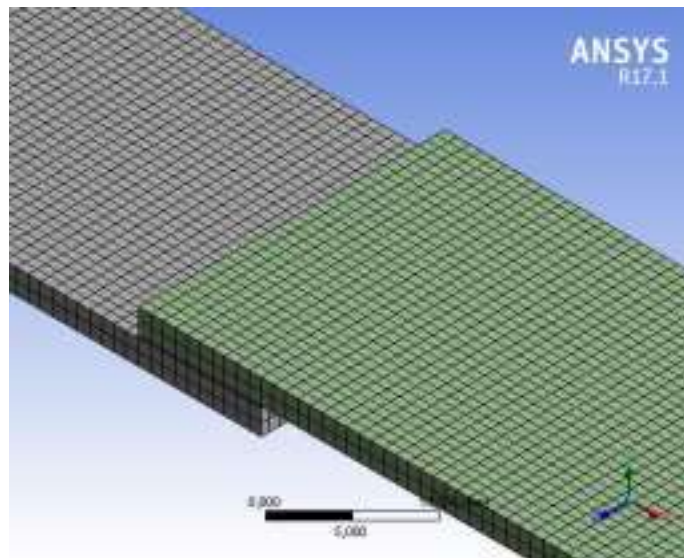
Adapun diberikan *displacement* sebesar 1,5 mm berdasarkan Gambar 3.15 dimana nilai strain maksimum yaitu 2% (estimasi) dikalikan dengan *overlap* terpanjang maka didapatkan nilai 1,5 mm sebagai nilai *displacement* yang diberikan untuk penelitian ini.



**Gambar 3.15** Kurva stress-strain epoksi (Dimitrios, 2017)

### 3. *Meshing*

Proses meshing merupakan sebuah proses penyatuan elemen-elemen sehingga seluruh bagian dapat dilakukan simulasi. Proses meshing apabila berhasil atau sesuai dengan standart dan kebutuhan dapat dilanjutkan ke proses simulasi, tetapi apabila gagal harus mengulang atau memperbaiki desain seperti gambar 3.16.



**Gambar 3.16** *Meshing*



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Adapun simulasi elemen hingga digunakan untuk mengamati kekuatan sambungan serta ketahanan vibrasi plat komposit dengan tipe *single lap joint*. Berikut Analisa data dan pembahasan mengenai hasil simulasi yang dilakukan menggunakan software ANSYS *Workbench* R17.1

#### **4.1 Proses Pemodelan**

Untuk mendapatkan nilai *total deformation* dan *equivalent stress* pada pelat komposit tersebut maka perlu adanya permodelan melalui metode *Static Structural* dan *Modal Analysis*. Khususnya nilai yang dibutuhkan pada *Modal Analysis* adalah nilai *Natural Frequency* yang dilengkapi dengan adanya beberapa *mode shapes*. Metode *Modal Analysis* merupakan suatu metode guna menentukan karakteristik dari getaran yang dimiliki oleh suatu struktur komponen.

Proses simulasi pada penelitian ini dilakukan dengan cara memodelkan sebuah plat komposit dengan diberikan sebuah perpindahan yang sama pada semua jenis varisinya sebesar 1,5 mm dengan adanya *fixed support* seperti yang telah dicantumkan pada Gambar 4.1 dan 4.5

##### **4.1.1 Perhitungan Nilai Shear Stress**

Untuk mendapatkan nilai *shear stress* digunakan Persamaan 2.11 melalui metode *static structural* sehingga hasil dari simulasi diolah menjadi grafik seperti Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

##### **4.1.2 Perhitungan Nilai Natural Frekuensi**

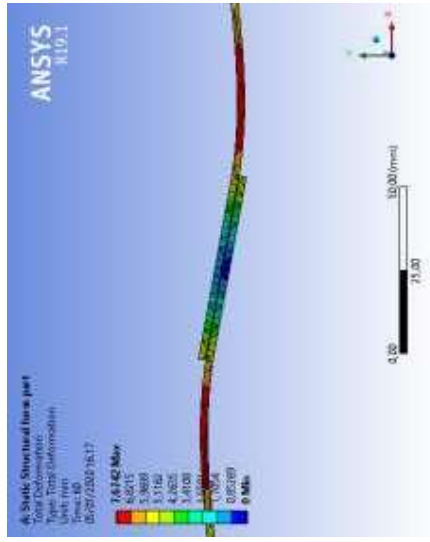
Dalam upaya mendapatkan nilai *natural frequency* dari masing-masing plat komposit dapat dihitung dengan Persamaan 2.8; 2.9; dan 2.10. Dari persamaan ini software ANSYS menghitung secara otomatis *natural frequency* dari plat komposit tersebut serta diatur untuk mendapatkan sejumlah *mode shapes*

---

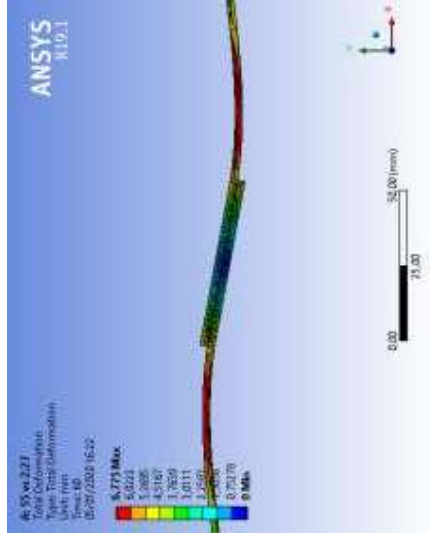
yang dibutuhkan. Dalam melakukan perhitungannya ANSYS membutuhkan *references value* yang di input secara manual. Adapun pada simulasi ini tidak dimasukkan nilai *displacements* melainkan hanya *fixed support* pada permukaan ujung saja. Untuk hasil simulasi pada gambar 4.4 dilengkapi dengan grafik pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.

#### 4.2 Analisa Pengaruh Variasi Panjang *Overlap* dan Ketebalan *adherent* Terhadap Kekuatan Sambungan

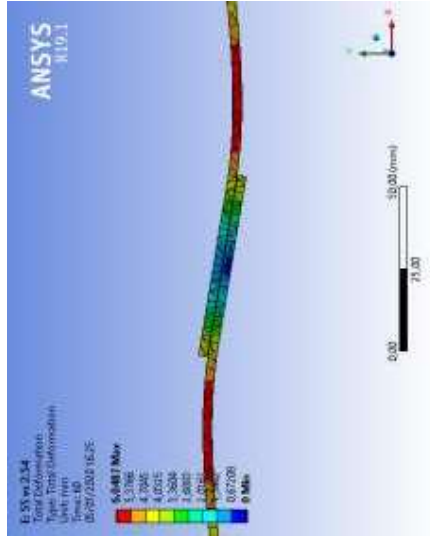
Hasil simulasi untuk mendapatkan nilai *Shear Stress* pada masing-masing desain dengan variasi ukuran panjang *overlap* dan ketebalan *adherent* sebagai berikut



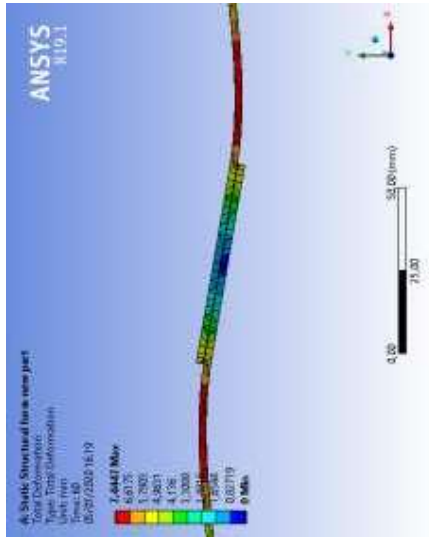
(a)



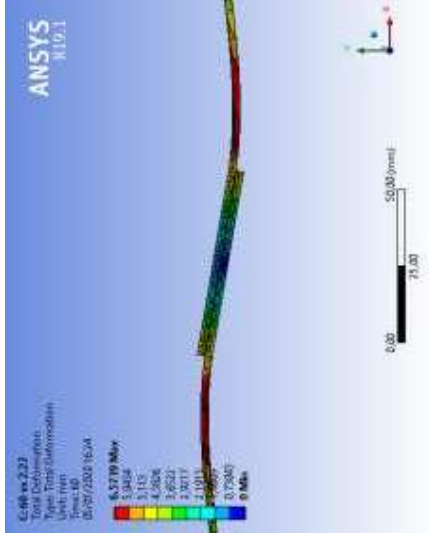
(b)



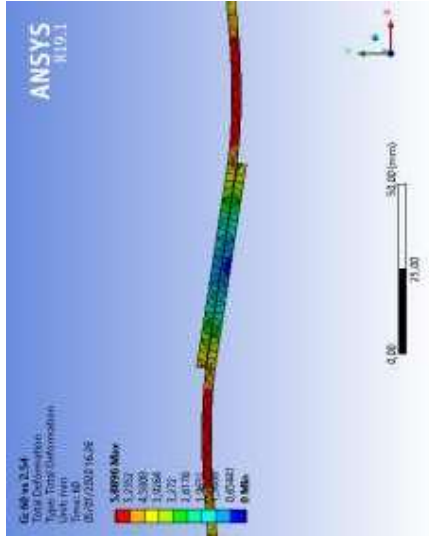
(c)



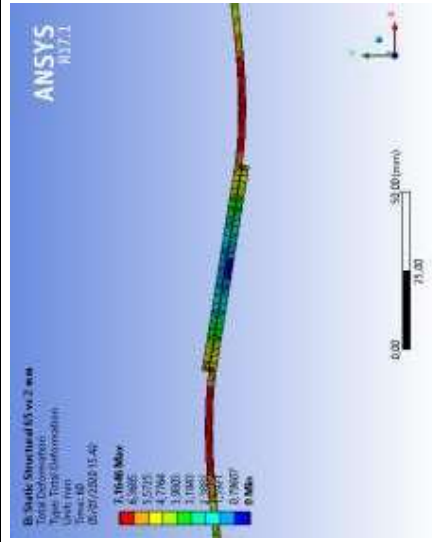
(d)



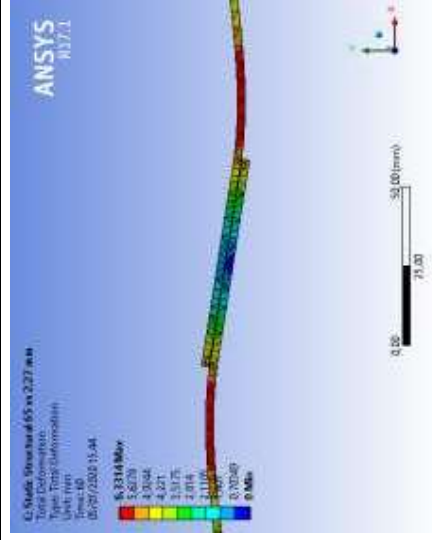
(e)



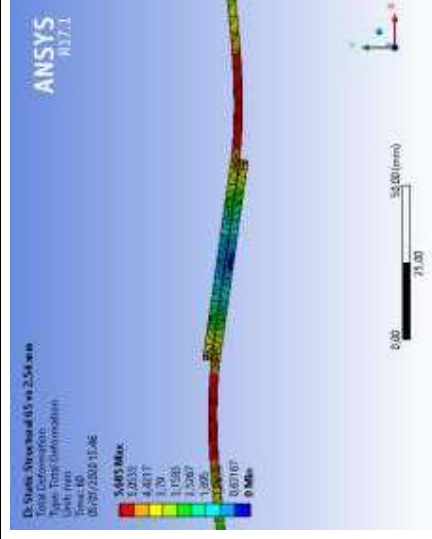
(f)



(g)



(h)



(i)

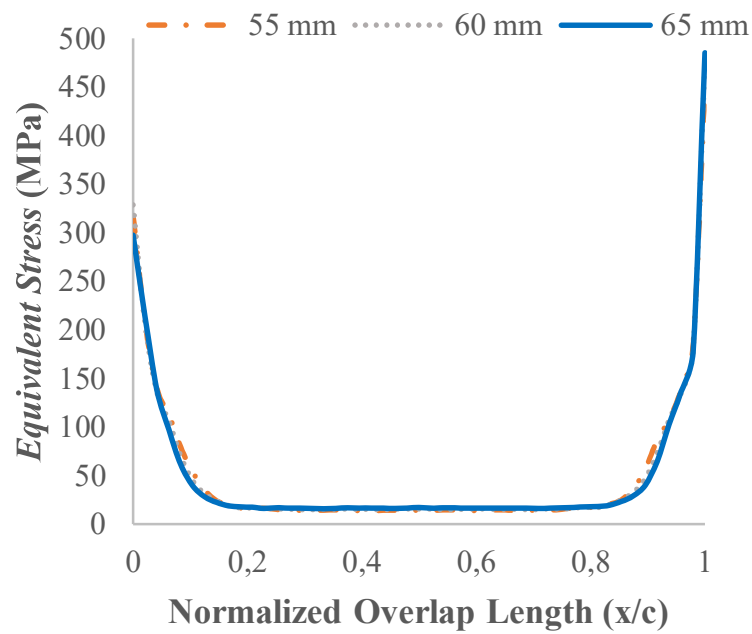
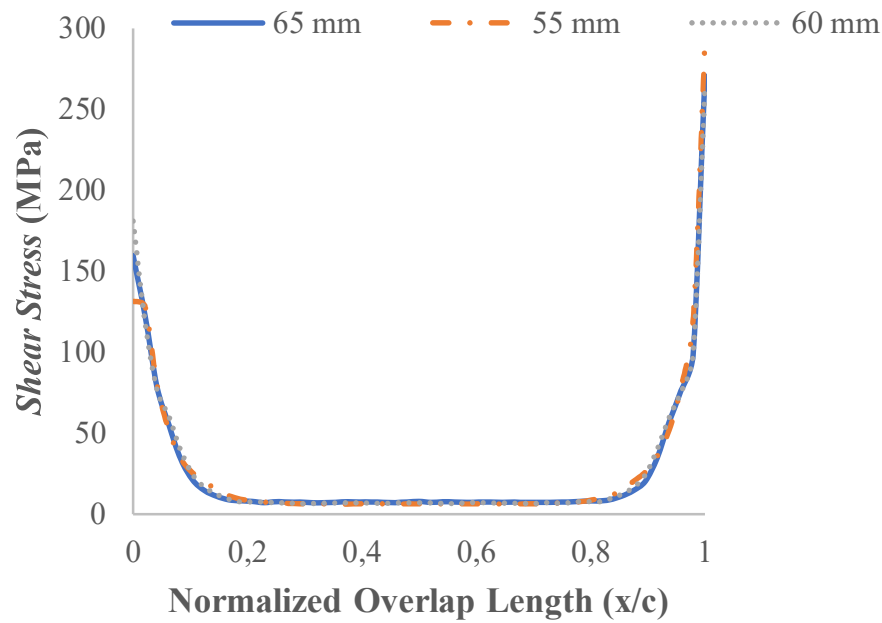
**Gambar 4.1** Pengaruh *overlap* 55 mm dengan ketebalan (a) 2 mm (b) 2.27 mm (c) 2.54. *Overlap* 60 mm dengan ketebalan (d) 2 mm (e) 2.27 (f) 2.54. *Overlap* 65 mm dengan ketebalan (g) 2 mm (h) 2.27 mm (i) 2.54 mm

Menurut hasil gambar 4.1 simulasi yang dilakukan telah menghasilkan beberapa variasi warna pada plat komposit. Warna-warna ini yang menunjukkan identifikasi tertinggi serta terendah dimana merah menandakan nilai yang tertinggi dan biru tua adalah nilai yang terendah menurut dari tiap nilai yang diinginkan operator. Untuk simulasi menggunakan *static structural* hasil keseluruhan memiliki trend yang hampir sama. Adanya lengkungan di daerah *overlap* dipengaruhi oleh adanya bending. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Robert (1989) hal tersebut karena pengaruh dari momen bending yang telah dilakukan uji oleh peneliti Golland dan Reisner. Pada keseluruhan hasil simulasi, didapati warna merah tersebut merupakan daerah maksimal dari *displacement* yang diberikan. Pada ujung-ujung daerah *overlap* merupakan daerah kritis dari p lat komposit tersebut. Pada tiap-tiap variasi variable memiliki daerah maksimal *displacement* yang berbeda-beda. *Displacement* yang diberikan pada simulasi sebesar 1,5 mm. Pada bagian gambar yang ditampilkan, mencakup warna maksimum dan minimumnya yaitu merah dan biru tua. Serta arah *displacement* yang diberikan ialah sumbu X untuk keseluruhan simulasi.

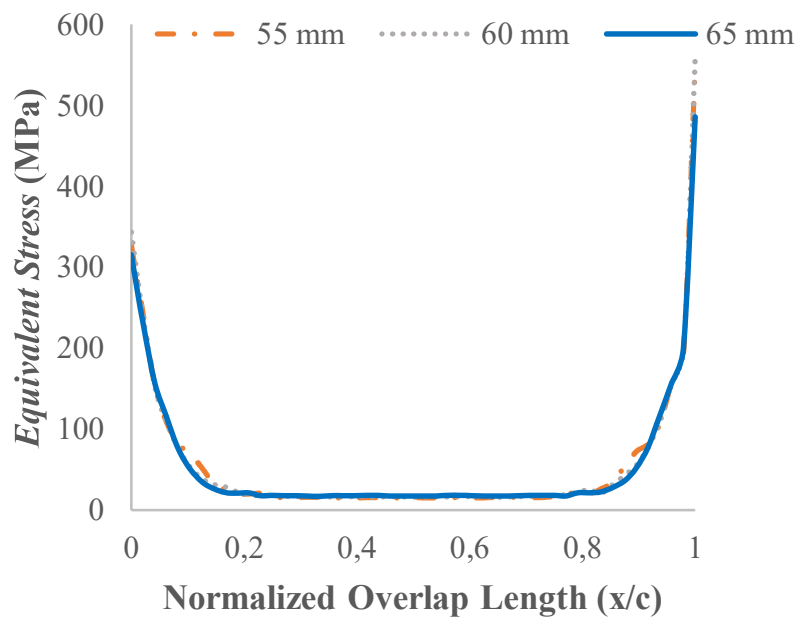
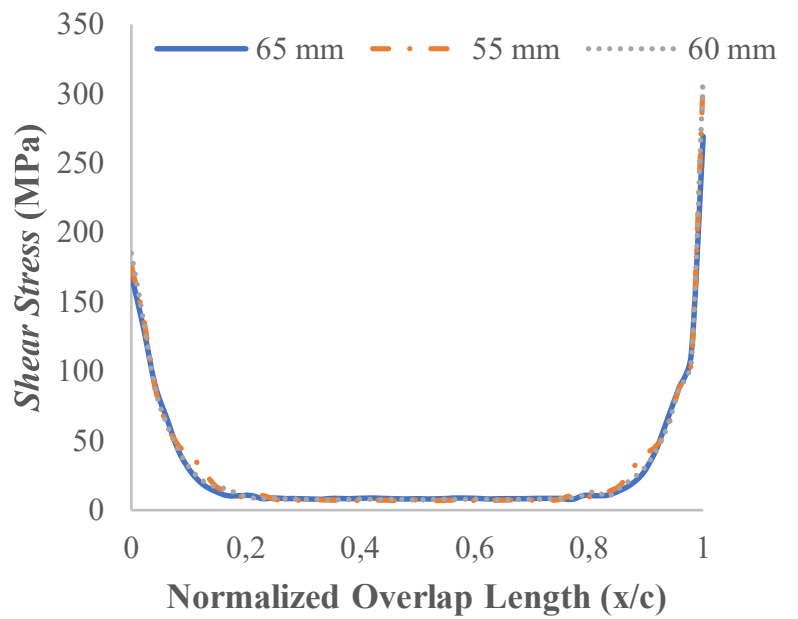
Hasil simulasi tersebut memberikan *meshing* yang secara menyeluruh memiliki kesamaan serta daerah warna yang dimiliki oleh masing-masing variasi geometri juga mencakup warna yang sama hanya memiliki perbedaan pada nilai maksimum tegangan masing-masing.

#### **4.2.1 Analisa Pengaruh Panjang *Overlap* Terhadap Kekuatan Sambungan**

Berikut gambar 4.2 adalah hasil grafik simulasi pengaruh penambahan panjang *overlap* dengan ketebalan 2; 2.27 dan 2.54 mm

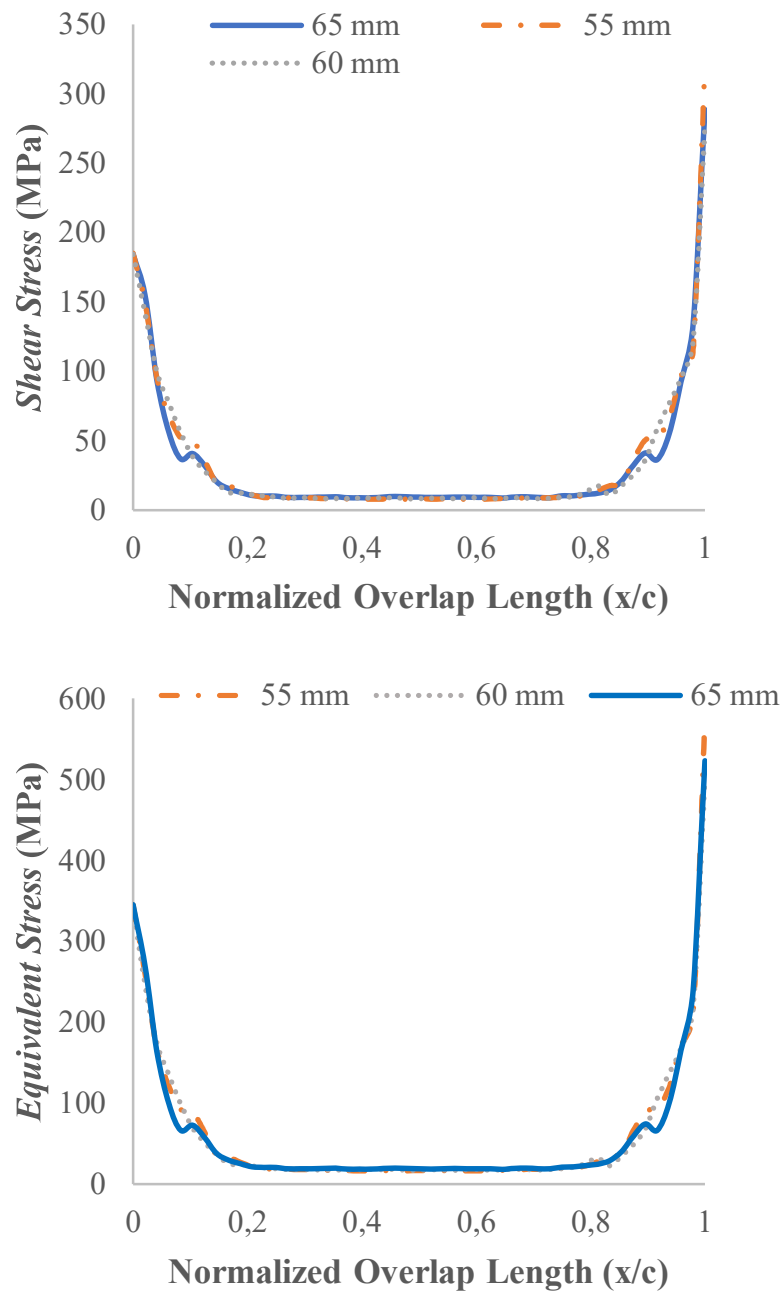


(a)



(b)





(c)

**Gambar 4.2** Grafik *shear stress* dan *equivalent stress* variasi *overlap* dengan ketebalan (a) 2 mm (b) 2.27 mm (c) 2.54 mm

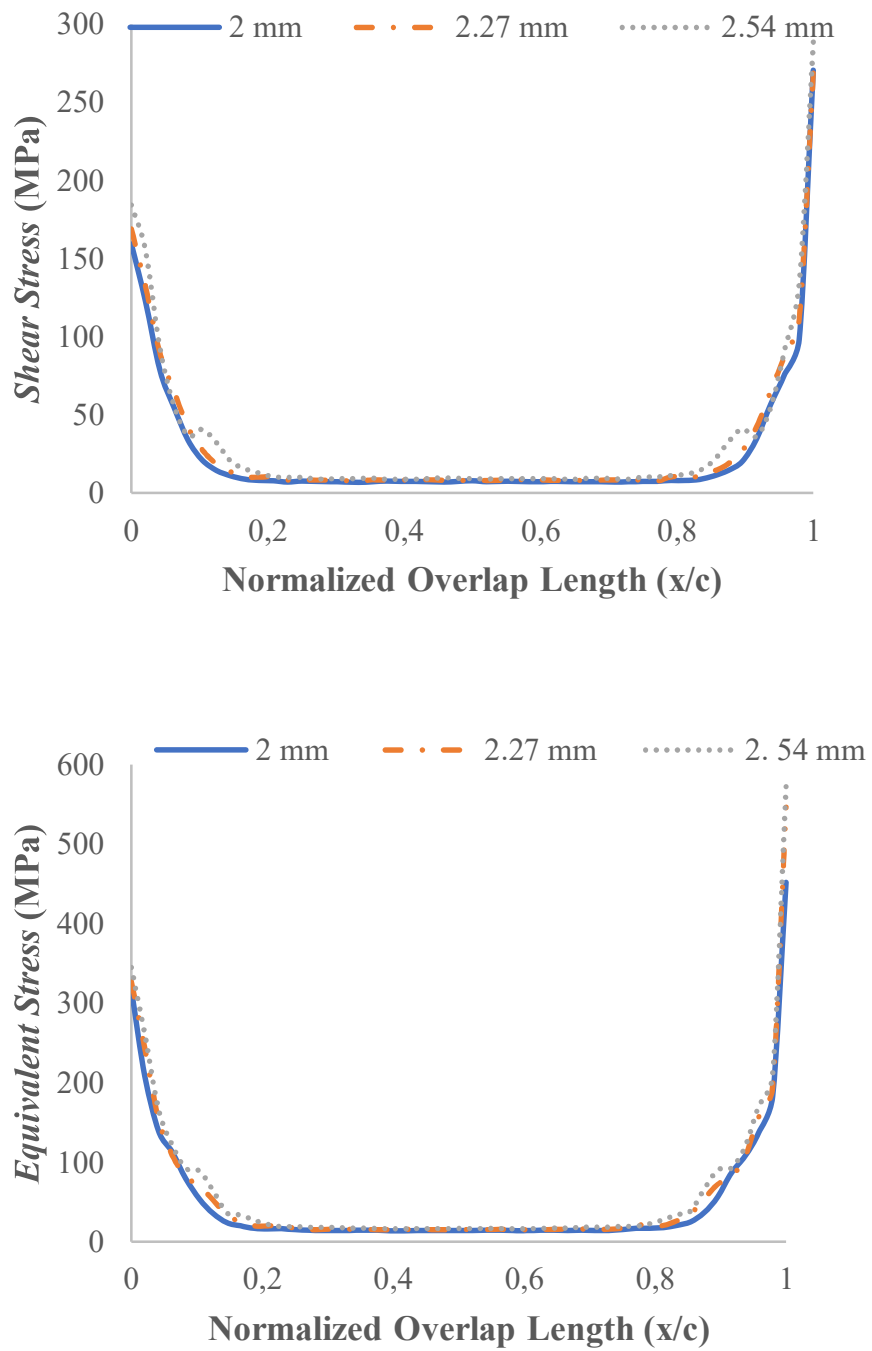
Hasil grafik gambar 4.2 dengan variasi *overlap* menunjukkan bahwa, semakin ditambahnya panjang *overlap*, maka nilai tegangan geser yang dimiliki oleh plat komposit tersebut mengalami penurunan dimana menghasilkan rata-rata tegangan *shear* sebesar 27,613; 27,555; dan 27,079 MPa dengan rincian panjang *overlap* 55, 60, dan 65 mm. Sehingga kumpulan dari nilai diatas ialah nilai tegangan mengecil dengan pertambahan panjang *overlap* yang dimiliki. Serta untuk *overlap* dengan panjang 65 mm memiliki nilai tegangan geser yang terkecil diantara ketiga grafik tersebut. Hal ini merupakan hasil yang sesuai dengan dasar teori yang telah ditinjau pada bab 2. Disamping itu, untuk panjang *overlap* 55 mm memiliki nilai tegangan tertinggi diakhir *overlap* yaitu pada gambar (a) dan (c) namun untuk gambar (b) nyaris sama dengan panjang *overlap* 60 mm.

Pada Gambar 4.2 (a) dan (c) pada *overlap* 60 mm memiliki nilai yang terendah dibandingkan dengan panjang *overlap* yang lainnya. Namun berbeda dengan grafik pada (b) nilai pada *overlap* 60 mm adalah yang tertinggi. Untuk seluruh grafik (a), (b), dan (c) nilai tegangan dimulai pada kisaran 150 MPa – 200 MPa. Pada ketiga grafik mengalami penurunan nilai tegangan *shear* pada pertengahan panjang *overlap*. Hal ini dikarenakan bahwa penurunan nilai *shear stress* pada pertengahan panjang *overlap* bertujuan untuk upaya pencegahan adanya *creep* dimana sesuai dengan penjelasan pada bab 2.3.1. Disisi lain bahwa konsentrasi tegangan berada paling tinggi ketika diujung dari *overlap*. Namun relatif kecil rendah saat berada dipertengahannya. Alasan dari fenomena ini adalah kegagalan dimulai saat diakhir panjang *overlap*. Fenomena yang terjadi pada grafik di Gambar 4.2 sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Raos dkk. Jika disesuaikan dengan grafik hasil simulasi pada gambar 4.2, nilai tegangan menjadi meningkat saat berada diakhir masing-masing panjang *overlap*.

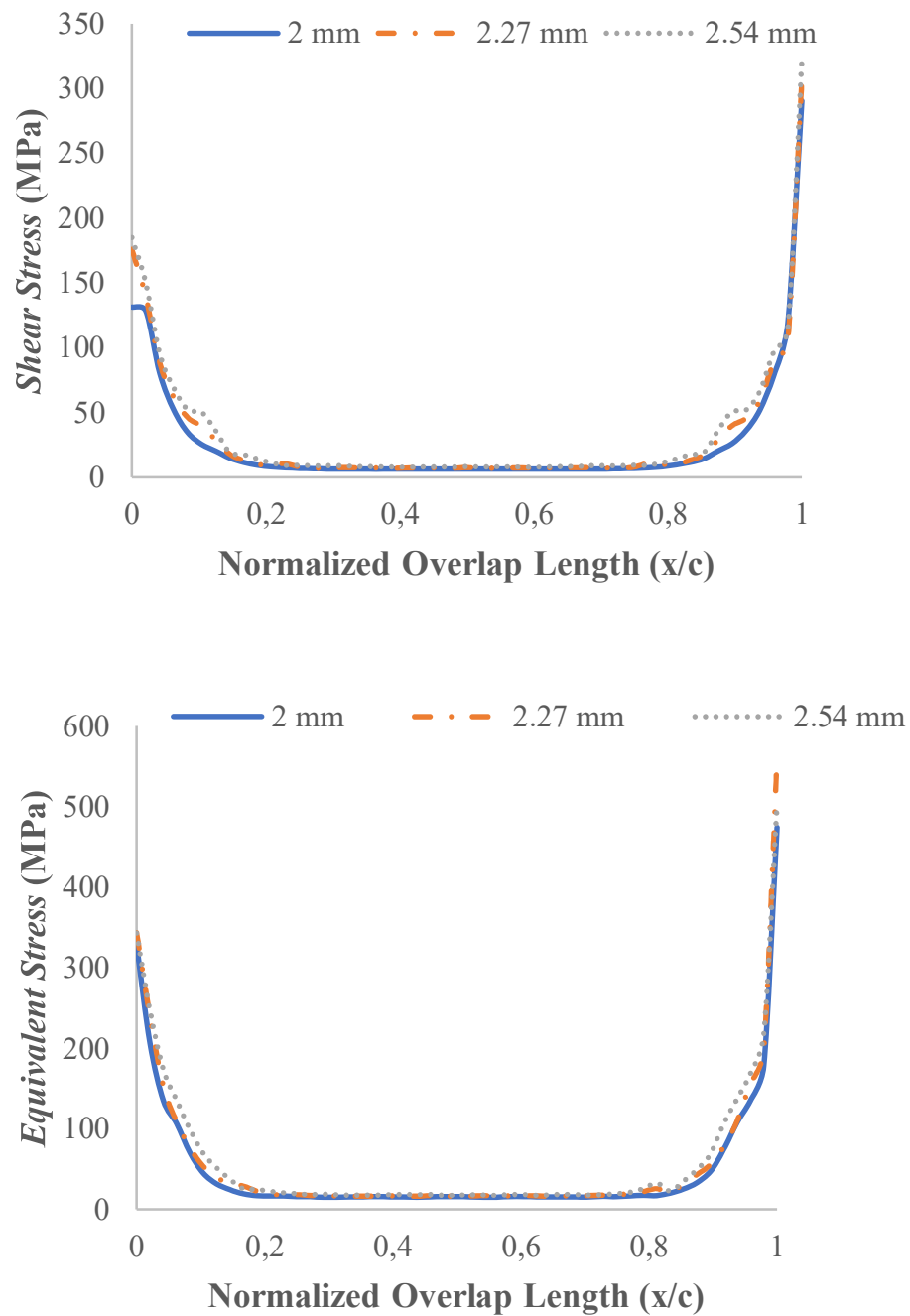
Garis biru yang dimiliki oleh ketiga grafik merupakan nilai tegangan geser yang paling kecil diantaranya. Jika diamati, hal ini merupakan fenomena penurunan nilai tegangan seiring dengan pertambahan nilai panjang *overlap* yang diberikan pada plat komposit tersebut. Hasil dari grafik pada Gambar 4.2 menyatakan bahwa semakin panjang *overlap* dapat mempengaruhi turunnya nilai tegangan *shear* yang dimiliki. Hal ini mengakibatkan kekuatan sambungan yang dimiliki menjadi semakin kuat dengan kata lain penambahan panjang ini merupakan tindakan yang baik untuk kekuatan sambungannya. Fenomena ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Soliman (1995) dimana penambahan panjang *overlap* menjadikan nilai tegangan geser yang dimiliki menurun. Dari hasil grafik simulasi tersebut, didapatkan hasil bahwa pertambahan panjang *overlap* mampu menurunkan nilai tegangan geser sebesar 0,2%-4,25%. Maka sesuai dengan teori yang telah disajikan, **semakin bertambahnya panjang *overlap*, mampu menjadikan nilai *shear stress* menurun.**

#### **4.2.2 Analisa Pengaruh Ketebalan *Adherend* Terhadap Kekuatan Sambungan**

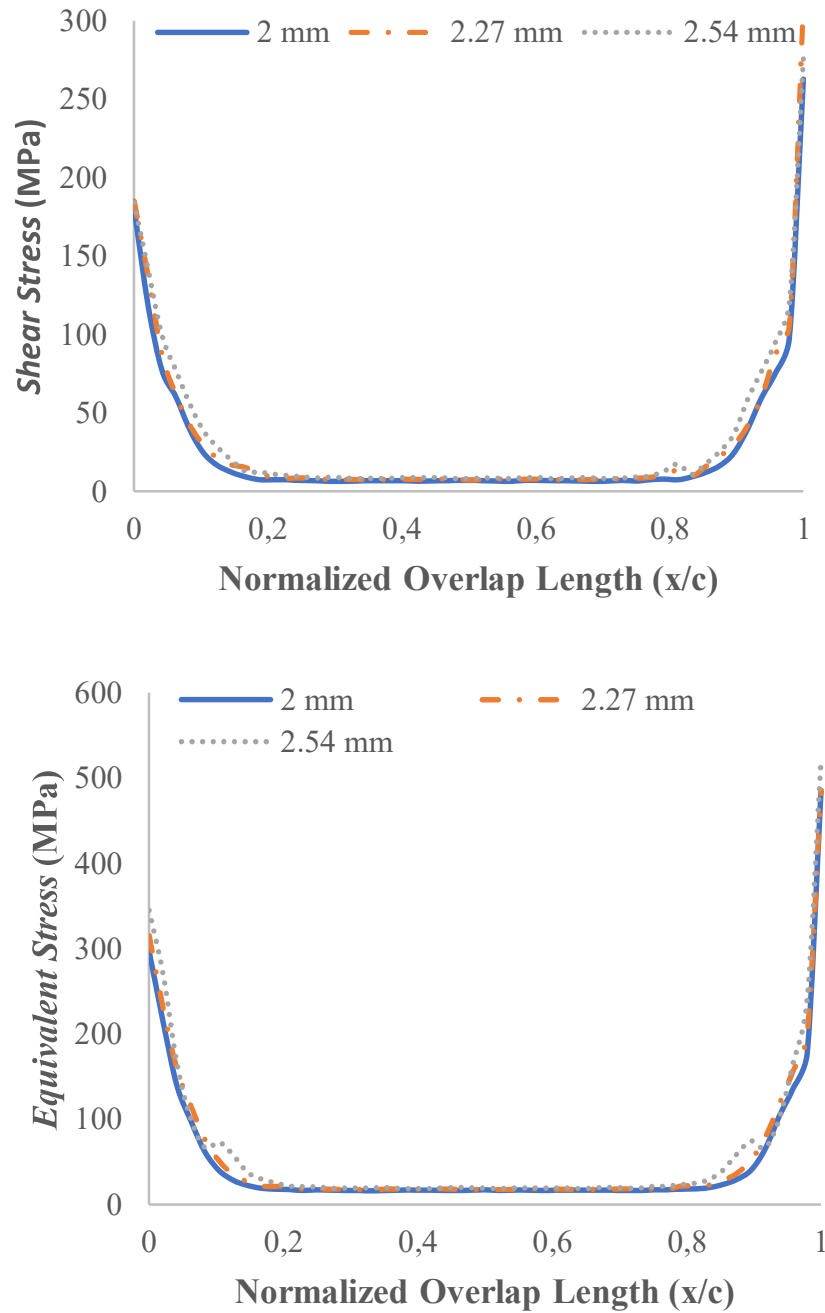
Berikut merupakan hasil grafik nilai tegangan *shear* dengan variasi pertambahan ketebalan sebagai gambar 4.3 berikut



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.3** Grafik *shear stress* dan *equivalent stress* variasi ketebalan dengan panjang *overlap* (a) 55 mm (b) 60 mm (c) 65 mm

Ketiga grafik pada gambar 4.3 tersebut memiliki nilai tegangan yang hampir sama. Sehingga menjadikan hasil grafik bertumpukan satu sama lain. Untuk grafik (e) memiliki nilai tegangan geser tertinggi dengan ketebalan 2.27 mm. Sedangkan grafik (f) memiliki nilai tegangan tertinggi dengan ketebalan 2.54 mm. Untuk ketiganya, tegangan awal yang dimiliki masing-masing grafik pada kisaran nilai 150 MPa – 200 MPa. Sama seperti teori sebelumnya, bahwa grafik tersebut memiliki nilai tegangan yang rendah ketika berada dipertengahan *overlap*-nya. Lengkungan pada grafik merupakan hasil dari *elastic adherend*. Hal ini berdasarkan pada hasil yang didapatkan oleh Adams (2006).

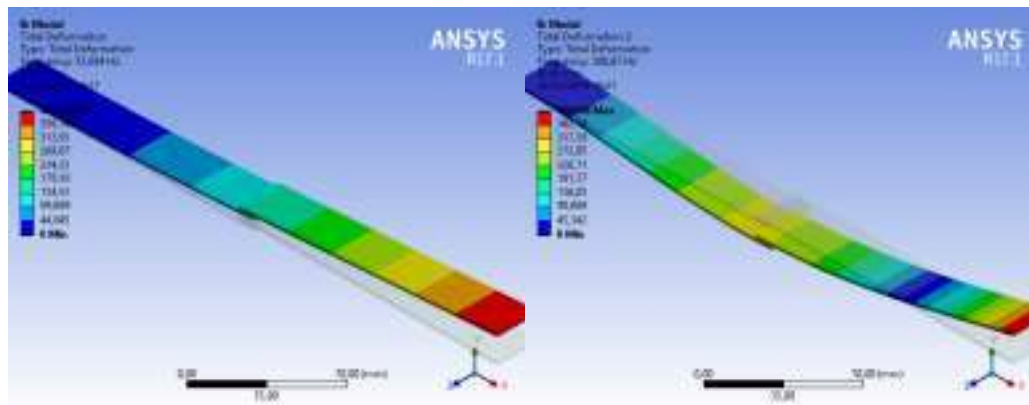
Nilai tegangan geser untuk ketiga grafik memiliki penurunan ketika berada dipertengahan *overlap*. Sesuai dengan teori serta hasil penelitian yang dilakukan oleh Raos dkk bahwa hal ini terjadi dikarenakan, kegagalan dimulai pada daerah akhir dari panjang *overlap*. Dengan demikian, grafik menunjukkan kesesuaian hasil berdasarkan teori dari penelitian sebelumnya. Untuk hasil *shear stress* dengan variasi penambahan ketebalan, pada penelitian ini ditemukan bahwa dengan hasil yang hampir sama, ketiganya mengalami peningkatan nilai *shear stress*. Hal ini ditinjau melalui penelitian (Adams, 2006) yaitu dengan meningkatnya nilai tegangan geser akan semakin mendekati *rigidity* dari adhesifnya. Namun pada penelitian ini, hasil menunjukkan adhesif yang fleksibel. Disisi lain penelitian yang telah dilakukan oleh (Zhang, He, Wenbo, & Wang, 2016) semakin tebal *adherend* mampu meningkatkan nilai kekakuan yang dimiliki. Dengan demikian, penambahan ketebalan *adherend* menghasilkan rata-rata tegangan geser yang meningkat.

Dengan adanya grafik *Equivalent Stress* menunjukkan adanya kesamaan dalam trend grafik pada *shear stress* pada adhesive. Grafik *Equivalent Stress Von-Mises* menunjukkan tegangan yang dimiliki oleh daerah adhesive mengalami tegangan yang tinggi pada akhir dari panjang *overlap*. Hasil grafik oleh

*equivalent stress* menunjukkan kesesuaian dengan grafik *shear stress* sebagai validasi hasil grafik tersebut.

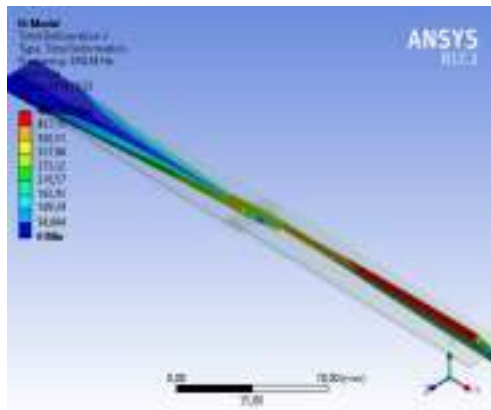
#### 4.3 Analisa Pengaruh Variasi Panjang *Overlap* dan Ketebalan *adherend* Terhadap Ketahanan Vibrasi

Hasil simulasi untuk mendapatkan nilai *Shear Stress* pada masing-masing desain dengan variasi ukuran panjang *overlap* dan ketebalan *adherend* sebagai gambar 4.4 berikut

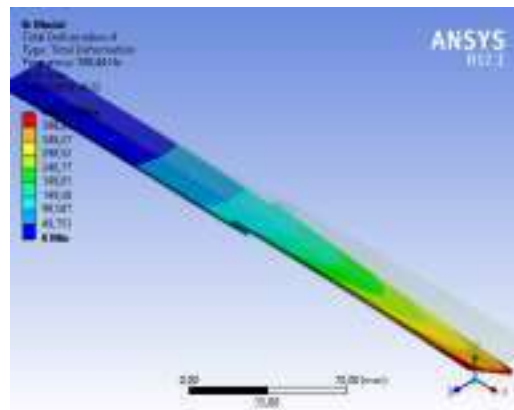


Mode 1,  $\omega_1 = 33,634$  Hz

Mode 2,  $\omega_2 = 206,67$  Hz

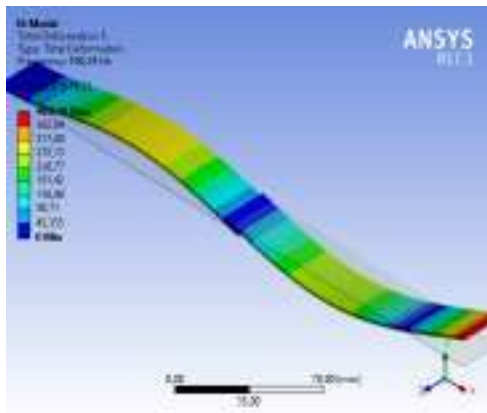
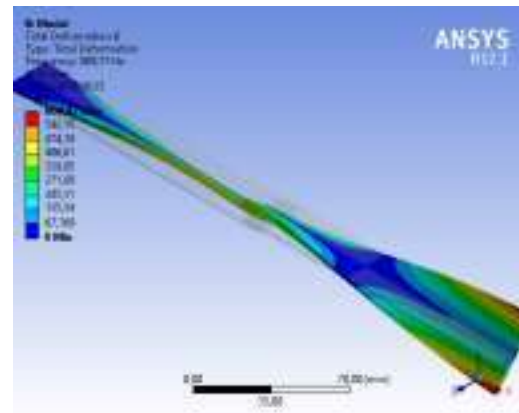
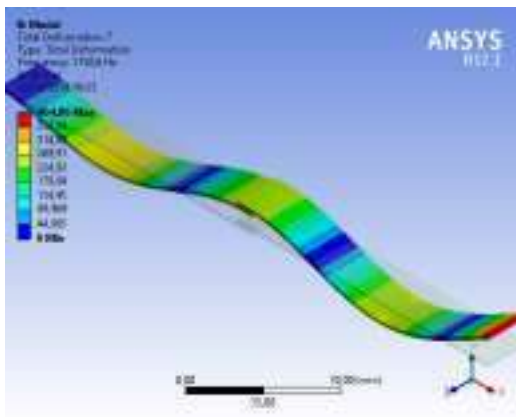
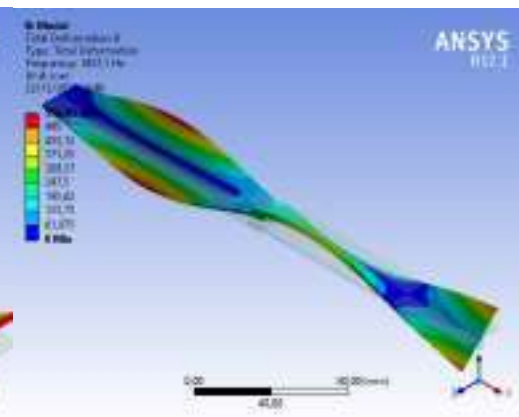
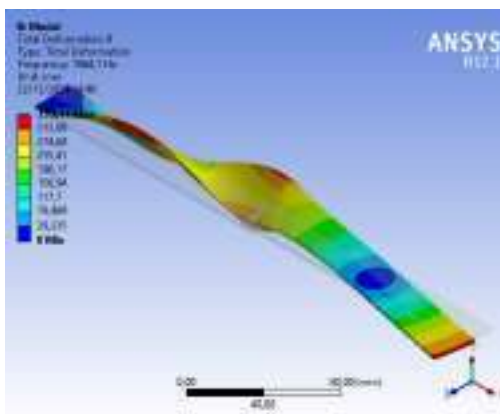
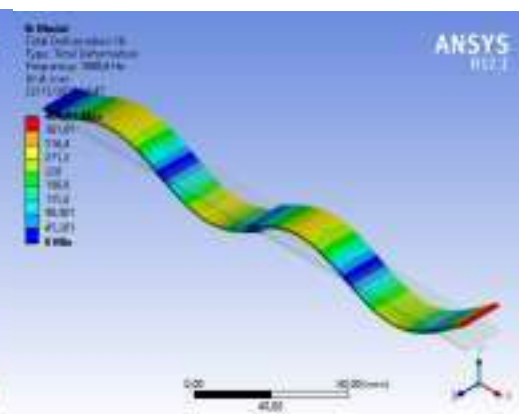


Mode 3,  $\omega_3 = 258,34$  Hz



Mode 4,  $\omega_4 = 390,44$  Hz



Mode 5,  $\omega_5 = 590,29$  HzMode 6,  $\omega_6 = 809,77$  HzMode 7,  $\omega_7 = 1130,6$  HzMode 8,  $\omega_8 = 1437,1$  HzMode 9,  $\omega_9 = 1864,1$  HzMode 10,  $\omega_{10} = 1888,6$  Hz

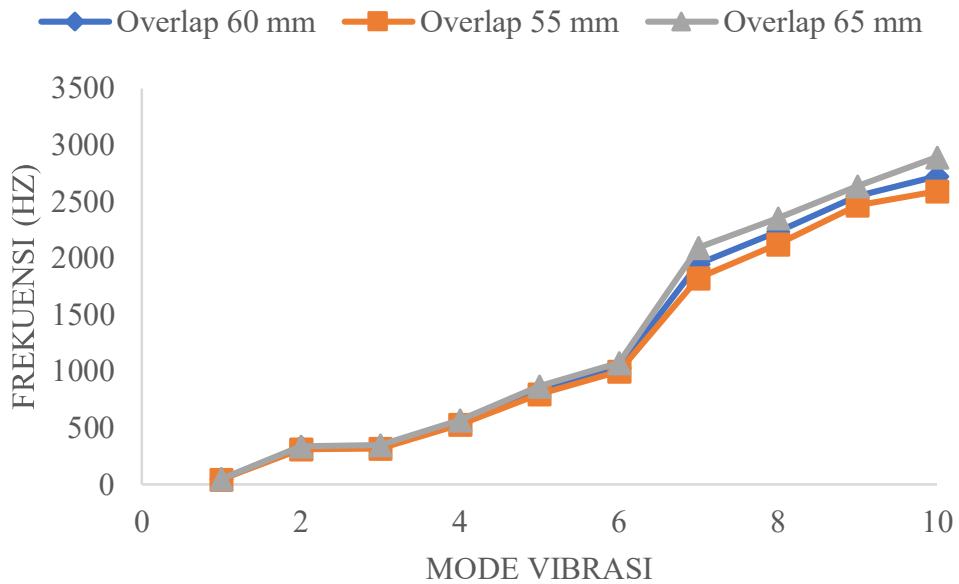
**Gambar 4.4** Hasil simulasi modal analysis dengan 10 variasi mode vibrasi

Dari 10 *mode shapes* yang dihasilkan pada gambar 4.4 menggunakan *modal analysis* pada software ANSYS, beserta dengan masing-masing nilai frekuensi yang dihasilkan. Beberapa diantaranya memiliki kesamaan trend dengan hasil penelitian sebelumnya, dan beberapa juga mengalami perbedaan. Untuk kesekian hasilnya, masing-masing mode memiliki trend yang sama pada tiap variasi geometrinya. Dimulai dengan *mode shapes* yang pertama dengan 33,634 Hz, 206,67 Hz, 258,34 Hz, 390,44 Hz, 590,29 Hz, 809,77 Hz, 1130,6 Hz, 1437,1 Hz, 1864,1 Hz, 1888,6 Hz. Dari hasil frekuensi tersebut dapat dilihat bahwa mengalami peningkatan nilai frekuensi seiring pergantian *mode shapes*.

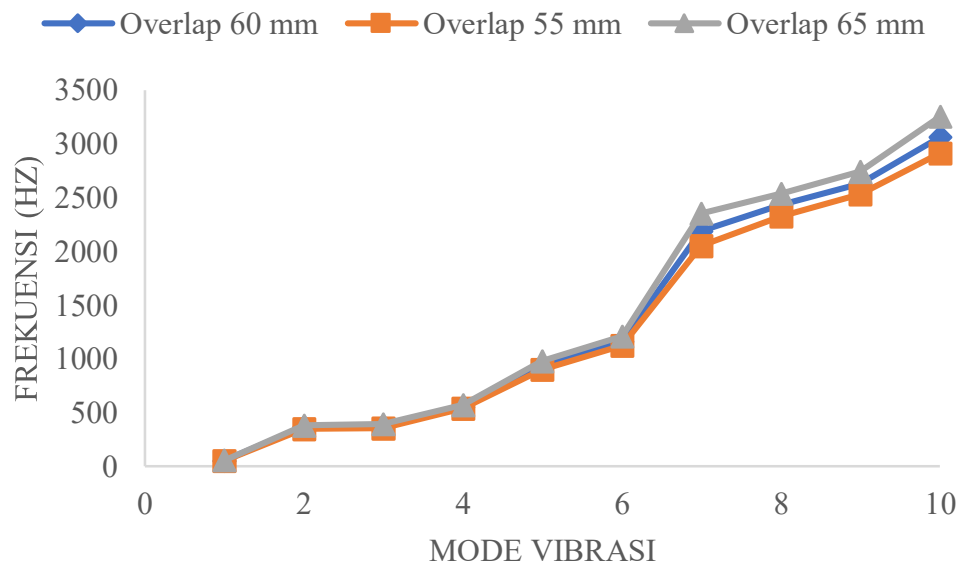
Untuk arah gerakan, untuk mode 1 mengalami vibrasi ke arah sumbu Y begitu halnya juga dialami oleh mode 2. Untuk mode 3 dan mode 4 arah vibrasi yaitu sumbu Z. Namun untuk mode 5 arah vibrasi yang dialami yaitu ke arah sumbu Y. Berbeda dengan yang dialami mode 6, yaitu arah vibrasi dengan sumbu Z. Demikian dengan mode 7 arah vibrasi sama dengan mode 6 yaitu sumbu Z. Untuk mode 8 dan mode 9 memiliki arah vibrasi yang sama yaitu sumbu Z, namun untuk mode 9 ditambah dibagian depan yaitu arah sumbu Y sehingga mode 9 memiliki 2 arah vibrasi yaitu sumbu Z dan sumbu Y. Untuk mode 10 arah vibrasinya sama dengan mode 1 yaitu menuju ke sumbu Y. Dari keseluruhan, daerah berwarna merah berada pada ujung-ujung pelat. Namun luasan daerahnya berbeda tiap *mode shapes*. Seperti *wireframe* yang ada pada setiap gambar pada masing-masing *mode shapes* merupakan bentuk awal sebelum mengalami deformasi akibat dari vibrasi.

#### **4.3.1 Analisa Pengaruh Panjang *Overlap* Terhadap Ketahanan Vibrasi**

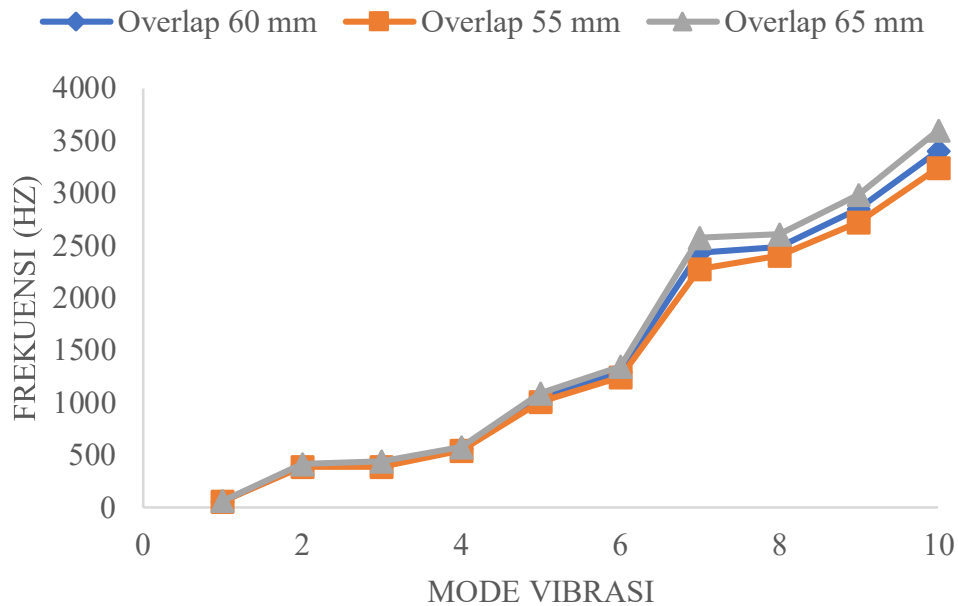
Berikut adalah hasil proses simulasi dengan pengaruh penambahan panjang *overlap*.



(a)



(b)

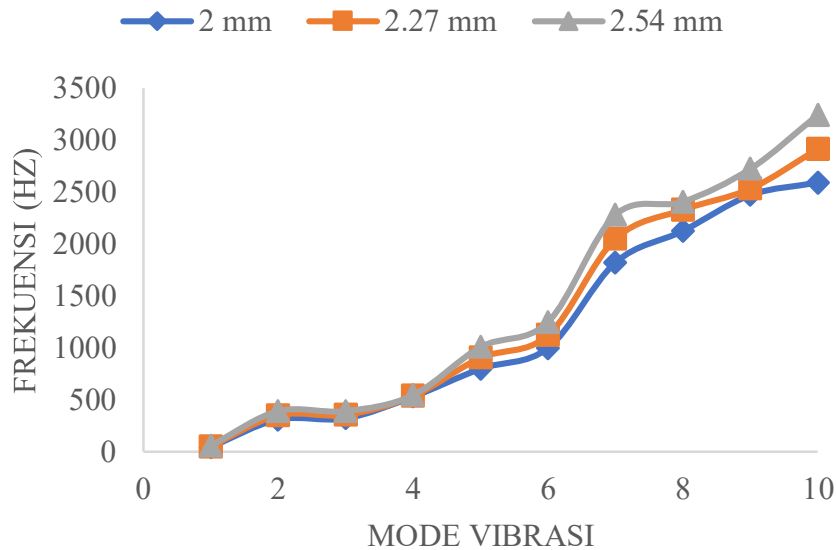


(c)

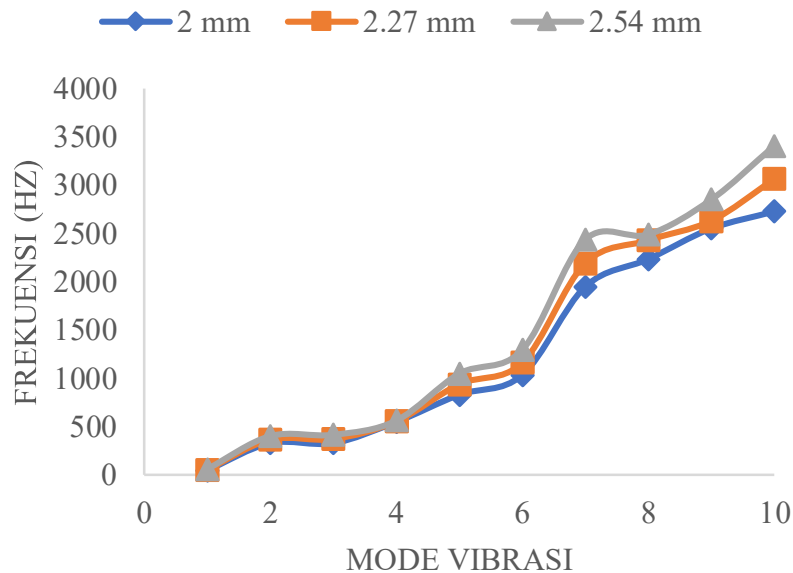
**Gambar 4.5** Grafik natural frekuensi dengan variasi ketebalan  
(a) 2 mm (b) 2.27 mm (c) 2.54 mm

Berikut Gambar 4.5 berdasarkan perbandingan ketiga grafik dengan variasi ketebalan, semakin bertambah ketebalan adherend diiringi juga dengan pertambahan kenaikan *overlap* memberikan hasil bahwa sebanding juga dengan kenaikan *natural frequency* yang dimiliki. Dengan hal ini maka suatu plat komposit semakin sulit untuk mengalami deformasi seperti pada contoh hasil *mode shapes*. Adanya banyak bentuk varian *mode shapes* pada simulasi ini juga dipengaruhi oleh beberapa faktor. Dari penelitian yang telah dilakukan memberikan hasil faktor yang mempengaruhi respon dinamik salah satunya adalah letak atau lokasi *force transducer* pada system. Gambar 4.5 menyatakan bahwa sambungan adhesive memiliki nilai *stiffness* yang meningkat seiring dengan variasi peningkatan panjang *overlap*. Karena hal ini menyebabkan meningkatnya juga nilai *natural frequency*. Bagaimanapun peningkatan panjang *overlap* menurut Apalak dan Mustafa merupakan parameter desain geometri yang penting

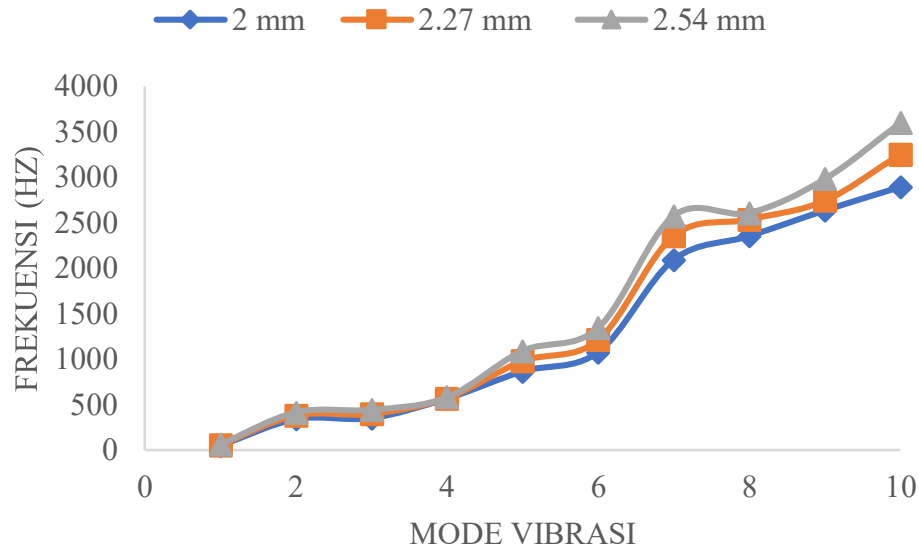
untuk mendapatkan desain sambungan yang optimal. Dengan begitu ketahanan terhadap adanya vibrasi meningkat seiring dengan meningkatnya juga nilai frekuensi natural yang dimiliki. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian He (2012).



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.6** Grafik natural frekuensi dengan variasi overlap (a) 55 mm (b) 60 mm (c) 65 mm

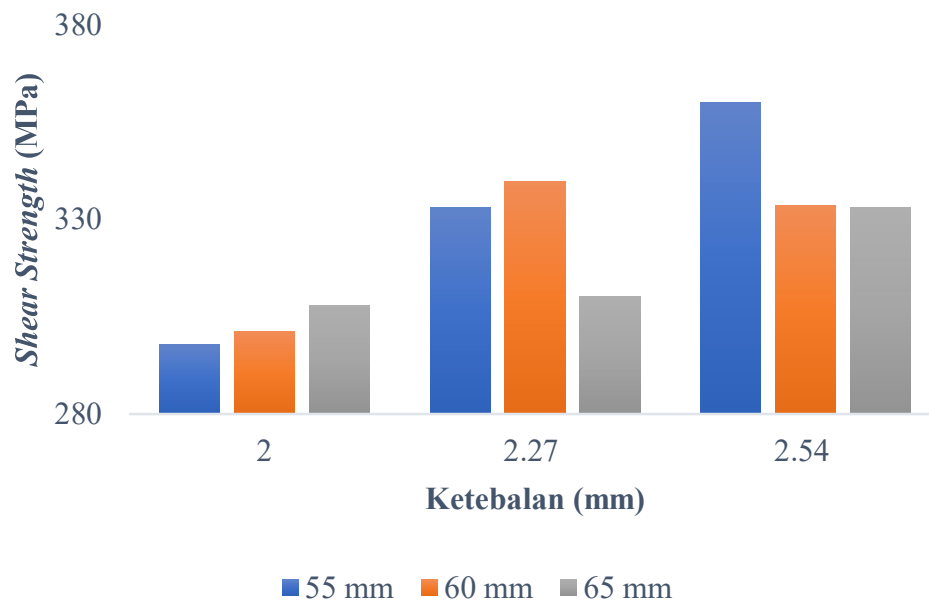
Selain itu parameter yang penting juga dipengaruhi oleh adanya peningkatan ketebalan *adherend*. Dari ketiga grafik, pada gambar 4.6 memberikan hasil bahwa dengan ketebalan 2.54 mm memiliki nilai natural frekuensi yang paling tinggi diantara variasi ketebalan yang lainnya. Untuk grafik dengan *overlap* 55 mm nilai maksimal untuk variasi ketebalannya masing-masing adalah 2591,6 Hz, 2913,6 Hz, dan 3240,9 Hz. Ketiga nilai tersebut mengalami kenaikan seiring dengan penambahan ketebalan untuk *adherend*. Begitupun dengan grafik dengan panjang *overlap* sebesar 60 mm yaitu dimulai dari yang terkecil 2725,8 Hz, 3062,9 Hz, 3403,7 Hz. Yang dialami grafik dengan *overlap* 60 mm juga mengalami peningkatan pada penambahan ketebalan *adherend*. Demikian juga dengan grafik panjang *overlap* 65 mm juga mengalami trend yang sama dengan grafik-grafik yang lain.

Hasil penelitian Apalak dan Mustafa (2009) menyatakan bahwa variasi peningkatan ketebalan juga dapat mengakibatkan peningkatan *natural frequency* pada analisa tersebut. Disamping

itu pengaruh peningkatan ketebalan juga menjadi pertimbangan guna karena pengaruhnya yang dapat meningkatkan nilai *natural frequency* serta *modal strain energy* terhadap sambungan adhesif. Dari kumpulan data tersebut dapat diartikan yaitu untuk mendapatkan desain yang optimal, pengaruh penambahan ketebalan dapat menjadi salah satu parameter yang perlu untuk dipertimbangkan.

#### 4.4 Perbandingan Desain Optimal

Berikut gambar 4.7 adalah hasil nilai *shear strength* dengan variasi panjang *overlap* dan variasi penambahan ketebalan *adherend* dari hasil simulasi yang telah dilakukan kepada seluruh variasi geometri yang ada.



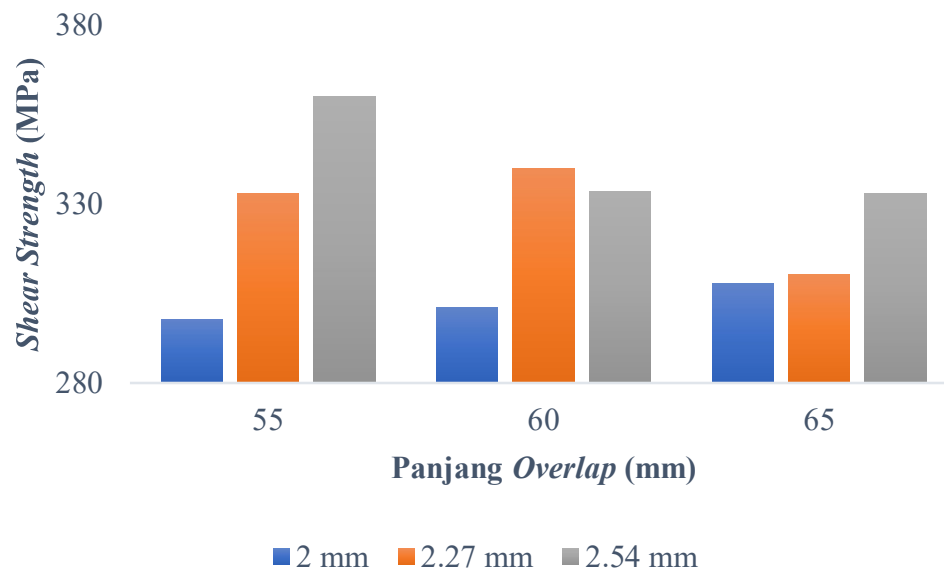
**Gambar 4.7** Nilai *shear strength* nnalisa pengaruh penambahan panjang *overlap* dengan variasi ketebalan.

Dari gambar 4.7 bahwa nilai *shear strength* mengalami peningkatan dengan pengaruh penambahan *overlap* dengan variasi ketebalan 2 mm. Terkecuali pada variasi panjang 60 mm dan 65 mm. Adanya penurunan dengan penambahan pada *overlap*

65 mm serta pada *overlap* 60 mm. Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa dengan ketebalan 2.27 mm memiliki nilai panjang *overlap* yang optimum ketika 60 mm. Sedangkan, pada variasi ketebalan 2.54 mm memiliki nilai *overlap* yang optimum ketika menggunakan panjang 55 mm. *Range* nilai kekuatan yang dimiliki adalah dari 297,84 MPa hingga yang tertinggi yaitu 359,97 MPa. Hasil pada variasi grafik ketebalan 2 mm memiliki kesesuaian dengan teori secara umum yaitu penambahan *overlap* mampu meningkatkan kekuatannya. Hal ini terjadi karena penambahan panjang *overlap* menjadikan daerah sambungan menjadi lebih banyak, serta distribusi tegangan yang dimiliki memiliki daerah yang lebih luas serta lebih merata. Analisa tersebut didukung oleh hasil penelitian Raos dkk (2002) dimana meningkatkan panjang dari *overlap* mampu menambah kekuatan sambungan karena hal ini menyebabkan daerah sambungan bertambah. Namun pada penelitian ini terjadi fenomena khusus yang dimiliki oleh variasi panjang *overlap* 65 mm dan dialami juga oleh panjang *overlap* 60 mm. Jika mengikuti hasil yang dikerjakan oleh (Kuczmaszewski, 2006) dimana dinyatakan bahwa semakin besar peningkatan nilai panjang *overlap* belum tentu diikuti dengan peningkatan kapasitas beban pada ikatan tersebut, sehingga pengetahuan tentang nilai limit dari panjang *overlap* cukup untuk dipertimbangkan.

Disamping itu menurunnya nilai kekuatan pada penambahan panjang *overlap* dipengaruhi oleh adanya momen bending pada perubahan bentuk deformasi yang dialami oleh pelat komposit tersebut. Adapun perambatan kerusakan terjadi didalam *overlap length* yang terindikasi *anti-elastic bending* sehingga menjadikan efek yang dominan pada terjadinya sebuah *failure*. Sehingga pengaruh momen bending menjadikan potensi mengalami kegagalan meningkat, sehingga nilai kekuatan yang dimiliki tidak mampu mengalami peningkatan. Dengan begitu nilai kekuatannya mengalami penurunan pada variasi ketebalan 2.27 mm serta 2.54 mm. Sehingga penting untuk mengetahui nilai limit dari penambahan panjang *overlap* saat memulai untuk mendesain sambungan komposit (Karachalios, 2013).





**Gambar 4.8** Nilai *shear strength* analisa pengaruh penambahan ketebalan *adherend* dengan variasi panjang *overlap*

Berdasarkan pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa untuk kedua variasi panjang *overlap* mengalami peningkatan nilai *shear strength* seiring dengan penambahan ketebalan *adherend* pada masing-masing variasi. Serta mengalami nilai yang paling kecil dengan variasi panjang *overlap* yang paling rendah yaitu 55 mm. Hasil grafik ini mengalami peningkatan telah sesuai dengan teori yang dijelaskan pada bab 2, yaitu menurut Aydin dkk (2012) menyatakan bahwa upaya meningkatkan kekuatan ialah salah satunya dengan meningkatkan ketebalan dari *adherend* dengan panjang *overlap* yang sama. Dari hasil grafik tersebut didapati peningkatan nilai kekuatan dari pelat komposit dengan variasi *overlap* 55 dan 65 mm. Namun pada penelitian ini adanya fenomena khusus yang terjadi pada variasi panjang *overlap* 60 mm. Dimana dengan penambahan ketebalan 2.54 mm mengalami penurunan nilai kekuatan adhesifnya. Sehingga untuk penelitian ini, adanya nilai optimum untuk penggunaan panjang *overlap* 60 mm yaitu 2.27 mm dimana jika dilakukan penambahan ketebalan

akan mengalami penurunan nilai kekuatan adhesifnya. Pernyataan berikut mengikuti daripada hasil yang dikerjakan oleh (Hart, 1973) menyatakan bahwa tidak semua penambahan ketebalan justru mampu meningkatkan *shear strength* yang dimiliki. Maka fenomena ini dipengaruhi oleh adanya pengaruh terjadinya *peel stress* dimana tegangan tersebut menunjukkan potensi untuk mengalami *failure*. Sehingga nilai kekuatan dengan penambahan ketebalan tidak mampu mengalami peningkatan pada keseluruhan variasi penambahan, disitu pentingnya mengetahui nilai optimum yang dimiliki pada sebuah desain (Shishesaz & Hosseini, 2018).

Jika mengacu pada gambar 4.7 serta 4.8 saat ditinjau dari segi materialnya, yaitu penggunaan material komposit adalah kekuatan yang dimiliki oleh material komposit yaitu ditentukan oleh kekuatan dari *interface* antara matriks dan *reinforce*. Sehingga dari masing-masing hasil dari penelitian ini dengan optimum kekuatan masing-masing variasi menandakan bahwa dengan beragam variasi tersebut, *displacement* yang diberikan kepala pelat komposit mampu mendistribusikan dengan baik ke wilayah matriksnya secara merata (Mercy, 2015). Sebagai salah satu contoh sambungan selain komposit yaitu dipengaruhi oleh nilai modulus young yang dimiliki oleh masing-masing sambungan material tersebut. Jika nilai modulus Young yang dimiliki semakin tinggi menyebabkan nilai *maximum shear stress* yang dimiliki juga meningkat. Bagaimanapun pemilihan *shear moduli* yang serupa dari kedua substrat sangat penting karena memiliki dampak yang cukup signifikan, meski keduanya memiliki sifat kimia dan sifat fisis yang berbeda (Ning, Wang, Hideki, Zhenhan, & Guowen, 1998).

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa, nilai tertinggi berada pada panjang *overlap* 65 mm dengan variasi ketebalan *adherend* 2.54 mm. Sehingga dari tingginya nilai natural frekuensi mampu disimpulkan bahwa variasi tersebut memiliki ketahanan vibrasi atau mampu untuk tidak mengalami deformasi saat diberi getaran oleh lingkungan yang paling tinggi diantara variasi yang lainnya.

**Tabel 4.1** Nilai natural krekuensi menggunakan mode 1

L/t	55 mm	60 mm	65 mm
2 mm	45,494	47,181	48,995
2.27 mm	51,613	53,529	55,583
2.54 mm	57,744	59,887	62,153

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian telah dilakukan, dan hasil mengenai analisa simulasi mengenai kekuatan sambungan dan ketahanan vibrasi telah dijabarkan dan dijelaskan pada bab sebelumnya. Dari hasil pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada analisa kekuatan sambungan, adanya variasi penambahan panjang *overlap* mampu meningkatkan kekuatan secara konsisten pada ketebalan 2 mm. Namun, pada penelitian ini dihasilkan bahwa untuk variasi lainnya, adanya nilai optimal pada penambahan ketebalan 2,27 mm serta penambahan panjang *overlap* 60 serta 55 mm.
2. Untuk analisa ketahanan vibrasi, dapat diambil kesimpulan bahwa dengan penambahan variasi panjang *overlap* serta ketebalan *adherend* mampu meningkatkan nilai natural frekuensi yang mana meningkatkan ketahanan vibrasinya.

#### **5.2 Saran**

Untuk penelitian selanjutnya mengenai simulasi elemen hingga guna mendapatkan desain yang optimal diantaranya :

1. Perlu dilakukan penelitian dengan penambahan variasi geometri yang lebih banyak dan nilainya yang lebih tinggi dari penelitian ini
2. Menggunakan perbandingan perbedaan tipe sambungan
3. Ditambahnya variasi ketebalan adhesifnya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Adams. (2006). "Strength Predictions for Lap Joints, Especially with Composite Adherends A Review". **The Journal of Adhesion**, 221.
- Apalak, Gunesa, & Yildirim, M. (2006). "The free vibration analysis and optimal design of an adhesively bonded functionally graded single lap joint". **International Journal of Mechanical Sciences**, 498.
- Apalak, M. K., & Yildirim, M. (2009). "Free Vibration Analysis and Optimal Design of a Clamped-free Single Lap Joint with Unidirectional Laminated Narrow Plates". **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, 184.
- Aydin, M. D., Özel, A., & Temiz, Ş. (2012). "The Effect of Adherend Thickness on the Failure of Adhesively-Bonded Single-Lap Joints". **Journal of Adhesion Science and Technology**, 717.
- Barbero, E. J. (2017). **Introduction To Composite Material Design Third Edition**. Broken Sound Parkway NW: CRC Press.
- Campbell, F. (2010). **Structural Composite Materials**. Ohio: ASM International.
- Chawla, K. K. (1897). **Composite Materials Science and Engineering**. New York: Springer-Verlag New York.
- Dimitrios, Konstantinos, & Gabriel. (2017). "Determination of the Mechanical Properties of Epoxy Silica Nanocomposite through FEA-Supported Evaluation of Ball Indentation Test Results". **Material Research**, 1574.
- Ebnesajjad, S. (2008). **Handbook Of Adhesives and Surface Preparation**. Pennsylvania: Elsevier Inc.
- Gibson, R. F. (2016). **Principles of Composite Material Mechanics**. London: CRC Press.
- Hart, S. (1973). "Adhesive Bonded Double Lap Joint". **Technical Report**, 25.

- 
- He, X. (2012). "Numerical and Experimental Investigations of the Dynamic Response of Bonded Beams with a Single-Lap Joint". **International Journal of Adhesion & Adhesives**, 83.
- Hidayat, M. I., & Yusoff, P. S. (2010). **Optimizing Neural Network Prediction of Composite Fatigue Life Under Variable Amplitude Loading Using Bayesian Regularization**. United States of America: CRC Press.
- Isaac M. Daniel, O. I. (2006). **Engineering Mechanics of Composite Materials**. New York: Oxford University Press.
- J, K. A. (1987). **Adhesion and Adhesives**. London: Chapman & Hall.
- Jones, R. M. (1999). **Mechanics of Composite Material**. New York: Taylor and Francis Group.
- Kadioglu, Avil, Ercan, & Aydogan. (2018). "Effects of different overlap lengths and composite adherend thickness on the performance of adhesively-bonded joints under tensile and bending loadings". **5th Global Conference on Polymer and Composite Materials (PCM 2018)**, 2-8.
- Karachalios, Adams, & Lucas. (2013). "The behaviour of single lap joints under bending loading". **Journal of Adhesion Science and Technology**, 1819.
- Kuczmaszewski, J. (2006). **Fundamentals of Metal-Metal Adhesive Joint Design**. Lublin: WSCHÓD Agencja Usługowa.
- Lee, M., Chun H, W., & Yeo, E. (2013). "Effects of Adherend Thickness and Taper on Adhesive Bond Strength". **International Journal of Adhesion & Adhesives**, 267.
- Maalawi, K. (2018). "An Introduction to the Optimization of Composite Structure". **Introductory Chapter**, 1.
- Mercy, L. (2015). "Joint Strength Analysis of Single Lap Joint in Glass Fiber Composite Material". **International Journal of Applied Engineering Research**, 11.
-

- 
- Ming Zhou, R. F. (2010). "Optimization of Composite – Recent Advances and Application". **Optimization of Composite**, 1.
- Ning, Wang, Hideki, Zhenhan, & Guowen. (1998). "Shape-Optimum Design of A Bi-Material Single-Lap Joint". **Composite Structures** **41**, 330.
- Patil, B., & Barjibhe, B. (2013). "Modal Analysis of Adhesively Bonded Joints of Different Materials. *International*". **Journal of Modern Engineering Research (IJMER)**, 634.
- Petrie, E. M. (1999). **Handbook of Adhesives and Sealants**. Michigan: McGraw-Hill.
- Prieto, P. A. (2013). "Adhesively Bonded Single Lap Joint of Composites". **Jurnal Sains dan Tenaga Udara**, 34-35.
- Raos, P., Kazak, D., & Lucic, M. (2002). "Stress-Strain Analysis of Single-Lap Tensile Loaded Adhesives Joint". **Journal of Adhesions**, 4.
- Sandya, Keerthi, & Srinivas. (2016). "Modeling and Stress Analysis Of Crankshaft Using FEM Package ANSYS". **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, 690.
- Shaikh, S., Anekar, N., Kanase, P., Patil, A., & Tarate, S. (2017). "Single Lap Adhesive Joint (SLAJ): A Study". **International Journal of Current Engineering and Technology**, 70.
- Shishesaz, M., & Hosseini, M. (2018). "Effects of joint geometry and material on stress distribution, strength and failure of bonded composite joints: an overview". **The Journal of Adhesion**, 12.
- Soliman, G. (1995). "Adhesive Overlap Joints". **University of Wollongong Tesis Collections**, 50.
- Sulistijono. (2012). **Mekanika Material Komposit**. Surabaya: ITS Press.
-



- 
- Wani, S. S. (2015). "Vibration Analysis of Adhesively Bonded Single Lap Joint". **International Research Journal of Engineering and Technology**, 296.
- William, & Adams. (1984). **Structural Adhesive Joints in Engineering**. USA: Elsevier Applied Science Publisher.
- Zhang, He, Wenbo, & Wang. (2016). "Numerical Studies of Adherend Thickness Influence on the Response of Single Lap Joint under Longitudinal Load". **Advances in Engineering Research**, volume 113, 667.
-

## LAMPIRAN

### Lampran 1. Data *Shear Stress*

Data Distribusi Tegangan Ketebalan 2 mm dengan Penambahan Panjang *Overlap*

panjang g	stress	panjang	stress	panjang	stress
0	159,490	0	131,350	0	180,920
1,354	122,820	1,145	128,280	1,249	118,600
2,708	78,993	2,291	80,099	2,499	77,077
4,062	55,017	3,437	5,190	3,749	60,319
5,416	33,806	4,583	34,395	4,999	39,257
6,770	21,082	5,728	25,428	6,249	24,284
8,124	14,518	6,874	20,246	7,499	16,519
9,478	10,989	8,020	14,879	8,749	12,195
10,833	8,831	9,165	11,410	9,999	9,208
12,187	8,111	10,312	9,250	11,249	7,460
13,541	7,848	11,457	8,000	12,499	7,500
14,895	6,987	12,603	7,350	13,749	7,360
16,250	7,688	13,749	6,830	14,999	6,980
17,604	7,372	14,895	6,580	16,249	6,880
18,958	7,341	16,040	6,340	17,498	6,410
20,312	7,112	17,186	6,280	18,748	6,450
21,666	6,924	18,332	6,240	19,998	6,680
23,02	7,2437	19,478	6,24E+0 0	21,248	6,840
24,374	7,611	20,623	6,140	22,498	6,900
25,729	7,470	21,769	6,320	23,748	6,880
27,083	7,500	22,915	6,180	24,998	6,700
28,437	7,267	24,061	6,310	26,248	6,540

---



---

29,791	7,113	25,206	6,230	27,498	6,80
31,145	7,447	26,352	6,280	28,748	6,950
32,499	7,849	27,498	6,250	29,997	6,990
33,853	7,237	28,644	6,300	31,247	6,870
35,207	7,550	29,789	6,250	32,497	6,530
36,562	7,499	30,935	6,290	33,747	6,460
37,916	7,276	32,081	6,200	34,997	6,950
39,270	7,339	33,226	6,300	36,247	7,120
40,624	7,405	34,372	6,180	37,497	6,810
41,978	7,280	35,518	6,260	38,747	6,780
43,332	7,323	36,664	6,230	39,997	6,670
44,686	7,236	37,809	6,300	41,246	6,500
46,041	7,133	38,955	6,370	42,496	6,530
47,395	7,182	40,101	6,600	43,746	7,070
48,749	7,386	41,247	6,880	44,996	6,580
50,103	7,525	42,392	7,240	46,246	7,390
51,457	8,091	43,538	8,060	47,496	7,810
52,811	8,078	44,684	9,520	48,746	7,400
54,165	8,776	45,830	1,141	49,996	9,270
55,519	11,036	46,975	1,431	51,246	1,221
56,874	14,479	48,121	20,177	52,495	16,421
58,228	20,217	49,267	25,988	53,745	24,314
59,582	34,650	50,413	35,846	54,995	39,955
60,936	56,754	51,558	5,181	56,245	5,971
62,290	76,201	52,704	78,604	57,495	75,528
63,644	98,130	53,850	118,710	58,745	97,834
64,998	2,712	54,996	290,410	59,995	262,890

---



---

Data Distribusi Tegangan Ketebalan 2.27 mm dengan  
Penambahan Panjang *Overlap*

panjang	stress	panjang	stress	panjang	stress
0	169,020	0	175,970	0	185,150
1,354	132,290	1,145	139,090	1,250	137,720
2,708	90,145	2,291	88,039	2,500	87,436
4,062	65,357	3,437	61,536	3,749	61,546
5,416	41,944	4,583	46,061	4,999	42,341
6,770	27,638	5,728	39,410	6,249	29,225
8,124	18,537	6,874	28,789	7,499	21,036
9,478	13,622	8,020	17,813	8,749	16,931
10,83	10,422	9,166	12,976	9,999	15,298
12,187	10,175	10,312	9,758	11,250	11,301
13,541	10,536	11,458	9,796	12,5	8,911
14,895	8,285	12,604	10,408	13,750	8,345
16,249	8,549	13,749	7,870	15,000	8,611
17,603	8,303	14,895	6,873	16,250	7,963
18,957	8,270	16,041	6,961	17,500	7,781
20,311	7,926	17,187	7,383	18,750	7,637
21,665	7,807	18,333	7,229	20,000	7,534
23,019	8,452	19,478	7,194	21,250	7,485
24,373	8,233	20,624	6,974	22,500	7,549
25,727	8,375	21,770	6,845	23,750	7,799
27,081	8,640	22,916	7,129	25,000	7,735
28,436	8,530	24,061	7,193	26,250	7,517
29,790	8,192	25,207	6,936	27,499	7,875
31,144	8,028	26,353	6,838	28,749	7,529
32,498	8,162	27,499	7,402	29,999	7,353
33,852	8,051	28,645	6,816	31,249	7,494
35,206	8,173	29,790	6,930	32,499	7,945

---

---

36,560	8,545	30,936	7,204	33,749	7,556
37,914	8,720	32,082	7,119	34,999	7,750
39,268	8,417	33,228	6,902	36,249	7,895
40,622	8,047	34,373	6,985	37,499	7,722
41,976	8,150	35,519	7,163	38,749	7,235
43,330	8,114	36,665	7,254	39,999	7,489
44,684	8,243	37,811	7,382	41,249	7,687
46,039	8,416	38,957	7,028	42,499	7,823
47,393	8,466	40,102	6,942	43,749	8,040
48,747	8,369	41,248	7,777	44,999	8,370
50,101	7,632	42,394	10,632	46,249	8,943
51,455	10,421	43,540	9,875	47,499	10,842
52,809	10,356	44,686	9,705	48,749	13,384
54,163	10,703	45,831	13,149	49,999	9,751
55,517	13,987	46,977	17,537	51,249	15,915
56,871	18,693	48,123	28,978	52,499	22,393
58,225	27,095	49,269	39,820	53,749	29,535
59,579	42,324	50,414	45,583	54,999	41,941
60,933	65,142	51,560	59,095	56,249	60,108
62,287	88,353	52,706	88,386	57,499	87,795
63,641	110,940	53,852	105,090	58,749	106,430
64,996	269,190	54,998	305,530	59,999	309,880

---

---

Data Distribusi Tegangan Ketebalan 2.54 mm dengan  
Penambahan Panjang *Overlap*

panjang	stress	panjang	stress	panjang	stress
0	184,340	0	185,060	0	184,230
1,354	155,150	1,145	149,470	1,249	141,770
2,708	93,735	2,291	95,175	2,499	99,572
4,062	56,028	3,437	68,812	3,749	77,214
5,416	36,693	4,583	52,020	4,999	55,603
6,770	40,764	5,728	50,194	6,249	38,361
8,124	32,2--	6,874	35,951	7,499	28,000
9,478	20,401	8,020	19,345	8,749	19,879
10,832	15,481	9,166	17,572	9,999	12,747
12,186	12,732	10,312	14,173	11,249	12,327
13,540	10,446	11,458	11,01	12,499	11,046
14,894	10,025	12,603	8,990	13,749	10,080
16,248	10,034	13,749	9,224	14,999	9,394
17,602	9,007	14,895	8,781	16,249	8,543
18,956	9,073	16,041	8,785	17,499	9,008
20,310	9,211	17,187	8,791	18,749	8,630
21,664	9,312	18,332	8,198	19,999	8,217
23,018	9,568	19,478	8,207	21,249	8,310
24,372	8,810	20,624	7,972	22,499	8,280
25,726	8,805	21,770	7,718	23,748	8,708
27,080	8,833	22,915	7,723	24,998	8,858
28,434	9,334	24,061	7,927	26,248	8,740
29,788	9,742	25,207	7,898	27,498	8,892
31,142	9,478	26,353	7,877	28,748	8,149
32,496	9,231	27,498	8,119	29,998	8,211
33,850	9,008	28,644	7,884	31,248	8,545
35,204	9,180	29,790	7,934	32,498	8,488

36,558	9,273	30,936	7,961	33,748	8,167
37,912	9,241	32,082	7,676	34,998	8,812
39,266	9,194	33,227	7,714	36,248	8,869
40,620	9,152	34,373	7,998	37,498	8,178
41,974	8,703	35,519	8,242	38,747	8,458
43,328	9,377	36,665	8,212	39,997	8,879
44,682	9,571	37,810	8,866	41,247	8,595
46,036	9,113	38,9560	8,818	42,497	8,164
47,390	8,8909	40,102	8,776	43,747	8,497
48,744	10,289	41,248	9,274	44,997	9,247
50,098	10,300	42,393	9,190	46,247	9,857
51,452	11,254	43,539	11,141	47,497	12,898
52,806	11,999	44,685	14,178	48,747	17,470
54,160	14,407	45,831	17,521	49,997	10,859
55,514	20,904	46,977	19,310	51,247	17,625
56,868	32,459	48,122	36,135	52,497	25,457
58,222	41,109	49,268	50,465	53,746	36,233
59,576	36,308	50,414	51,818	54,996	58,633
60,930	54,849	51,560	66,360	56,246	76,722
62,284	92,410	52,705	96,725	57,496	95,228
63,638	133,740	53,851	113,640	58,746	120,490
64,992	288,570	54,997	320,090	59,996	275,970

### Lampiran 2. Data Equivalent Stress

Data Equivalent Stress Ketebalan 2 mm dengan Penambahan Panjang Overlap

L [mm]	Value [MPa]	Length [mm]	Value [MPa]	Length [mm]	Value [MPa]		
0	317,460	1	0	328,660	1	0	297,600

---



---

1,145	207,970	2	1,249	206,660	2	1,354	214,000
2,291	139,490	3	2,499	135,280	3	2,708	138,510
3,437	112,87	4	3,749	106,390	4	4,062	97,225
4,583	79,180	5	4,999	70,200	5	5,416	61,289
5,728	53,692	6	6,249	44,854	6	6,770	39,769
6,874	35,411	7	7,499	31,662	7	8,124	28,277
8,020	24,188	8	8,749	24,224	8	9,478	22,381
9,166	20,008	9	9,999	19,301	9	10,833	19,031
10,312	16,820	10	11,249	16,793	10	12,187	17,869
11,458	16,190	11	12,499	16,639	11	13,541	17,391
12,604	16,421	12	13,749	16,340	12	14,895	16,246
13,749	15,261	13	14,999	15,791	13	16,250	17,030
14,895	14,547	14	16,249	15,578	14	17,604	16,552
16,041	14,184	15	17,499	14,865	15	18,958	16,488
17,187	14,136	16	18,749	14,936	16	20,312	16,178
18,332	14,375	17	19,998	15,269	17	21,666	15,933
19,478	14,664	18	21,248	15,460	18	23,020	16,355
20,624	14,404	19	22,498	15,538	19	24,374	16,845
21,770	14,000	20	23,748	15,490	20	25,729	16,653
22,916	13,928	21	24,998	15,219	21	27,083	16,697
24,061	14,226	22	26,248	14,992	22	28,437	16,397
25,207	14,222	23	27,498	15,487	23	29,791	16,203
26,353	14,171	24	28,748	15,607	24	31,145	16,641
27,499	14,350	25	29,998	15,652	25	32,499	17,145
28,644	14,240	26	31,248	15,486	26	33,853	16,408
29,790	14,533	27	32,497	15,024	27	35,207	16,845
30,936	14,660	28	33,747	15,014	28	36,562	16,756
32,082	14,083	29	34,997	15,655	29	37,916	16,434
33,228	14,040	30	36,247	15,862	30	39,270	16,514
34,373	14,469	31	37,497	15,454	31	40,624	16,599

---



---



35,519	14,695	32	38,747	15,469	32	41,978	16,540
36,665	14,147	33	39,997	15,334	33	43,332	16,602
37,811	14,458	34	41,247	15,131	34	44,686	16,518
38,956	14,244	35	42,497	15,200	35	46,041	16,362
40,102	14,355	36	43,747	15,951	36	47,395	16,397
41,248	15,451	37	44,996	15,519	37	48,749	16,926
42,394	16,914	38	46,246	16,650	38	50,103	17,200
43,540	17,095	39	47,496	17,332	39	51,457	17,964
44,685	17,855	40	48,746	17,102	40	52,811	18,175
45,831	20,578	41	49,996	20,178	41	54,165	19,545
46,977	25,170	42	51,246	25,101	42	55,519	23,311
48,123	36,666	43	52,496	32,973	43	56,874	29,340
49,268	56,889	44	53,746	47,020	44	58,228	40,154
50,414	86,848	45	54,996	73,467	45	59,582	64,759
51,560	107,770	46	56,246	107,770	46	60,936	102,970
52,706	137,850	47	57,496	134,750	47	62,290	136,190
53,852	182,280	48	58,745	177,330	48	63,644	177,340
54,997	451,850	49	59,995	474,360	49	64,998	485,320

Data *Equivalent Stress* Ketebalan 2.27 mm dengan Penambahan Panjang *Overlap*

Length [mm]	Value [MPa]	Length [mm]	Value [MPa]	Length [mm]	Value [MPa]		
0	327,500	1	0	343,380	1	0	315,490
1,145	242,050	2	1,250	239,800	2	1,354	230,310
2,291	154,220	3	2,500	153,140	3	2,708	157,610
3,437	108,740	4	3,7499	108,590	4	4,062	115,040
4,583	81,777	5	4,999	76,215	5	5,416	75,415
5,728	70,471	6	6,249	53,332	6	6,770	51,070

---

---

6,874	52,351	7	7,499	39,199	7	8,124	35,075
8,020	33,716	8	8,749	31,973	8	9,478	26,744
9,166	25,126	9	9,999	28,837	9	10,833	21,710
10,312	20,058	10	11,250	22,572	10	12,187	21,133
11,458	19,980	11	12,500	18,859	11	13,541	21,394
12,604	20,757	12	13,750	17,918	12	14,895	17,969
13,749	16,829	13	15,000	18,220	13	16,249	18,334
14,895	15,361	14	16,250	17,193	14	17,603	17,916
16,041	15,497	15	17,500	16,817	15	18,957	17,826
17,187	16,096	16	18,750	16,589	16	20,311	17,326
18,333	15,784	17	20,000	16,439	17	21,665	17,149
19,478	15,611	18	21,250	16,338	18	23,019	18,039
20,624	15,247	19	22,500	16,452	19	24,373	17,732
21,770	15,087	20	23,750	16,762	20	25,727	17,906
22,916	15,582	21	25,000	16,627	21	27,081	18,312
24,061	15,636	22	26,250	16,315	22	28,436	18,154
25,207	15,254	23	27,499	16,905	23	29,790	17,644
26,353	15,097	24	28,749	16,399	24	31,144	17,401
27,499	15,858	25	29,999	16,194	25	32,498	17,649
28,645	15,072	26	31,249	16,423	26	33,852	17,452
29,790	15,277	27	32,499	17,012	27	35,206	17,692
30,936	15,692	28	33,749	16,411	28	36,560	18,246
32,082	15,566	29	34,999	16,712	29	37,914	18,465
33,228	15,232	30	36,249	16,942	30	39,268	18,007
34,373	15,342	31	37,499	16,704	31	40,622	17,547
35,519	15,648	32	38,749	16,069	32	41,976	17,652
36,665	15,928	33	39,999	16,492	33	43,330	17,624
37,811	16,153	34	41,249	16,799	34	44,684	17,891
38,957	15,682	35	42,499	17,044	35	46,039	18,225
40,102	15,727	36	43,749	17,521	36	47,393	18,343

---

---

41,248	17,291	37	44,999	18,154	37	48,747	18,230
42,394	21,285	38	46,249	19,328	38	50,101	17,576
43,540	20,303	39	47,499	22,011	39	51,455	21,467
44,686	20,517	40	48,749	25,526	40	52,809	21,595
45,831	26,391	41	49,999	20,996	41	54,163	22,637
46,977	35,097	42	51,249	31,704	42	55,517	28,274
48,123	54,240	43	52,499	42,997	43	56,871	36,633
49,269	72,435	44	53,749	55,522	44	58,225	52,139
50,414	82,176	45	54,999	77,339	45	59,579	78,146
51,560	107,540	46	56,249	108,910	46	60,933	117,330
52,706	157,270	47	57,499	155,960	47	62,287	156,680
53,852	193,430	48	58,749	196,280	48	63,641	198,980
54,998	546,270	49	59,999	554,520	49	64,996	485,920

Data *Equivalent Stress* Ketebalan 2.54 mm dengan Penambahan Panjang *Overlap*

Length [mm]	Value [MPa]	Length [mm]	Value [MPa]	Length [mm]	Value [MPa]		
0	344,960	1	0	342,970	1	0	345
1,145	260,050	2	1,249	246,710	2	1,354	270,010
2,291	166,430	3	2,499	173,740	3	2,708	164,170
3,437	121,300	4	3,749	135,300	4	4,0620	99,238
4,583	92,395	5	4,999	98,820	5	5,416	66,359
5,728	88,872	6	6,249	69,461	6	6,770	72,954
6,874	64,284	7	7,499	51,370	7	8,124	57,838
8,020	36,397	8	8,7494	37,168	8	9,478	37,907
9,166	33,825	9	9,999	25,345	9	10,832	29,900
10,312	27,131	10	11,249	24,692	10	12,186	25,331
11,458	21,866	11	12,499	22,316	11	13,540	21,491

---



---

12,603	19,059	12	13,749	20,481	12	14,894	20,825
13,749	19,199	13	14,999	19,282	13	16,248	20,567
14,895	18,333	14	16,249	18,172	14	17,602	18,953
16,041	18,178	15	17,499	18,684	15	18,956	19,047
17,187	18,076	16	18,749	18,064	16	20,310	19,230
18,332	17,130	17	19,999	17,445	17	21,664	19,329
19,478	17,122	18	21,249	17,568	18	23,018	19,676
20,624	16,761	19	22,499	17,530	19	24,372	18,532
21,770	16,391	20	23,748	18,132	20	25,726	18,510
22,915	16,422	21	24,998	18,304	21	27,080	18,601
24,061	16,650	22	26,248	18,076	22	28,434	19,334
25,207	16,618	23	27,498	18,289	23	29,788	19,900
26,353	16,579	24	28,748	17,283	24	31,142	19,481
27,498	16,811	25	29,998	17,422	25	32,496	19,103
28,644	16,625	26	31,248	17,894	26	33,850	18,768
29,790	16,707	27	32,498	17,7440	27	35,204	19,146
30,936	16,711	28	33,748	17,335	28	36,558	19,322
32,082	16,316	29	34,998	18,229	29	37,912	19,226
33,227	16,478	30	36,248	18,296	30	39,266	19,116
34,373	16,905	31	37,498	17,349	31	40,620	19,079
35,519	17,271	32	38,747	17,887	32	41,974	18,397
36,665	17,302	33	39,997	18,491	33	43,328	19,539
37,810	18,3	34	41,247	18,163	34	44,682	19,876
38,956	18,313	35	42,497	17,674	35	46,036	19,221
40,102	18,439	36	43,747	18,195	36	47,39	18,980
41,248	19,506	37	44,997	19,387	37	48,744	21,122
42,393	19,587	38	46,247	21,024	38	50,098	21,363
43,539	22,691	39	47,497	25,693	39	51,452	23,210
44,685	27,862	40	48,747	32,415	40	52,806	24,771
45,831	34,083	41	49,997	22,804	41	54,16	29,132

---



---

---



---

46,977	38,769	42	51,247	34,847	42	55,514	40,140
48,122	66,414	43	52,497	49,204	43	56,868	59,481
49,268	90,504	44	53,746	68,228	44	58,222	74,392
50,414	92,915	45	54,996	105,940	45	59,576	66,448
51,560	119,950	46	56,246	136,740	46	60,930	100,030
52,705	171,320	47	57,496	168,220	47	62,284	165,440
53,851	208,270	48	58,746	215,960	48	63,638	238,850
54,997	573,540	49	59,996	499,980	49	64,992	522,890

### Lampiran 3. Data *Equivalent Stress*

Data Frekuensi Natural Ketebalan 2 mm dengan Penambahan Panjang *Overlap*

Mode	Frequency [Hz]	Mode	Frequency [Hz]	Mode	Frequency [Hz]
1	48,995	1	45,494	1	47,181
2	339,61	2	309,99	2	328,26
3	351,71	3	318,96	3	329,3
4	5,66E+02	4	5,31E+02	4	5,48E+02
5	8,66E+02	5	7,99E+02	5	8,30E+02
6	1,08E+03	6	9,98E+02	6	1,03E+03
7	2094,2	7	1821,7	7	1948,1
8	2354	8	2127,1	8	2233,7
9	2636,4	9	2469,8	9	2550,5
10	2895,5	10	2591,6	10	2725,8

Data Frekuensi Natural Ketebalan 2.27 mm dengan Penambahan Panjang *Overlap*

Mode	Frequency [Hz]	Mode	Frequency [Hz]	Mode	Frequency [Hz]
1	55,583	1	51,613	1	53,529
2	378,79	2	350,01	2	365,95
3	396,96	3	355,46	3	371,76
4	5,71E+02	4	5,36E+02	4	5,54E+02
5	9,79E+02	5	9,04E+02	5	9,39E+02
6	1,21E+03	6	1122,1	6	1,16E+03
7	2354,7	7	2048,6	7	2190,3
8	2537,1	8	2329,7	8	2430,7
9	2743,5	9	2532,4	9	2629,9
10	3253	10	2913,6	10	3062,9

Data Frekuensi Natural Ketebalan 2.54 mm dengan Penambahan Panjang *Overlap*

Mode	Frequency [Hz]	Mode	Frequency [Hz]	Mode	Frequency [Hz]
1	62,153	1	57,744	1	59,887
2	414,43	2	389,67	2	401,43
3	441,46	3	3,90E+02	3	4,15E+02
4	579,56	4	5,45E+02	4	561,86
5	1090	5	1009,1	5	1047,7
6	1,34E+03	6	1248	6	1292,5
7	2577	7	2278,9	7	2435,8
8	2608,4	8	2405,7	8	2489,5
9	2983,5	9	2723,3	9	2850,1
10	3599	10	3240,9	10	3404,7

---

**Lampiran 3. Data *Shear Strength***

Shear Strength			
L/t	55 mm	60 mm	65 mm
2 mm	297,84	301,18	307,88
2.27 mm	332,89	339,84	310,22
2.54 mm	359,97	333,58	332,93

Shear Strength			
t/L	2 mm	2.27 mm	2.54 mm
55 mm	297,84	332,89	359,97
60 mm	301,18	339,84	333,58
65 mm	307,88	310,22	332,93

---

**Lampiran 4.** Autentifikasi Tugas Akhir

FinalProject  
*By* Cut Irma

---

WORD COUNT 10309

TIME SUBMITTED 23-JAN-2020 03:21PM  
PAPER ID 54082128



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Komposit jika diartikan mengikuti istilah material komposit ialah gabungan dua atau lebih pada skala makroskopis untuk menghasilkan material yang berguna. Beberapa material yang berbeda dapat digabungkan dalam skala mikroskopis, seperti contohnya paduan logam karena hanya dapat dilihat secara mikroskop. Hal ini berbeda dengan komposit yang pembuatannya skala makroskopis dimana masih mampu diidentifikasi dengan visual mata saja. Beberapa sifat yang dapat ditingkatkan dengan material komposit ialah *fatigue life*, kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, dan lain lain. Alamiannya sifat-sifat tersebut tidak dapat dimaksimalkan atau ditingkatkan dalam waktu yang bersamaan. Seperti contohnya termal insulasi berlawanan dengan termal konduktivitas. Sehingga tujuan dari komposit kebanyakan adalah membuat satu sifat mekanik khusus saja (Jones, 1999). Teknik penyambungan adhesif telah berhasil menggantikan teknik penyambungan mekanik menggunakan baut dan paku keling karena mampu menghilangkan kerugian yang disebabkan oleh sambungan mekanik. Teknik penyambungan adhesif saat ini sedang dikembangkan untuk pembebanan dinamis dan statis. Untuk mendapatkan desain adhesive joint yang baik dibutuhkan pemahaman tentang mekanisme deformasi dan adhesi yang baik dibawah pembebanan dinamis maupun statis. Oleh karena itu, *service life* sambungan adhesive menjadi pertimbangan utama karena beban harmonik menyebabkan *fatigue* lokal pada material adhesive dan *adherent*. Akibatnya, karakteristik dinamis dari adhesive *joint* menjadi sangat penting dalam aplikasinya (Apalak & Yildirim, 2009).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Apalak & Yildirim, 2009) mengatakan bahwa analisa vibrasi tiga dimensi serta Analisa *modal stress* dari sambungan adhesive *single lap joints* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah *fiber angle*,

## FinalProject

### ORIGINALITY REPORT

8%

### SIMILARITY INDEX

#### PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet	168 words — 2%
2	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet	87 words — 1%
3	<a href="https://www.adhesives.org">www.adhesives.org</a> Internet	85 words — 1%
4	L LEE. "Adhesive and sealant chemistry". <i>Applied Polymer Science 21st Century</i> , 2000 Crossref	64 words — 1%
5	<a href="https://thesis.library.caltech.edu">thesis.library.caltech.edu</a> Internet	45 words — < 1%
6	<a href="https://docobook.com">docobook.com</a> Internet	41 words — < 1%
7	<a href="https://repository.tudelft.nl">repository.tudelft.nl</a> Internet	36 words — < 1%
8	"Structural Adhesives", Springer Nature, 1986 Crossref	35 words — < 1%
9	<a href="https://id.123dok.com">id.123dok.com</a> Internet	33 words — < 1%
10	LIENG-HUANG LEE. "ADHESIVE AND SEALANT CHEMISTRY", Elsevier BV, 2000 Crossref	31 words — < 1%

[tel.archives-ouvertes.fr](https://tel.archives-ouvertes.fr)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Cut Irmafitri dengan nama panggilan Cut. Lahir di Surabaya pada tanggal 14 Desember 1997, merupakan terakhir dari Bapak Teuku Irmain dan Ibu Mufida. Penulis mengawali jenjang Pendidikan di TK Ta'Miriyah, SDN Kaliasin I Kota Surabaya, SMPN 3 Kota Surabaya dan SMA Al Izzah Kota Batu. Kemudian penulis melanjutkan jenjang Pendidikan S1 di Departemen Teknik Material dan Metalurgi pada tahun 2016. Selama berkuliah penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan namun paling aktif dalam pengurus tim Antasena ITS serta beberapa kali mengikuti kegiatan dari ITS IO yaitu Universitas Kumamoto Jepang dan Universitas National Chung Hsing University Taiwan. Berikut email penulis yaitu [cutirma1412@gmail.com](mailto:cutirma1412@gmail.com)