



TUGAS AKHIR –TL184834

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

**BOBBY YUSUF HAKA
NRP. 02511640000018**

**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**



TUGAS AKHIR–TL 184834

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

BOBBY YUSUF HAKA
NRP. 02511640000018

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
CYLINDER SINGLE LAP JOINT BASED ON
VARIATIONS OF CYLINDER THICKNESS AND
OVERLAP LENGTH FOR OPTIMIZATION OF JOINT
STRENGTH AND VIBRATION RESISTANCE**

BOBBY YUSUF HAKA
NRP. 02511640000018

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
SILINDER KOMPOSIT TIPE SINGLE LAP JOINT
BERDASARKAN VARIASI PANJANG OVERLAP DAN
KETEBALAN SILINDER 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:

BOBBY YUSUF HAKA

NRP 02511640000018

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)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

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

Nama	: Bobby Yusuf Haka
NRP	: 02511640000018
Departemen	: Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I	: Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D.
Pembimbing II	: Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

Abstrak

Teknik penyambungan menggunakan adhesif telah banyak digunakan pada sambungan struktural material komposit atau logam untuk berbagai bidang aplikasi seperti industri kelautan, pesawat terbang, otomotif, kereta api dan konstruksi sipil. Tipe sambungan adhesif single lap joint menawarkan banyak kelebihan dalam hal penghematan waktu & biaya, memiliki karakteristik redaman yang baik, serta memberikan kekuatan yang tinggi dibandingkan teknik penyambungan konvensional lainnya. Dalam penelitian ini dilakukan analisa getaran bebas dan pembebanan statis terhadap sambungan adhesif silinder komposit tipe single lap joint menggunakan ANSYS workbench 17.1 dengan menggunakan solver modal analysis dan static structural. Optimisasi kemudian dilakukan untuk mendapatkan desain geometri yang optimal untuk optimasi kekuatan sambungan dan ketahanan vibrasi. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai shear strength dan frekuensi natural untuk setiap variasi geometri. Data hasil simulasi menunjukkan dengan bertambahnya ketebalan dan panjang overlap meningkatkan nilai shear strength dan frekuensi natural, sehingga ketebalan dan panjang overlap merupakan parameter desain geometri yang penting terhadap kekuatan sambungan dan ketahanan vibrasi. Dalam penelitian ini disimpulkan bahwa ketebalan 2,54 mm dan overlap 70 mm

merupakan geometri yang optimum dalam desain sambungan silinder komposit tipe single lap joint untuk kekuatan sambungan dan ketahanan vibrasi.

Kata Kunci: *Adhesive single lap joint, Kekuatan sambungan, Ketahanan vibrasi, Ketebalan silinder, Panjang overlap.*

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

Student Name : Bobby Yusuf Haka
NRP : 02511640000018
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Supervisor I : Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D.
Co-Supervisor II : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

Abstract

Adhesive bonding is widely used for metal or composite joining in marine, aircraft, automotive, railroad, and civil construction industry. Adhesive single lap joint offers many advantages in terms of time & cost savings, has good damping characteristics, and provides high strength compared to other conventional joint. In this study, an analysis of free vibration and static loading of cylinder composite single lap joint was carried out using solver modal analysis and static structural in ANSYS workbench 17.1. Optimization is then carried out to obtain the optimal design for optimization of joint strength and vibration resistance. Based on the simulation results, it is obtained the value of shear strength and natural frequency for each geometry variation. Simulation result shows that increasing thickness and overlap length effect the value of shear strength and natural frequency, so thickness and length of overlap are important geometrical design parameters for joint strength and vibration resistance. In this study it was concluded that the thickness of 2.54 mm and 70 mm overlap length were the optimum geometry of an adhesive single lap joint for joint strength and vibration resistance.

Keywords: Adhesive single lap joint, Cylinder thickness, Overlap length, Joint strength, Vibration resistance.

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Simulasi Elemen Hingga Pada Sambungan Silinder Komposit Tipe *Single Lap Joint* Berdasarkan Variasi Panjang Overlap dan Ketebalan Silinder Untuk Optimasi Kekuatan Sambungan dan Ketahanan Vibrasi”**. Penulis ingin berterima kasih juga 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 memberikan bimbingan dan motivasi serta pelajaran yang tak ternilai harganya.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
3. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberi nasihat selama perkuliahan di Departemen Teknik Material.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan. Penulis berharap pembaca dapat mengambil ilmu yang ada serta memberikan kritik dan/saran untuk perkembangan teknologi yang lebih baik.

Surabaya, Januari 2020
Penulis

Bobby Yusuf Haka

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Komposit.....	8
2.2.1 Komponen Penyusun.....	9
2.3 <i>Polymer Matrix Composite</i> (PMC).....	10
2.3.1 Resin Epoksi.....	10
2.4 Penguat (<i>Reinforcement</i>).....	11
2.4.1 Grafit Fiber.....	11
2.5 Sambungan Adhesif.....	12
2.5.1 Pengaruh Panjang <i>Overlap</i>	17
2.5.2 Pengaruh Ketebalan Adherend.....	18
2.5.3 Pengaruh Ketebalan Adhesif.....	18
2.6 Lap Shear Stress.....	18
2.7 Persamaan Gerak Dinamis.....	21
2.8 Komposit Laminat	22
2.8.1 Material Orthotropik	24
2.8.2 Lamina Isotropik Transversal.....	25
2.9 Mikromekanik Komposit.....	25
2.10 Metode Elemen Hingga	26

2.11	Optimalisasi Komposit.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Diagram Alir	31
3.2	Desain Penelitian	32
3.2.1	Variabel Beban	32
3.2.2	Variabel Respon	33
3.2.3	Variabel Proses.....	33
3.3	Spesifikasi Material	33
3.3.1	Desain Silinder Komposit <i>Single Lap Joint</i>	34
3.4	Variasi Desain Geometri.....	35
3.4.1	Variasi Panjang <i>Overlap</i>	35
3.4.2	Variasi Ketebalan Silinder.....	36
3.5	Peralatan dan <i>Software</i> Penelitian.....	36
3.6	Permodelan dengan ANSYS Workbench 17.1	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Simulasi Analisa Statis dan Sambungan Silinder Komposit Tipe <i>Single Lap Joint</i>	43
4.1.1	Analisa Pengaruh Pertambahan Panjang <i>Overlap</i> Terhadap Kekuatan Sambungan.....	45
4.1.2	Analisa Pengaruh Pertambahan Ketebalan Silinder Terhadap Kekuatan Sambungan	54
4.2	Simulasi Analisa Getaran Bebas pada Sambungan Silinder Komposit Tipe <i>Single Lap Joint</i>	62
4.2.1	<i>Mode Shape</i> Vibrasi Modal Analysis	62
4.2.2	Analisa Pengaruh Pertambahan Panjang <i>Overlap</i> Terhadap Ketahanan Vibrasi	65
4.2.3	Analisa Pengaruh Pertambahan Ketebalan Silinder Terhadap Ketahanan Vibrasi	67
4.3	Optimasi Desain Sambungan Adhesif <i>Single Lap Joint</i>	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	73

DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	79
UCAPAN TERIMA KASIH.....	95
BIODATA PENULIS.....	97

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbandingan antara material monolitik konvensional dengan material komposit .	8
Gambar 2.2	Fase komposit material	9
Gambar 2.3	Struktur kimia epoksi	10
Gambar 2.4	Struktur kristal grafit.	12
Gambar 2.5	Skema sambungan adhesif	12
Gambar 2.6	Sambungan adhesif tipe <i>lap joint</i>	13
Gambar 2.7	Skema pembebanan geser pada <i>single lap joint</i>	19
Gambar 2.8	Ilustrasi faktor momen Golland dan Reissner	21
Gambar 2.9	Konfigurasi lay-up pada komposit lamina (a) Unidirectional, (b) Quasi isotropic	22
Gambar 2.10	Material <i>orthotropic</i>	24
Gambar 2.11	Transformasi sumbu koordinat, jika ada 2 bidang merupakan bidang simetri, yaitu bidang $z = 0$ dan bidang $x = 0$	24
Gambar 2.12	Proses fabrikasi <i>advanced engineering systems</i>	26
Gambar 2.13	Mesh dari sambungan engsel	28
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	32
Gambar 3.2	Kurva stress-strain epoksi	33
Gambar 3.3	Tampak depan desain sambungan tipe <i>single lap joint</i> pada silinder	34
Gambar 3.4	Panjang <i>overlap</i> 50 mm	35
Gambar 3.5	Panjang <i>overlap</i> 60 mm	35
Gambar 3.6	Panjang <i>overlap</i> 70 mm	36
Gambar 3.7	Variasi ketebalan pada silinder tipe <i>single lap joint</i> (a) 2 mm; (b) 2,27 mm (c) 2,54 mm	36
Gambar 3.8	Software yang digunakan (a) Inventor autodesk Pro 2015 (b) ANSYS 17.1.	37
Gambar 3.9	Diagram alir simulasi <i>modal analysis</i> .	38
Gambar 3.10	Diagram alir simulasi <i>static structural</i>	39

Gambar 3.11	3D model silinder komposit tipe <i>single lap joint</i>	40
Gambar 3.12	<i>Meshing</i> 3D model silinder komposit tipe <i>single lap joint</i>	40
Gambar 3.13	Pengaturan <i>boundary conditions</i> pada simulasi (a) <i>fix Support</i> pada tepi silinder terluar, (b) <i>displacement</i> arah x pada silinder bagian dalam, (c) input mode vibrasi	42
Gambar 4.1	Deformasi Sambungan adhesif tipe <i>single lap joint</i> ketebalan 2 mm dengan <i>overlap</i> (a) 50 mm, (b) 60 mm, (c) 70 mm; ketebalan 2,27 mm dengan <i>overlap</i> (d) 50 mm, (e) 60 mm, (f) 70 mm; ketebalan 2,54 mm dengan <i>overlap</i> (g) 50 mm, (h) 60 mm, (i) 70 mm.....	44
Gambar 4.2	<i>Path</i> pada <i>surface</i> adhesif.....	45
Gambar 4.3	Pengaruh pertambahan panjang <i>overlap</i> terhadap distribusi <i>shear stress</i> dan <i>equivalent stress</i> pada sambungan adhesif tipe <i>single lap joint</i> untuk ketebalan (a) 2 mm, (b) 2,27 mm dan (c) 2,54 mm.....	48
Gambar 4.4	Hasil simulasi pada daerah sambungan adhesif ketebalan 2 mm dengan <i>overlap</i> (a) 50 mm, (b) 60 mm, (c) 70 mm; ketebalan 2,27 mm dengan <i>overlap</i> (d) 50 mm, (e) 60 mm, (f) 70 mm; ketebalan 2,54 mm dengan <i>overlap</i> (g) 50 mm, (h) 60 mm, (i) 70 mm	51
Gambar 4.5	<i>Path</i> pada <i>surface</i> adhesif.....	54
Gambar 4.6	Pengaruh pertambahan ketebalan silinder terhadap distribusi <i>shear stress</i> dan <i>equivalent stress</i> pada sambungan adhesif tipe <i>single lap joint</i> untuk <i>overlap</i> (a) 50 mm, (b) 60 mm dan (c) 70 mm.....	57
Gambar 4.7	Hasil simulasi pada daerah sambungan adhesif <i>overlap</i> 50 mm dengan ketebalan (a) 2 mm, (b) 2,27 mm, (c) 2,54 mm; <i>overlap</i> 60	

	mm dengan ketebalan (d) 2 mm, (e) 2,27 mm, (f) 2,54 mm; <i>overlap</i> 70 mm dengan ketebalan (g) 2 mm, (h) 2,27 mm, (i) 2,54 mm.....	54
Gambar 4.8	Sepuluh mode vibrasi pada silinder komposit tipe <i>single lap joint</i> dengan konfigurasi ($R=12.5$ mm, $L=250$ mm, $c=50$ mm, $t_1=2$ mm, $t_2= 0.2$ mm) pada mode (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, (f) 6, (g) 7, (h) 8, (i) 9, (j) 10	63
Gambar 4.9	Hubungan mode vibrasi dan frekuensi natural terhadap variasi panjang <i>overlap</i> untuk ketebalan (a) 2 mm, (b) 2,27 mm dan (c) 2,54 mm.....	66
Gambar 4.10	Hubungan mode vibrasi dan frekuensi natural terhadap variasi ketebalan silinder untuk <i>overlap</i> (a) 50 mm, (b) 60 mm dan (c) 70 mm	68
Gambar 4.11	Kekuatan sambungan pada variasi <i>overlap</i>	70
Gambar 4.12	Kekuatan sambungan pada variasi ketebalan.....	71
Gambar 4.13	Persentase pertambahan panjang <i>overlap</i> dan ketebalan silinder terhadap frekuensi natural.....	71

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian-penelitian sebelumnya	5
Tabel 2.2	Perbandingan jenis-jenis tipe sambungan.....	13
Tabel 2.3	Sifat dari 3 adhesif paling umum digunakan dalam aplikasi industri.....	15
Tabel 2.4	Keuntungan & kekurangan dari 5 adhesif paling umum digunakan.....	16
Tabel 2.5	Konsep dasar dalam <i>finite element method</i>	29
Tabel 3.1	Sifat mekanik grafit fiber, resin epoksi & lamina	33
Tabel 3.2	Konfigurasi sambungan dan variasi desain.....	34
Tabel 4.1	Nilai kekuatan sambungan dan frekuensi natural	72

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Idealnya suatu desain komponen akan dirancang tanpa menggunakan sambungan karena dapat menjadi sumber titik terlemah dan menambah beban struktural. Akan tetapi, keterbatasan dalam ukuran komponen akibat proses manufaktur, inspeksi, aksesibilitas, transportasi dan perakitan mengharuskan desain sambungan ada dalam struktur komponen (Das, 2010). Teknik penyambungan menggunakan baut atau paku keling telah lama digunakan dalam industri konstruksi dan manufaktur dikarenakan proses pemasangannya yang sederhana. Kenyataannya meskipun sederhana dalam aplikasinya, penyambungan menggunakan baut atau paku keling sering mengalami kerusakan pada bagian lubang saat menerima benturan dan beban yang tinggi akibat adanya konsentrasi tegangan. Selain itu penggunaan pengencang mekanik juga dapat menambah berat struktural material (Asngali, 2016).

Penggunaan perekat adhesif kini menjadi alternatif dalam penyambungan material komposit atau pun logam karena jauh lebih ringan dan menyebarkan stress lebih seragam melalui sambungan. Permintaan perekat adhesif terus meningkat dimulai pada tahun 2009, terlihat pada industri *automobile* konsumsi adhesif rata-rata untuk satu produk mencapai 20 kg dan diprediksikan akan terus meningkat sebesar 7% sampai 10 tahun mendatang. Pada industri penerbangan yaitu Boeing 787 dan Airbus A350 terlihat adanya dominasi desain sambungan adhesif sebanyak 50%. Penggunaan adhesif yang meluas ini disebabkan oleh kemudahan dalam penggunaannya, penghematan waktu dan biaya, ketahanan terhadap korosi dan *fatigue* yang tinggi, serta memiliki karakteristik redaman yang baik (Xiaocong, 2011). Akan tetapi, adhesi dan mekanisme deformasi sambungan adhesif menjadi rumit dibawah pembebanan statis dan dinamis. Dalam aplikasinya, beban harmonik dan *impact* menyebabkan sambungan

mengalami getaran harmonik teredam yang dapat mempengaruhi kekuatan sambungan dan masa pemakaiannya. Respon dinamis sambungan adhesif terhadap beban harmonik perlu dipelajari untuk mencapai umur pemakaian yang panjang. Hal itu dapat dipelajari melalui analisa getaran bebas (*free vibration analysis*) dengan mengetahui frekuensi natural dan *mode shapes* dari desain sambungan adhesif sehingga kekuatan dan umur pemakaian pada sambungan adhesif dapat ditingkatkan berdasarkan mode vibrasi yang paling kritis.

Menurut Saito (1984) & Lin (1995) menyatakan bahwa dimensi geometris seperti panjang *overlap* dan ketebalan adherend memiliki pengaruh penting terhadap frekuensi natural dan mode vibrasi pada logam dan komposit *single lap joint*. Penelitian sebelumnya Apalak (2007) mendapatkan bahwa panjang *overlap* dan ketebalan menjadi parameter penting terhadap frekuensi natural dan mode vibrasi akan tetapi belum mendapatkan hasil yang optimal karena meningkatkan ketebalan silinder ternyata menurunkan frekuensi naturalnya. Kekuatan sambungan adhesif menurut penelitian Aydin (2012) meningkat dengan meningkatnya ketebalan adherend. Penelitian lain yang dilakukan oleh Kadioglu (2019) bahwa stress pada layer adhesif akan semakin mengecil dengan meningkatnya panjang *overlap*.

Dalam penelitian ini terfokus pada analisa desain sambungan silinder komposit dengan perekat adhesif. Investigasi berfokus pada parameter geometri silinder komposit seperti ketebalan silinder (t_1) dan panjang *overlap* (c), sehingga mendapatkan desain yang optimal untuk desain sambungan silinder komposit *single lap joint* dengan menggunakan perekat adhesif.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh ketebalan silinder dan panjang *overlap* terhadap kekuatan sambungan?

2. Bagaimana pengaruh ketebalan silinder dan panjang *overlap* terhadap ketahanan vibrasi?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Material komposit dianggap sempurna tanpa cacat.
2. Pengaruh temperatur diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

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

1.5 Manfaat Penelitian

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang penelitian sebelumnya yang memiliki keterkaitan dengan simulasi sambungan adhesif tipe *single lap joint* dan beberapa dasar teori penunjang yang memiliki relevansi terhadap topik pada penelitian ini.

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya terkait sambungan adhesif *single lap joint* terangkum dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Penelitian - penelitian sebelumnya

NO	Peneliti	Metode	Hasil
1	Apalak (2007)	Menggunakan metode 3D FEA dan back-propagation ANN. Investigasi variasi ketebalan tabung, <i>overlap length</i> , radius tabung dalam, sudut serat, fraksi volume serat, terhadap frekuensi natural dan <i>mode shape</i> dari sambungan adhesif	1. Semua desain parameter menjadi parameter penting terhadap frekuensi natural dan <i>mode shapes</i> 2. Penambahan ketebalan silinder bagian dalam menurunkan frekuensi natural
2	Gunes (2007)	Menggunakan metode 3D FEA dan back-propagation ANN Investigasi variasi poisson rasio, densitas, modulus	1. Sifat material adhesif, seperti modulus elastisitas, poisson ratio, dan densitas memiliki pengaruh yang dapat

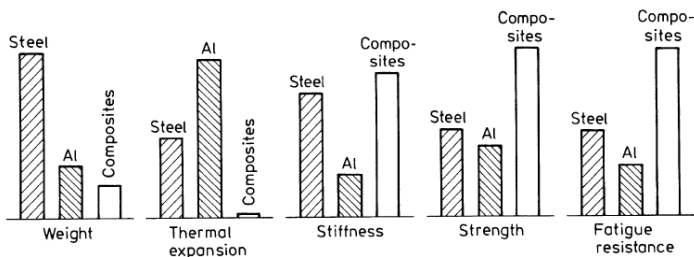
		elastisitas, ketebalan adhesif, ketebalan pelat, <i>overlap length</i>, dan eksponen gradient komposisi terhadap frekuensi natural dan <i>mode shape</i> dari sambungan adhesif	diabaikan pada 10 frekuensi natural pertama dan <i>mode shape</i> dari sambungan adhesif.
3	Apalak (2008)	Investigasi 3D <i>free vibration behaviour</i> dengan variasi kondisi pada bagian tepi adherend.	2. Panjang <i>overlap</i> harus dibuat lebih besar sedangkan ketebalan dibuat lebih kecil untuk meningkatkan frekuensi natural. Support length, ketebalan pelat, dan panjang sambungan (<i>overlap length</i>) menjadi parameter penting dalam frekuensi natural, <i>modal strain energy</i> dan <i>mode shape</i>
4	Apalak (2009)	Investigasi efek variasi sudut serat, fraksi volume serat, <i>overlap length</i>, dan ketebalan pelat SLJ terhadap frekuensi natural dan <i>mode shape</i> dari sambungan adhesif	1. Sudut serat menjadi parameter dominan daripada fraksi volume serat 2. Panjang <i>overlap</i> dan ketebalan pelat memiliki

			peran penting karena sangat berpengaruh terhadap frekuensi natural dan <i>mode shape</i>
5	Gunes (2011)	Menggunakan metode ANN dan G. Investigasi variasi ketebalan tabung, radius tabung dalam, <i>overlap length</i> dan eksponen gradient komposisi pada TSLJ terhadap <i>free vibration behaviour</i>	Ketebalan silinder, radius tabung bagian dalam adalah yang paling dominan dibandingkan desain parameter lainnya.
6	Aydin (2012)	Menggunakan metode elemen hingga non-linear untuk pendekatan dalam prediksi kegagalan dan kekuatan pada sambungan adhesif FM 73	Kekuatan sambungan meningkat dengan membuat ketebalan adherend menjadi lebih besar.
7	Kadioglu (2019)	Studi pengaruh panjang <i>overlap</i> dan ketebalan adherend terhadap performa material pada bolted, adhesif dan hybrid joint.	Stress pada layer adhesif mengecil dengan meningkatkan panjang <i>overlap</i> .

2.2 Komposit

Material komposit merupakan gabungan dari dua buah material atau lebih dengan tujuan mendapatkan material baru yang memiliki sifat yang lebih unggul dengan menggabungkan sifat mekanik dari material penyusunnya. Keuntungan dari material komposit adalah memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi dengan densitas yang ringan sehingga dapat mengurangi berat struktur suatu material. Selain itu material komposit juga memiliki ketahanan terdapat fatigue dan korosi yang baik dan pembuatannya yang mudah sehingga dapat dibentuk sesuai desain produk (Campbell, 2010).

Menurut Chawla (1998), material komposit telah mampu menggantikan peran material konvensional monolitik pada aplikasi struktur pesawat terbang, otomotif dan kapal karena memiliki kelebihan dibandingkan material konvensional. Pada Gambar 2.1 material komposit memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan material baja dan aluminium dengan berat yang lebih ringan. Material komposit juga memiliki ekspansi thermal yang rendah dan ketahanan terhadap korosi yang sangat baik dibandingkan dengan material baja dan aluminium.



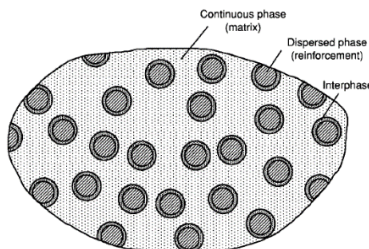
Gambar 2.1 Perbandingan antara material monolitik konvensional dengan material komposit (Chawla, 1998)

Perkembangan teknologi yang lebih lanjut sangat bergantung pada kemajuan inovasi di bidang material salah satunya material komposit. Menggabungkan dua material atau

lebih untuk mendapatkan material baru dengan sifat yang lebih sempurna menawarkan banyak kemungkinan untuk terus dapat ditingkatkan. Optimalisasi pada material komposit sudah tidak hanya terfokus pada matriks dan penguatnya tetapi juga dalam proses pembuatannya, hal ini bertujuan untuk mendapatkan material komposit dengan kualitas yang memenuhi persyaratan untuk aplikasi tertentu. Komposit juga menawarkan fleksibilitas desain yang menarik karena dapat diproduksi untuk bentuk yang kompleks. Semua hal itu tentunya dapat dicapai dengan teknik penerapan yang tepat melalui permodelan, prediksi, serta optimalisasi sifat material komposit dan proses manufakturnya (Carlone, 2015).

2.2.1 Komponen Penyusun

Menurut Daniel (2006), komposit tersusun dari dua fase atau lebih pada skala makroskopik seperti pada Gambar 2.2. Salah satu fasenya memiliki sifat diskontinyu, kuat dan kaku yang disebut *reinforcement/fiber*, sedangkan yang kurang kuat, lemah dan kontinyu adalah matriks. Tekadang karena pengaruh interaksi kimia atau akibat dari suatu proses lainnya muncul sebuah fase diantara matriks dan *reinforcement* yang disebut *interphase*. Fiber sangat berperan dalam memberikan kekuatan dan kekakuan pada struktur komposit, sedangkan matriks mampu memberikan ketahanan pada temperatur tinggi, tegangan geser dan turut berperan dalam mendistribusikan beban dengan baik.



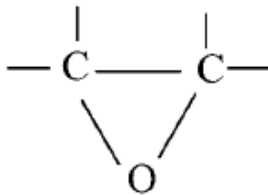
Gambar 2.2 Fase komposit material (Daniel, 2006)

2.3 *Polymer Matrix Composite (PMC)*

Polimer secara umum merupakan senyawa organik berbasis hidrokarbon serta elemen non-logam lainnya. PMC termasuk kelompok material komposit yang paling banyak diaplikasikan karena mudah untuk dibuat menjadi bentuk yang sangat kompleks. Matriks pada PMC menggunakan jenis polimer termoplastik dan termoset. Perbedaan yang signifikan dari kedua jenis polimer tersebut yaitu termoplastik mudah melunak ketika dipanaskan mencapai temperature transisi kaca (T_g). Sebaliknya, termoset tidak mudah melunak ketika dipanaskan karena struktur termoset berikatan silang (*crosslinked*) dan memiliki ikatan kovalen (Akovali, 2001).

2.3.1 Resin Epoksi

Menurut Campbell (2010), epoksi menjadi matriks yang paling umum digunakan untuk komposit dengan perfoma yang tinggi karena memiliki kombinasi terbaik dari segi kekuatan, adhesi, penyusutan yang rendah, dan fleksibilitas dalam pemrosesan. Epoksi merupakan senyawa eter siklik dengan ciri khas cincin berbentuk segitiga atau *oxirane ring* seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur kimia epoksi (Campbell, 2010)

Epoksi dapat diformulasikan untuk tahan terhadap air dan panas. Aplikasi dari epoksi paling banyak terdapat pada industri dirgantara untuk body pesawat terbang atau pun rudal. Epoksi juga diaplikasikan dalam pengecoran untuk prototipe cetakan dan pola (Barbero, 2017).

2.4 Penguat (*Reinforcement*)

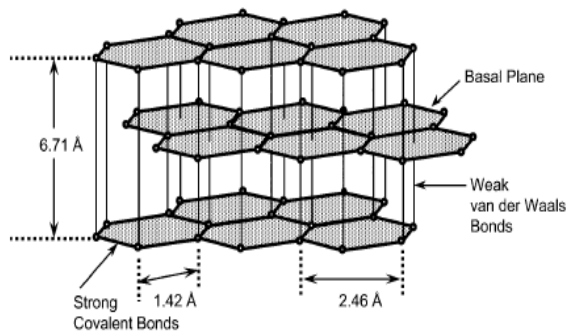
Penguat (*reinforcement*) adalah salah satu bagian utama dari komposit yang berperan untuk menahan beban yang diterima oleh material komposit sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan. Material penguat biasanya kaku dan tangguh. Material penguat yang umum digunakan adalah jenis partikel, serat serat alam, serat karbon, serat kaca dan keramik. Menurut Campbell (2010), ada 3 jenis material komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu:

1. Komposit serat (*fibrous composites*) merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu laminat atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat. Serat yang digunakan bisa berupa logam, polimer dan keramik. Jenis-jenis serat tersebut antara lain: serat kaca atau *glass fibers* (*E-Glass* dan *S-Glass*), serat karbon atau *carbon fibers*, serat boron, serat karbida silikon (SiC), serat aramid, dan serat alami/natural. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.
2. Komposit laminat (*laminated composites*) merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sendiri.
3. Komposit partikel (*particulate composites*) merupakan komposit yang menggunakan partikel/serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.

2.4.1 Grafit Fiber

Grafit dan karbon fiber merupakan serat yang paling banyak digunakan untuk pembuatan material komposit karena dapat diproduksi dengan berbagai macam properti. Dalam aplikasinya mereka menunjukkan kekuatan tarik dan tekan yang superior, memiliki ketahanan terhadap fatigue yang sangat baik serta tidak mudah untuk terkorosi. Meskipun istilah grafit dan carbon fiber

sering tertukar, pada dasarnya grafit fiber memiliki kandungan carbon lebih dari 99% dan sering dilakukan perlakuan panas pada temperatur diatas 3000°F (1650°C), sedangkan carbon fiber memiliki kandungan karbon sebesar 93-95% dengan temperatur perlakuan panas yang lebih rendah dari pada grafit fiber. Grafit fiber terdiri dari atom karbon yang tersusun lamelar pada lapisan heksagonal seperti pada Gambar 2.4. Grafit dan karbon fiber dapat dibuat dari *polyacrylonitrile* (PAN), *rayon*, dan *pitch prekursor* (Campbell, 2010).



Gambar 2.4 Struktur kristal grafit (Campbell, 2010)

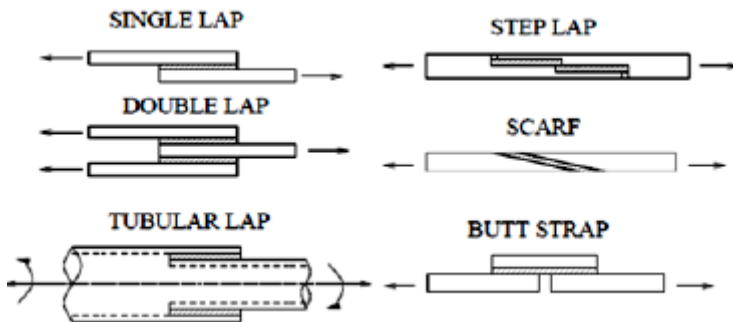
2.5 Sambungan Adhesif

Sambungan adhesif merupakan teknik penyambungan dengan tujuan untuk menghilangkan kerugian dari teknik penyambungan konvensional. Dalam aplikasinya, adhesif digunakan untuk menggabungkan dua bagian yang terpisah yang diletakkan diantara adherend (Campbell, 2010).



Gambar 2.5 Skema sambungan adhesif (Kadam, 2015)

Gambar 2.5 menjelaskan tentang skema sambungan adhesif. Adhesif epoksi terdiri dari epoksi resin yang ditambahkan pengeras (*hardener*). Epoksi akan menjadi keras dan kaku dengan daya rekat yang tinggi setelah proses *curing*. Keuntungan dari sambungan adhesif adalah mampu menggabungkan dua material dengan geometri, ukuran dan komposisi yang berbeda. Selain itu dapat menghilangkan munculnya korosi akibat perbedaan potensial galvanik. Ikatan adhesif juga memberikan fleksibilitas yang tinggi terhadap desain produk yang dapat meningkatkan nilai estetika. Ikatan adhesif dapat mengurangi kebisingan dan getaran serta memperpanjang umur pemakaian karena memiliki ketahanan terhadap *fatigue* dan *impact* yang tinggi (Kadam, 2015). Tipe-tipe dari sambungan adsif dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sambungan adhesif tipe *lap joint* (Shaikh, 2017)

Adapun perbandingan jenis-jenis sambungan dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

	Perbandingan jenis-jenis tipe sambungan			
	Riveting	Welding	Brazing	Adhesive bonding
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

 Catatan:

E – Excellent F – Fair
G – Good P – Poor

Adhesif dipilih karena memiliki kekuatan dan ikatan yang kuat. Umumnya adhesif adalah material dengan kekuatan tarik dan geser yang tinggi. Struktural adhesif merupakan istilah yang digunakan untuk mendefinisikan perekat dengan kekuatan sangat tinggi yang menunjang keberhasilan perakitan (*assembly*). Jenis adhesif paling umum digunakan adalah epoksi, poliuretan dan akrilik. Sifat dari adhesif dapat dilihat pada Tabel 2.3 serta kelebihan dan kekurangan pada Tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2.3 Sifat dari 3 adhesif paling umum digunakan dalam aplikasi industri (Petrie, 1999)

	Epoxy	Polyurethane	Modified Acrylic
Substrates Bonded	Most	Most smooth, nonferrous	Most smooth, nonporous
Service Temperature C ^o	-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.	None	None	0.030
Maximum Odor	Mild	Mild	Strong
Toxicity	Moderate	Moderate	Moderate
Flammability	Low	Low	High

Tabel 2.4 Keuntungan & kekurangan dari 3 adhesif paling umum digunakan (Petrie, 1999)

	Epoxy	Polyurethane	Modified-Acrylic
Advantages	High strength	Varying cure times	Good flexibility
	Good solvent resistance	Tough	Good peel and shear strengths
	Good gap filling properties	Excellent flexibility and low temperatures	No mixing required
	Good elevated temperature resistance	One or two component, room temperature or elevated temperature cure	Will bond dirty (oily) surfaces
	Wide range of formulations	Moderate costs	Room temperature cure
	Relatively low cost		Moderate cost
	Exothermic reaction	Both uncured and cured are moisture sensitive	Low hot temperature strength
Disadvantages	Exact proportions needed for optimum properties	Poor elevated temperature resistance	Slower cure than with anaerobics or cyanoacrylate

Two component formulations require exact measuring and mixing	May revert with heat and moisture Short pot life	Toxic Flammable Odor
One component formulations often require refrigerated storage & an elevated T^0 cure	Special mixing and dispensing equipment required	Limited open time Dispensing equipment required
Short pot life		

2.5.1 Pengaruh Panjang *Overlap*

Hasil penelitian Pero (2007), meningkatkan panjang *overlap* membuat kekuatan sambungan menjadi meningkat dikarenakan meningkatnya daerah sambungan. Panjang *overlap* harus dibuat sekitar 30 kali dari ketebalan adherend (Smith, 1994). Stress pada layer adhesif mengecil dengan meningkatkan panjang *overlap* (Kadiouglu, 2019). Adanya hasil untuk memperkuat statis dari sambungan adhesif 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 adhesif, sifat mekanik dari adhesif, sifat mekanik ketebalan, dan juga proses penyambungannya (Shaikh, 2017). Penelitian selanjutnya (Gunes,

2011), menyebutkan bahwa dengan menjadikan nilai natural frekuensi menjadi maksimal dengan panjang *overlap* diperbesar. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Aydin (2012), menghasilkan bahwa adanya peningkatan yang dialami oleh sistem 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*.

2.5.2 Pengaruh Ketebalan Adherend

Hasil dari penelitian yang dilakukan Lee (2013) menyatakan bahwa adanya pengaruh yang diberikan oleh ketebalaran *adherend* terhadap *tensile strength* dan *failure mechanism*. Selain itu, ketebalan dari *adherend* dapat mempengaruhi nilai maksimum dan minimum dari tegangan geser, serta dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang (2016) dengan adanya variasi peningkatan pada ketebalan *adherend* menyebabkan meningkatnya kekuatan pada sambungan karena dengan meningkatkan ketebalan *adherend* membuat sambungan menjadi lebih kaku.

2.5.3 Pengaruh Ketebalan Adhesif

Berdasarkan hasil eksperimen Adam (2007), kekuatan sambungan tertinggi didapatkan ketika ketebalan adhesif pada rentang 0.05-0.5 mm dengan estimasi $\frac{1}{10}$ ketebalan *adherend*. Hull (1996) menyatakan bahwa, 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. Groover (1976), dengan metode elemen hingga mendapatkan *interface stress* meningkat ketika adhesif semakin tebal. Jones (1999) menyatakan bahwa adhesif yang tebal mengandung cacat seperti *void* dan *microcracks*.

2.6 Lap Shear Stress

Penggunaan *lap shear stress* merupakan uji yang digunakan dengan tujuan untuk menghitung (dengan Persamaan 2.1) kekuatan

dari adhesif pada *shear*. Uji ini salah satu yang paling sering digunakan karena spesimen tidak mahal, mudah untuk dibuat, dan sederhana saat diuji. Standard yang digunakan adalah ASTM D 3165 (Petrie, 1999).

Linear Elastic Analysis merupakan analisa paling sederhana dimana jika adherend adalah rigid maka distribusi *stress* akan uniform sedangkan jika adherend adalah elastis maka distribusi *stress* tidak uniform dimana pada ujung sambungan akan tinggi kemudian menurun pada pertengahan *overlap* dan kembali tinggi pada akhir dari sambungan yang diilustrasikan dalam Gambar 2.7.

$$\tau = \frac{P}{bl} \quad (2.1)$$

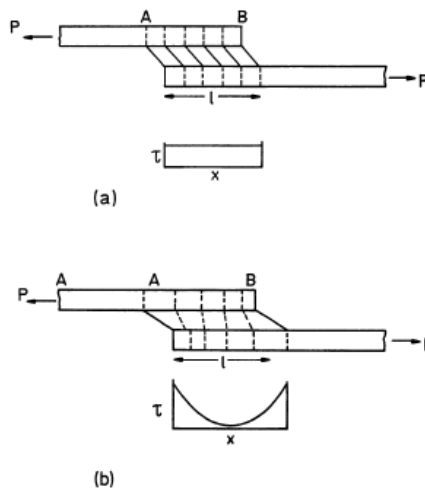
Dimana:

P = Beban yang diberikan

b = Lebar sambungan

l = Panjang *Overlap*

τ = *Adhesive shear stress*



Gambar 2.7 Skema pembebanan geser pada *single lap joint* (Adams, 1984)

Berdasarkan Golland dan Reissner (Adams, 1984), momen bending didapat dengan Persamaan 2.2 dan 2.3.

$$M_o = \frac{P\delta}{2} \quad K = 1 \quad (2.2)$$

$$M_o = \frac{KP\delta}{2} \quad K < 1 \quad (2.3)$$

Dimana:

P = Gaya yang diberikan (N)

K = *Bending Moment Factor*

δ = *Adherend Thickness* (mm)

Tidak ada rotasi pada *overlap* terjadi jika beban yang diberikan pada sambungan terlalu kecil, dalam hal ini $M_o = \frac{P\delta}{2}$ dan $K=1$ ditunjukkan oleh Persamaan 2.2. Apabila gaya meningkat, rotasi *overlap* meningkat dengan ditunjukkan garis aksi beban akan semakin dekat dengan garis tengah adherend, dimana akan menurunkan nilai faktor momen bending (Soliman, 1995). Nilai faktor momen bending dari Golland dan Reissner didapatkan dengan Persamaan 2.4 (Kinloch, 1987) :

$$\frac{1}{K} = 1 + 2(2)^{\frac{1}{2}} \tanh \left\{ \left(\frac{3}{2} (1 - \nu_s^2) \right)^{\frac{1}{2}} \frac{l_a}{2d} \left(\frac{F}{E_s b d} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (2.4)$$

Dimana:

ν_s = Poisson Rasio Adherend

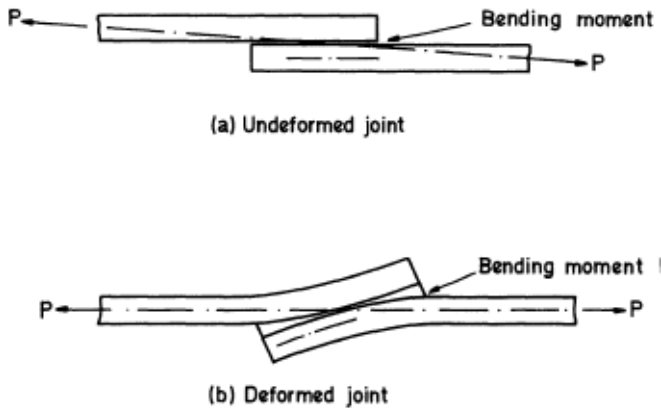
l_a = Panjang *Overlap*

d = Ketebalan Adherend

F = Gaya

E_s = Modulus Elastisitas Adherend

b = Lebar Sambungan



Gambar 2.8 Ilustrasi faktor momen Golland dan Reissner (Adams, 1984)

2.7 Persamaan Gerak Dinamis

Persamaan gerak dinamis suatu struktur dapat diturunkan dengan menggunakan Persamaan 2.5 yaitu Lagrange dan prinsip Hamilton.

$$[M]\ddot{Q}(t) + [K]Q(t) = 0 \quad (2.5)$$

Dimana:

- $[M]$ = mass matrix
- $[K]$ = stiffness matrix
- $\dot{Q}_t$ = vektor nodal percepatan
- $\dot{Q}(t)$ = vektor nodal perpindahan

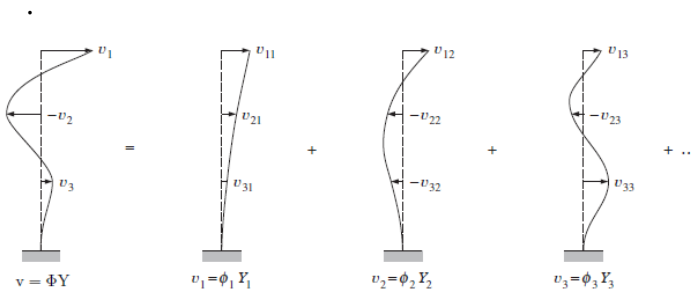
Solusi dari masalah *eigenvalue* ini dijelaskan pada Persamaan 2.6 dan 2.7.

$$\det([K] - \lambda[M]) = \{0\} \quad (2.6)$$

$$\lambda = \omega^2 \quad (2.7)$$

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

Mode shapes atau mode vibrasi adalah pola getaran tertentu yang dilakukan oleh oleh sistem mekanik dengan frekuensi tertentu. Mode vibrasi selalu terikat dengan frekuensi naturalnya dimana *mode shapes* akan berbeda ketika frekuensinya berbeda. Teknik eksperimental dalam menemukan *mode shapes* dan frekuensi natural yang ada dinamakan *modal analysis*. Gambar 2.9 merupakan penggambaran dari *mode shapes* yang berbeda.

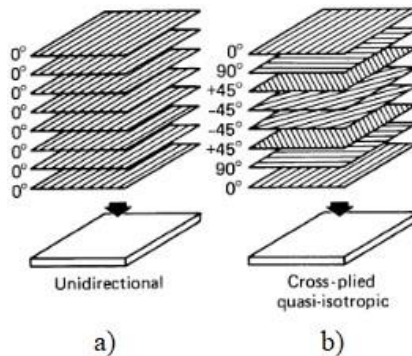


Gambar 2.9 Perpindahan dan modal komponen (Rao, 1989)

2.8 Komposit Laminat

Material komposit merupakan material yang heterogen yang didalamnya terdapat serat-serat yang kontinyu yang menyebabkan perbedaan sifat mekanik di setiap titik pada material komposit lamina. Namun bagaimanapun juga, hubungan tegangan dan regangan komposit lamina bisa diadaptasi dari material homogen dengan mengambil nilai rata-rata tegangan dan regangannya. Pada bagian ini dibahas hubungan tegangan dan regangan pada lamina regangan bidang, *plane strain*, lamina dengan serat *unidirectional* dan kondisi regangan bidang lamina dengan serat unidireksional dan kondisi regangan bidang, *plane stress* tanpa mempertimbangkan material yang membentuk lamina tersebut.

Analisis yang dilakukan dengan cara ini disebut analisis mekanika-makro. Pada tinjauan secara mekanika-makro, komposit dipandang sebagai suatu material yang utuh, tanpa memperhitungkan material pembentuknya, sehingga dalam analisa kekuatan komposit berdasarkan pada kekuatan laminanya (Sulistijono, 2012).



Gambar 2.10 Konfigurasi lay-up pada komposit lamin(a) Unidirectional, (b) Quasi-isotropic (Miracle, 2001)

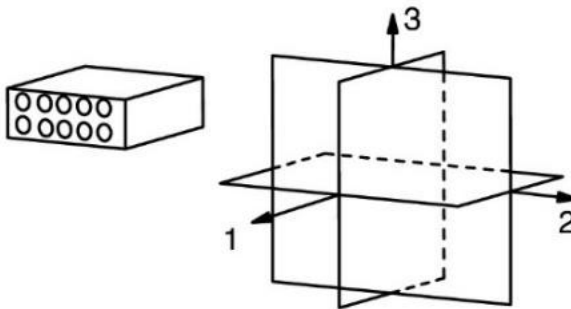
Properties dari setiap lamina ini berbeda-beda tergantung pada beberapa faktor diantaranya adalah arah yang bervariasi antara *layer* ke *layer*. Komposit lamina dapat didesain sesuai dengan kemauan *desainer* tergantung sifat yang ingin dicapai, seperti lebar antar lamina dan konfigurasi arah serat yang diinginkan. Menurut Mallick (2007), ada 7 tipe susunan *laminata* komposit secara umum, yaitu: *unidirectional laminate*, *cross-ply laminate*, *angle-ply laminate*, *symmetric laminate*, *antisymmetric laminate*, *unsymmetric laminate*, dan *quasi-isotropic laminate*. Gambar 2.9 (a) menunjukkan komposit lamina $[0^{\circ}_8]$ 8 *layer* dengan arah serat 0° sementara Gambar 2.9 (b) menunjukkan variasi arah serat yang bermacam-macam.

Menurut hukum Hooke, Ada 5 tipe material berdasarkan interaksi sifat mekanik pada arah koordinat normal dengan arah

gesernya, yaitu anisotropik, monoklinik, orthotropik, isotropik transversal dan isotropik (Kaw, 2006).

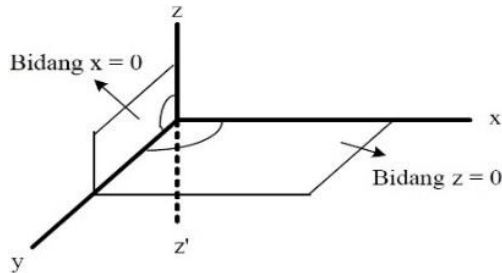
2.8.1 Material Orthotropik

Material orthotropik memiliki tiga bidang simetri yang bertepatan dengan bidang koordinat (gambar 2.10). Komposit unidireksional yang diperkuat serat bisa dianggap orthotropik. Satu bidang simetri tegak lurus terhadap arah serat, dan dua lainnya bisa berupa sepasang bidang yang sejajar dengan arah serat dan ortogonal di antaranya sendiri. Pada material komposit orthotropik selalu memiliki besaran mekanik yang nilainya selalu tetap yang disebut konstanta teknik yang terdiri dari modulus young, rasio poisson dan modulus geser (E , ν dan G). Besaran konstan ini diperoleh dari pengujian tarik uniaksial dan pengujian geser murni. Hanya sembilan konstanta yang diperlukan untuk menggambarkan material orthotropik antara lain: tiga modulus young E_1, E_2, E_3 , tiga *poisson ratio* $\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$ dan tiga modulus geser G_{12}, G_{13}, G_{23} (Barbero, 2017).



Gambar 2.11 Material *orthotropic* (Barbero, 2017)

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 tidak saling mempengaruhinya sifat mekanik arah normal ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) dan gesernya ($\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{31}$). Untuk lebih jelas bisa dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.12 Transformasi sumbu koordinat, jika ada 2 bidang merupakan bidang simetri, yaitu bidang $z = 0$ dan bidang $x = 0$ (Sulistijono, 2012)

2.8.2 Lamina Isotropik Transversal

Diantara orthotropik material dan isotropik terdapat material disebut isotropik transversal. Ini adalah spesial sub dari material orthotropik. Diasumsikan *properties* pada arah 2 dan 3 adalah sama. Isotropik transversal dikarakterisasi dengan bidang isotropik pada tiap titik pada material. Suatu material disebut sebagai isotropik transversal apabila sifat pada bidang kedua identik dengan sifat pada bidang ketiga. Misalnya, $E_2 = E_3$, $\nu_{12} = \nu_{13}$ dan $G_{12} = G_{13}$ (Voyiadji, 2005). 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* ν_{12} , ν_{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).

2.9 Mikromekanik Komposit

Mikromekanik digunakan untuk memprediksi *properties* dari sebuah komposit dengan menggunakan *rule of mixtures* (Persamaan 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13):

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.8)$$

$$E_2 = \frac{E_f E_m}{E_f V_m + E_m V_f} \quad (2.9)$$

$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{G_f V_m + G_m V_f} \quad (2.10)$$

$$v_{12} = v_f V_f + v_m V_m \quad (2.11)$$

$$\rho = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (2.12)$$

$$\frac{v_{21}}{E_2} = \frac{v_{12}}{E_1} \quad (2.13)$$

Dimana:

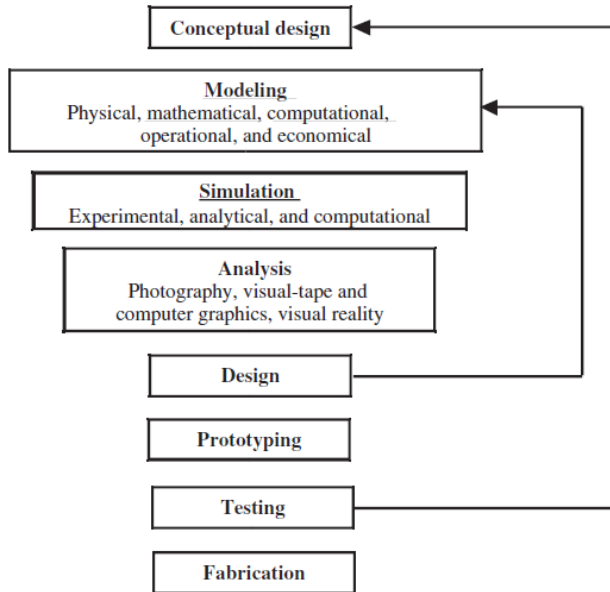
- E_1 = modulus elastisitas longitudinal
 E_2 = modulus elastisitas transversal
 G_{12} = modulus geser
 v_{12}, v_{21} = poisson rasio mayor dan minor
 ρ = densitas

(Apalak, 2007)

2.10 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga telah dikembangkan menjadi teknologi yang sangat diperlukan dalam pemodelan dan simulasi *advanced engineering systems* di berbagai bidang seperti perumahan, transportasi, komunikasi, dan lainnya. Dalam membangun sistem rekayasa modern, *engineer* dan *designer* melalui beberapa proses seperti pemodelan, simulasi, visualisasi, analisis, desain, *prototype*, pengujian, dan fabrikasi yang rumit. Sering kali, banyak pekerjaan yang harus dilakukan sebelum fabrikasi produk akhir atau sistem. Hal ini dilakukan untuk memastikan kinerja produk yang dihasilkan dan juga efektivitas biaya pada proses manufaktur produk tersebut. Pada awalnya, FEM (*Finite Element Method*) digunakan untuk memecahkan masalah analisis solid dan struktural. Setelah diaplikasikan pada analisis solid dan struktural, FEM juga diaplikasikan ke bidang lain

seperti analisis termal, analisis aliran fluida, analisis *piezoelectric*, dan lain-lain (Liu, 2014).



Gambar 2.13 Proses fabrikasi *advanced engineering systems* (Liu, 2014)

Menurut Liu (2014), pada pelaksanaannya hampir semua masalah diselesaikan dengan metode numerik. Prosedur dari permodelan komputasi yang menggunakan FEM secara umum terdiri dari empat langkah, yaitu:

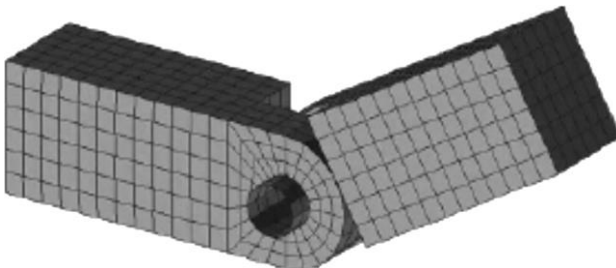
1. *Modelling of geometry*

Geometri sebenarnya dipresentasikan oleh kumpulan elemen-elemen, dan garis-garis/permukaan berliku dan elemen-elemen ini diasumsikan sebagai bagian/segmen yang datar/lurus (diasumsikan linear). Elemen yang lebih banyak, representasi dari bagian berliku oleh tepian lurus akan semakin halus dan akurat. Akan tetapi, dengan elemen yang lebih banyak, waktu komputasional yang dibutuhkan akan semakin lama. Ada banyak

cara dalam membuat geometri yang baik dengan menggunakan *software* pada computer untuk membuat *finite element*. Poin-poin bisa dibuat dengan mudah dengan *keying* pada koordinat. Garis dan kurva bisa dibuat dengan menyambungkan poin-poin atau *nodes*. Permukaan bisa dibuat dengan menyambungkan, rotasi, atau translasi garis atau kurva yang ada. Bentuk solid bisa dibuat dengan berbagai cara penyambungan, rotasi, translasi permukaan yang ada. Poin, garis, kurva, permukaan, dan bentuk solid bisa di translasikan, dirotasikan, direfleksikan untuk membuat bentuk baru

2. *Meshing*

Ketika geometri atau domain direpresentasikan menjadi bagian-bagian kecil, yang disebut elemen atau sel, proses ini disebut *meshing*. Alasan mengapa *meshing* ini dilakukan adalah karena jika permasalahan *domain* bisa dibagi menjadi elemen-elemen kecil menggunakan grid atau *nodes*, variasi dari solusi diantara elemen bisa diaproksimasi dengan mudah menggunakan fungsi sederhana seperti polinomial. Variasi kolektif dari solusi untuk semua elemen ini kemudian membentuk variasi solusi untuk seluruh permasalahan domain.



Gambar 2.14 Mesh dari sambungan engsel (Liu, 2014)

3. Spesifikasi property material

Banyak sistem rekayasa yang terdiri dari beberapa komponen dan masing-masing komponen bisa terdiri dari material yang berbeda. Faktanya, walaupun pada *single* komponen, akan

ada *multiple* material seperti halnya pada material komposit. Sifat-sifat material bisa didefinisikan untuk sekumpulan elemen ataupun untuk material individu jika dibutuhkan. FEM bisa bekerja dengan mudah untuk sistem dengan *multiple* material, dimana hal ini merupakan keuntungan yang signifikan dari FEM. Untuk fenomena atau fisika yang berbeda, perbedaan sifat-sifat material dibutuhkan. Sebagai contoh, *modulus young* dan modulus geser dibutuhkan untuk analisis tegangan solid dan struktur dimana koefisien konduktivitas termal akan dibutuhkan untuk analisis termal. Ada beberapa *database* material yang komersil yang bisa digunakan untuk material yang telah distandarisasi, namun eksperimen biasanya dibutuhkan untuk menentukan keakuratan dari sifat-sifat material yang spesial untuk digunakan pada sistem.

4. *Boundary, initial, and loading conditions*

Boundary, initial, and loading conditions mempunyai peran yang sangat menentukan pada simulasi. Untuk menentukan kondisi yang biasanya diselesaikan dengan mudah menggunakan *preprocessor* komersial dan juga terkadang digambarkan dengan grafik. Peneliti dapat menspesifikasikan kondisi-kondisi ini dengan identitas geometri (titik, garis atau kurva, permukaan, dan bentuk solid) atau *mesh identity (nodes, element, element edges, dan element surface)*. Kemudian, untuk mengakuratkan simulasi kondisi-kondisi ini untuk sistem rekayasa yang nyata membutuhkan pengalaman, pengetahuan, dan penilaian rekayasa yang baik.

Dalam perhitungannya FEM dapat di sederhanakan dengan Persamaan 2.14 dan penjelasan lainnya terkait persamaan FEM berada pada Tabel 2.5

$$[K] \{u\} = \{F\} \quad 2.14$$

Dimana:

F = *Applied Force*

u = *Displacement*

K = *Stiffness*

Tabel 2.5 Konsep dasar dalam *finite element Method*
(Robert, 1989)

	Property [K]	Behavior {u}	Action {F}
Elastic	Stiffness	Displacement	Force
Thermal	Conductivity	temperature	Heat source
Fluid	Viscosity	Velocity	Body force
Electrostatic	Dialectri permisivity	Electric potential	Charge

2.11 Optimalisasi Komposit

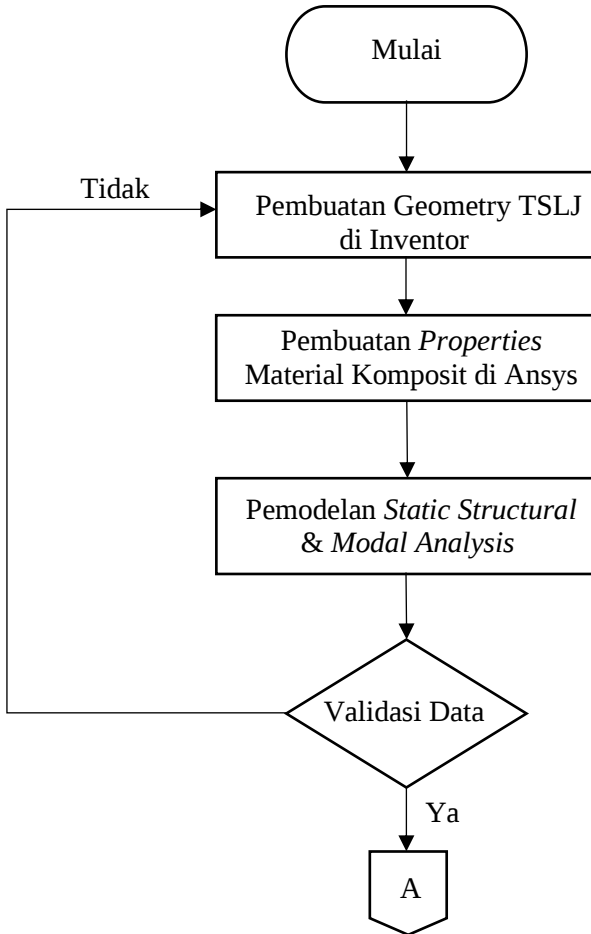
Aplikasi struktural material komposit meningkat drastis diberbagai bidang teknik karena dinilai memiliki keuntungan dari segi kekuatan yang tinggi, umur lelah yang panjang, sifat termal yang sangat baik dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi. Keuntungan lainnya adalah kemampuan material komposit untuk diarahkan sehingga kekuatannya dapat diatur sesuai tujuan spesifik, hal ini dinamakan *tailoring properties*. Akan tetapi dalam desain struktul material komposit kegagalan *fatigue* adalah aspek yang tak kalah penting, oleh karena itu tugas seorang *design engineer* harus dapat memperkirakan umur struktur dibawah pengaruh beban *fatigue* dalam jangka waktu yang Panjang untuk memastikan keadaannya baik selama dalam masa pemakaiannya (Hidayat, 2010). Sehingga desain komposit perlu melalui model optimasi agar mendapatkan hasil terbaik.

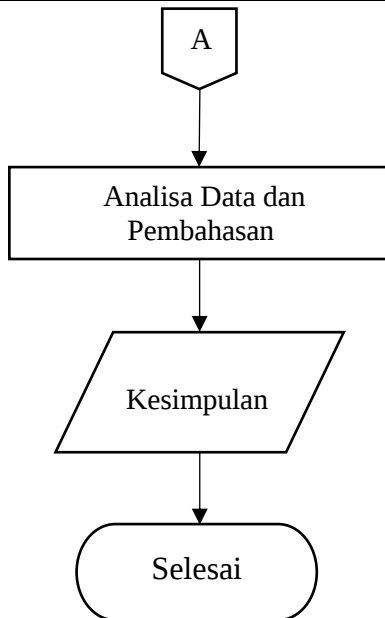
Untuk mendapatkan hasil terbaik, model optimasi yang memadai harus diimplementasikan untuk mendapatkan solusi yang optimal terhadap permasalahan-permasalahan desain yang ada. Beberapa masalah yang dapat dioptimalisasi seperti desain struktural untuk stabilitas maksimum, frekuensi natural maksimum, defleksi, dimensi geometris dan sifat material. Hal tersebut dapat dioptimalisasi dengan menggunakan *feasible direction methods*, *sequential quadratic programming* dan *stochastic optimization* (Maalawi, 2018).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

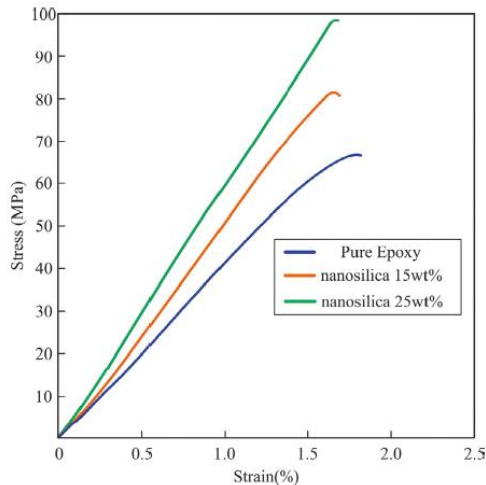
3.2 Desain Penelitian

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

3.2.1 Variabel Beban

Adapun dalam penelitian ini variabel pembebanan yang diberikan berupa *displacement* yang didapat dari kurva stress-strain epoksi (Gambar 3.13).

Penarikan *displacement* sebesar 1,5 mm berdasarkan Gambar 3.13 dimana nilai strain maksimum yaitu 2% (estimasi) dikalikan dengan *overlap* terpanjang maka didapatkan nilai 1,5 mm sebagai *displacement* ditarik searah panjang benda kerja.



Gambar 3.2 Kurva *stress-strain* epoksi (Tretzis, 2017)

3.2.2 Variabel Respon

Adapun variabel respon dalam penelitian ini adalah:

- *Natural Frequency*
Frekuensi Natural yang diharapkan dari mendapatkan nilai yang paling maksimum sehingga didapatkan ketahanan vibrasi yang optimum.
- *Shear Strength*
Shear strength yang diharapkan mendapatkan nilai yang paling maksimum sehingga kekuatan sambungan dapat optimum.

3.2.3 Variabel Proses

Variabel proses yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah panjang *overlap* dan ketebalan silinder.

3.3 Spesifikasi Material

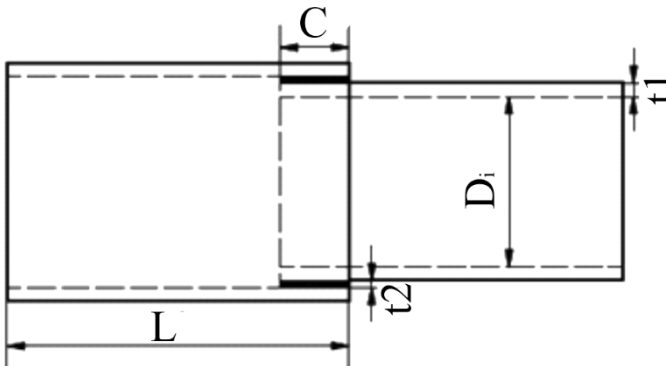
Material yang digunakan adalah *unidirectional laminate composite* yang terbuat dari IM-6 (*graphite fibre*, Hexcel) dan

3501-6 (*epoxy*, Hercules) dengan ketebalan lamina 0.1335 mm dan arah serat *unidirectional* $[0^\circ]$ dengan $V_f = 0.635$

Tabel 3.1 Sifat mekanik grafit fiber, resin epoksi & lamina (Apalak, 2007)

Property	Fiber	Resin Epoksi	Lamina	Unit
ρ	1743.834	1264.972	1552.289	Kg/m ³
E_{11}	259.105	4.344	157.218	GPa
E_{22}, E_{33}	13.927	4.344	9.309	GPa
G_{12}, G_{13}	50.952	1.597	5.723	GPa
G_{23}	8.274	1.597	3.475	GPa
$\nu_{12} \nu_{13}$	0.26	0.36	0.3	
ν_{23}	0.33	0.36	0.34	

3.3.1 Desain Silinder Komposit *Single Lap Joint*



Gambar 3.3 Tampak depan desain sambungan tipe *single lap joint* pada Silinder

Dimana:

- t_1 = Ketebalan silinder
- t_2 = Ketebalan adhesif
- D_i = Diameter silinder bagian dalam
- C = Panjang *overlap*
- L = Panjang silinder

3.4 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 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

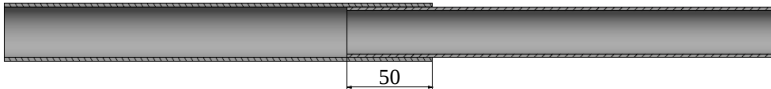
Tabel 3.2 Konfigurasi sambungan dan variasi desain

	L (mm)	D _i (mm)	t ₂ (mm)	t ₁ (mm)	C (mm)
Model 1	250	25	0.2	2	50
Model 2	250	25	0.2	2	60
Model 3	250	25	0.2	2	70
Model 4	250	25	0.2	2,27	50
Model 5	250	25	0.2	2,27	60
Model 6	250	25	0.2	2,27	70
Model 7	250	25	0.2	2,54	50
Model 8	250	25	0.2	2,54	60
Model 9	250	25	0.2	2,54	70

3.4.1 Variasi Panjang *Overlap*

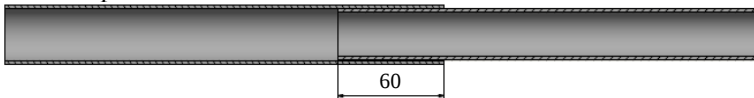
Desain sambungan akan divariasikan dengan panjang *overlap* yang berbeda menggunakan software *Autodesk Inventor Professional 2015*. Desain silinder komposit tipe *single lap joint* untuk variasi Panjang *overlap* dapat dilihat pada Gambar 3.3, 3.4, dan 3.5.

a. *Overlap* 50 mm



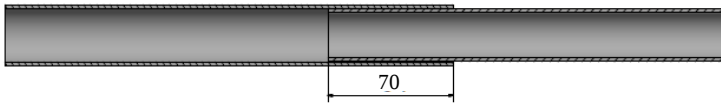
Gambar 3.4 Panjang *overlap* 50 mm

b. *Overlap* 60 mm



Gambar 3.5 Panjang *overlap* 60 mm

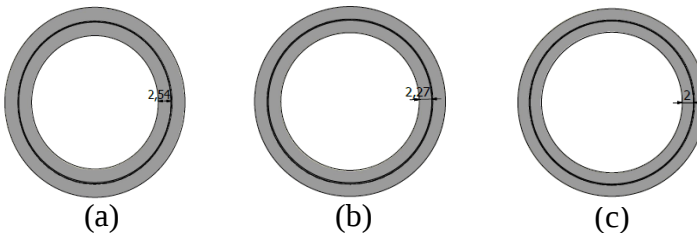
c. Overlap 70 mm



Gambar 3.6 Panjang overlap 70 mm

3.4.2 Variasi Ketebalan Silinder

Desain sambungan akan divariasikan dengan ketebalan silinder yang berbeda menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2015*. Desain silinder komposit tipe *single lap joint* untuk variasi ketebalan silinder dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.7 Variasi ketebalan pada silinder tipe *single lap joint* (a) 2 mm ; (b) 2,27 mm ; (c) 2,54 mm

3.5 Peralatan dan Software Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat lunak (*software*) yaitu ANSYS dan Autodesk Inventor. Inventor digunakan untuk mendesain geometri pada silinder *single lap joint*. ANSYS merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mensimulasikan interaksi dari banyak disiplin ilmu fisika, structural, getaran, dinamika fluida, perpindahan panas, dan elektromagnetik untuk *engineer*. Versi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ANSYS 17.1. Tipe *solver* yang digunakan dalam ANSYS Workbench adalah *Static Structural* dan *Modal Analysis*.

Pembuatan geometri dilakukan dengan *software Autodesk Inventor Professional 2015* yang dijalankan pada laptop dengan

spesifikasi RAM 4096MB, Intel® Core™ i3-6006U CPU @~2.00 GHz, dan Windows 10 Education x64. Kemudian untuk simulasi pada ANSYS Workbench 17.1 dijalankan pada *Personal Computer* (PC) dengan spesifikasi RAM 8192MB, Intel® Core™ i5-8500 CPU @~3.00 GHz, dan Windows 10 Pro x64 yang berada di Lab. Komputasi dan Permodelan, Departemen Teknik Material FTI-ITS.



(a)

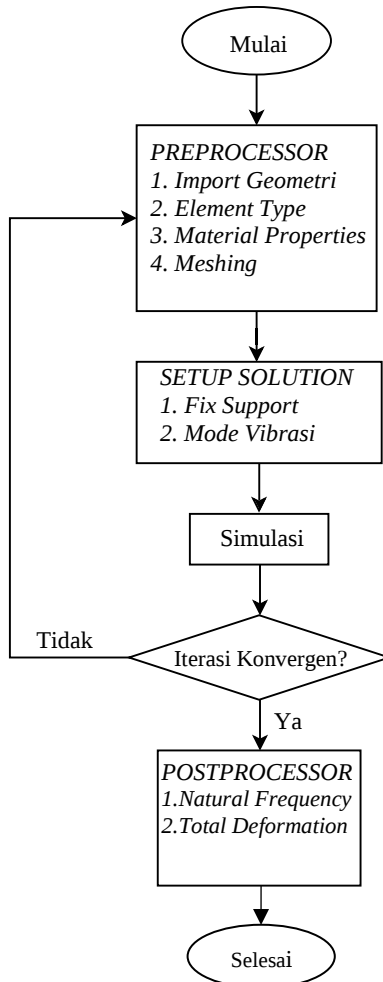


(b)

Gambar 3.8 Software yang digunakan (a) Inventor Autodesk Pro 2015 (b) ANSYS 17.1

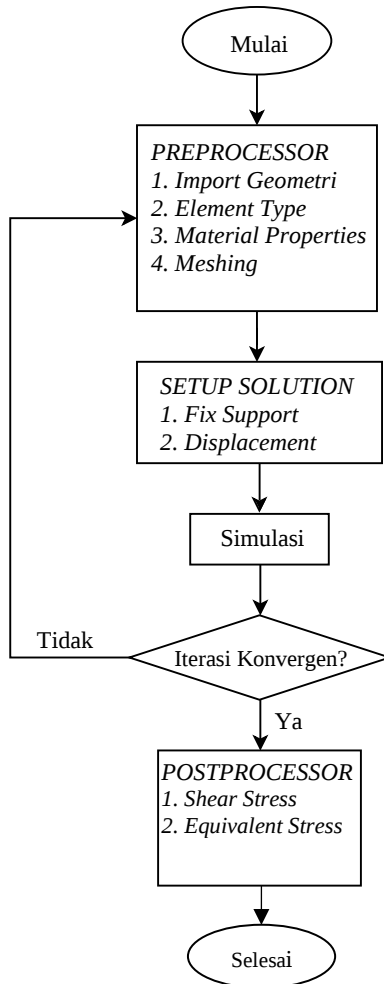
3.6 Permodelan dengan ANSYS Workbench 17.1

Diagram alir dari simulasi *modal analysis* dengan menggunakan ANSYS workbench 17.1 yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.9 Diagram alir simulasi *modal analysis*

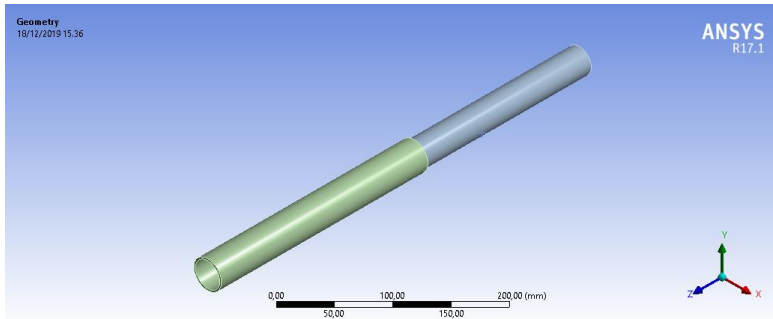
Adapun untuk diagram alir dari simulasi *static structural* dengan menggunakan ANSYS workbench 17.1 adalah sebagai berikut:



Gambar 3.10 Diagram alir simulasi *static structural*

Penjelasan tentang alur simulasi tersebut yaitu sebagai berikut:

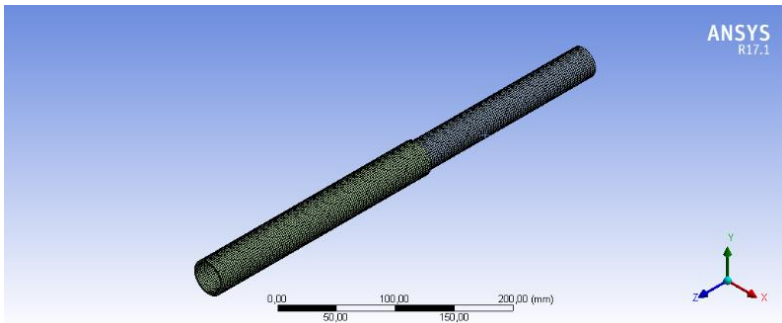
- (a) Membuat model 3D dari silinder tipe *single lap joint*
Dalam membuat model 3D dari silinder tipe *single lap joint* digunakan *software Inventor* yang kemudian di import ke dalam *Design Modeler* seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.11 3D model silinder komposit tipe *single lap joint*

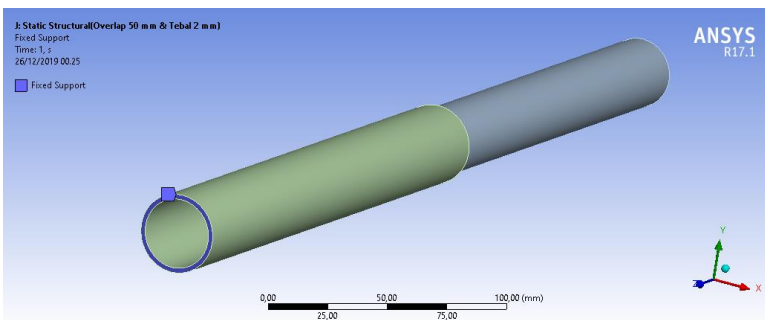
- (b) *Meshing*

Proses meshing adalah suatu proses penyatuan segmen-segmen gambar sehingga seluruh bagian gambar dapat dilakukan simulasi. Proses meshing apabila berhasil dapat dilanjutkan ke proses simulasi, tetapi apabila gagal harus mengulang atau memperbaiki desain. *Mesh* yang digunakan dalam simulasi ini adalah *adaptive* dengan ukuran 2 mm.

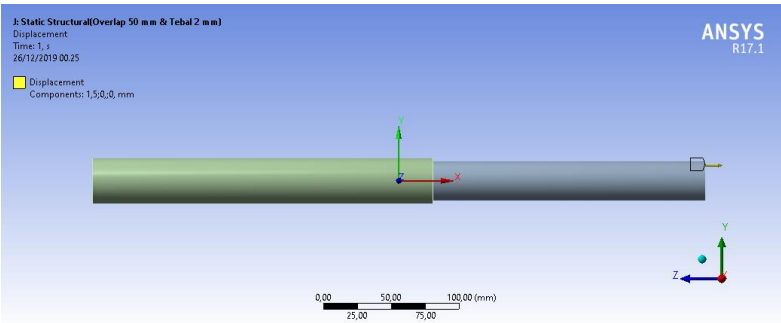


Gambar 3.12 Meshing 3D model silinder komposit tipe *single lap joint*

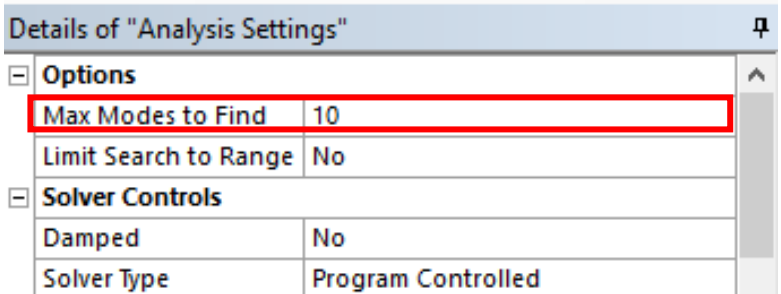
- (c) Penentuan *Fix Support*, *Displacement* dan Mode Vibrasi
Dalam simulasi analisa getaran bebas menggunakan solver modal analysis hanya diberikan *fix support* pada bagian tepi silinder terluar. Sedangkan untuk analisa statis digunakan *fix support* dan *displacement*. *Fix support* diberikan pada tepi silinder bagian terluar dan *displacement* pada tepi silinder bagian terdalam dengan arah *displacement* x sebesar 1,5 mm.



(a)



(b)



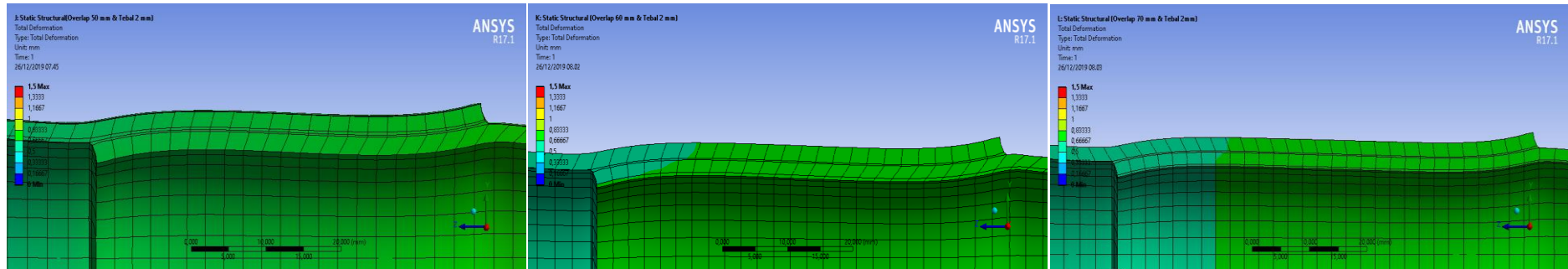
(c)

Gambar 3.13 Pengaturan *boundary conditions* pada simulasi (a) *fix Support* pada tepi silinder terluar, (b) *displacement* arah x pada silinder bagian dalam, (c) input mode vibrasi

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi Analisa Statis ada Sambungan Silinder Komposit Tipe *Single Lap Joint*

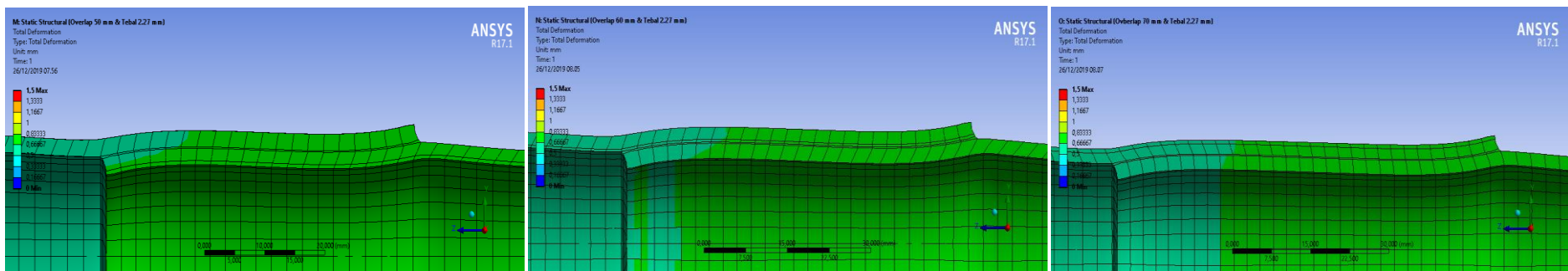
Pada sub bab ini memuat data hasil penelitian simulasi analisa statis dengan *software* ANSYS 17.1. Analisa statis menggunakan Persamaan 2.1 yang disimulasikan pada ANSYS dengan solver *static structural* mendapatkan nilai distribusi dari *shear stress* dan *equivalent stress* serta deformasinya.



(a)

(b)

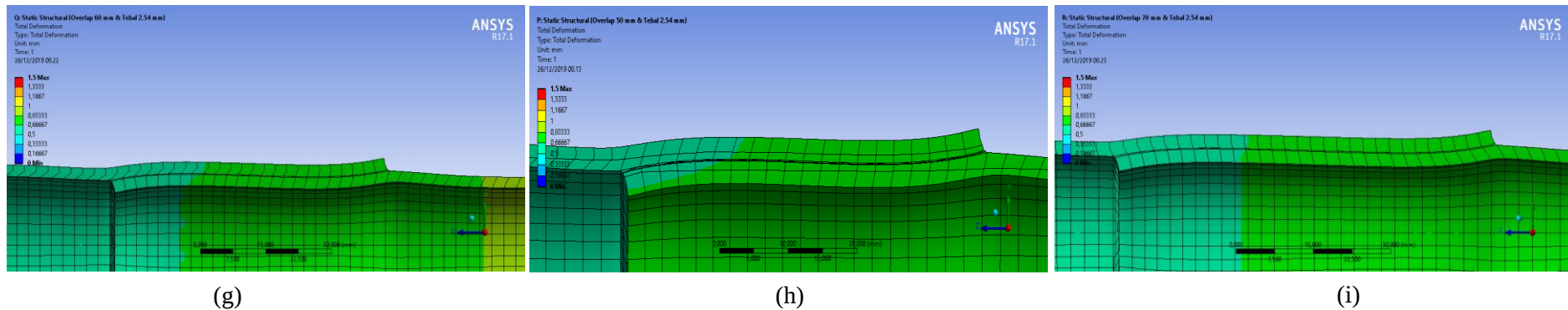
(c)



(d)

(e)

(f)

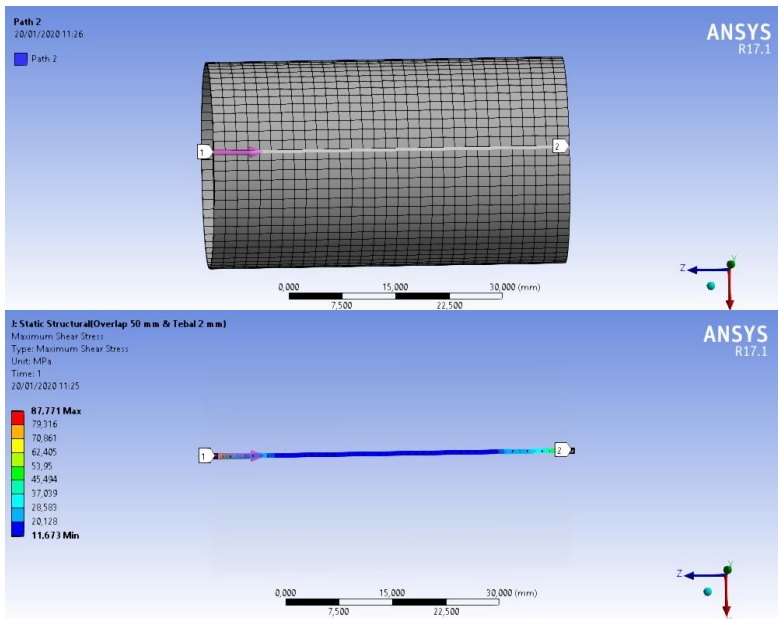


Gambar 4.1 Deformasi sambungan adhesif tipe *single lap joint* ketebalan 2 mm dengan *overlap* (a) 50 mm, (b) 60 mm, (c) 70 mm; ketebalan 2,27 mm dengan *overlap* (d) 50 mm, (e) 60 mm, (f) 70 mm; ketebalan 2,54 mm dengan *overlap* (g) 50 mm, (h) 60 mm, (i) 70 mm

Pada Gambar 4.1 merupakan hasil deformasi pada daerah sambungan. Deformasi maksimum bernilai 1,5 mm dimana hal ini merupakan pemberian *displacement* diawal. Bentuk deformasi dari semua variasi ketebalan dan panjang overlap memiliki trend yang sama yaitu adanya lengkungan pada sambungan, hal ini dikarenakan adanya bending. Eksentrisitas gaya pembebanan pada sambungan menyebabkan adanya deformasi bending yang menimbulkan adanya tegangan normal pada *bondline*. Fenomena ini dapat dilihat pada Gambar 2.8 dimana Golland dan Reissner menjelaskan beban yang diberikan menyebabkan adanya rotasi yang memicu adanya bending sehingga nilai faktor bending momen akan kurang dari satu (Soliman, 1995).

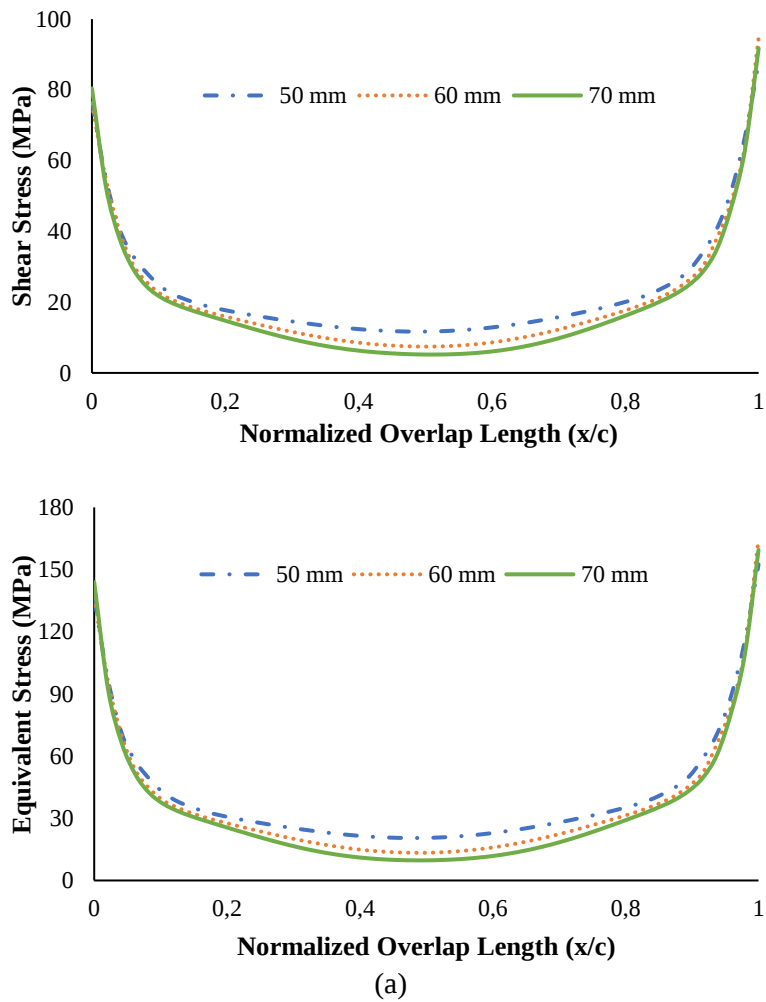
4.1.1 Analisa Pengaruh Pertambahan Panjang *Overlap* Terhadap Kekuatan Sambungan

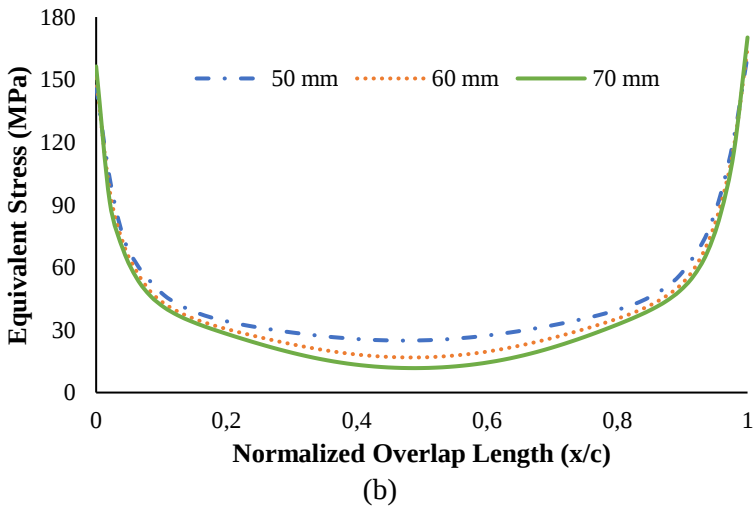
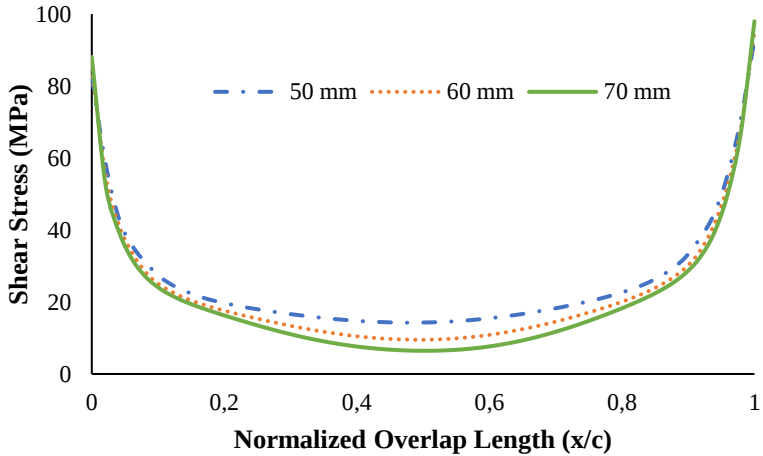
Distribusi nilai *shear stress* dan *equivalent stress* didapatkan dengan membuat *path* pada *surface* adhesif seperti pada Gambar 4.2 berikut dimana kemudian distribusi *shear stress* dan *equivalent stress* akan diplot pada untuk membuat grafik.

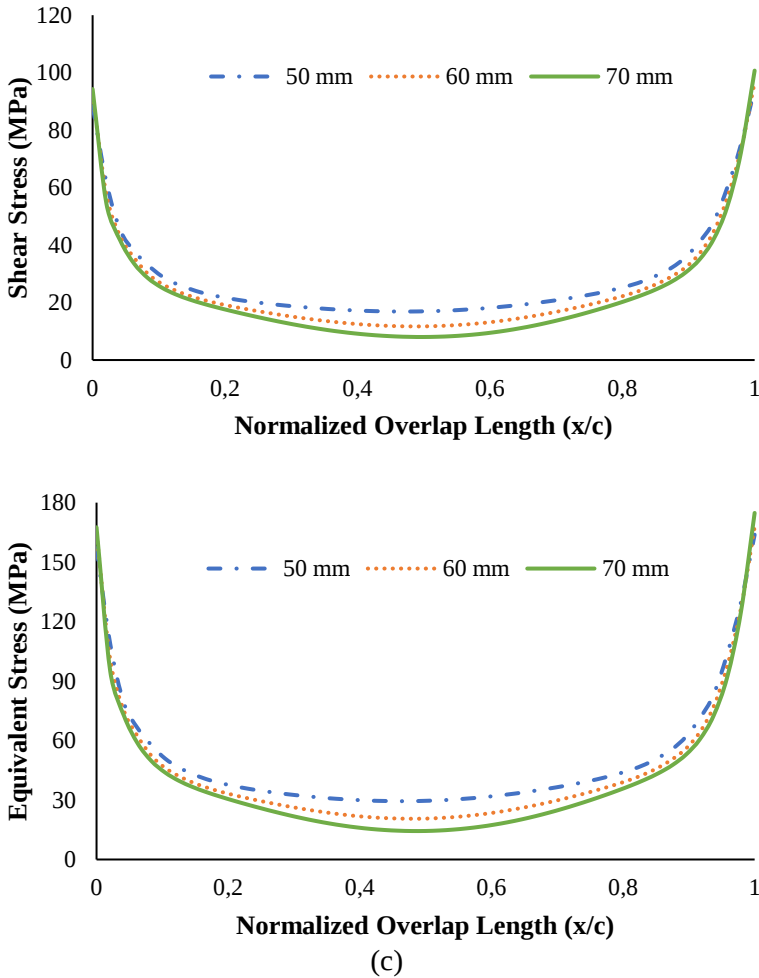


Gambar 4.2 *Path* pada *surface* adhesif

Hasil simulasi untuk mendapatkan distribusi nilai *shear stress* pada masing-masing silinder komposit tipe *single lap joint* dengan variasi panjang *overlap* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini.







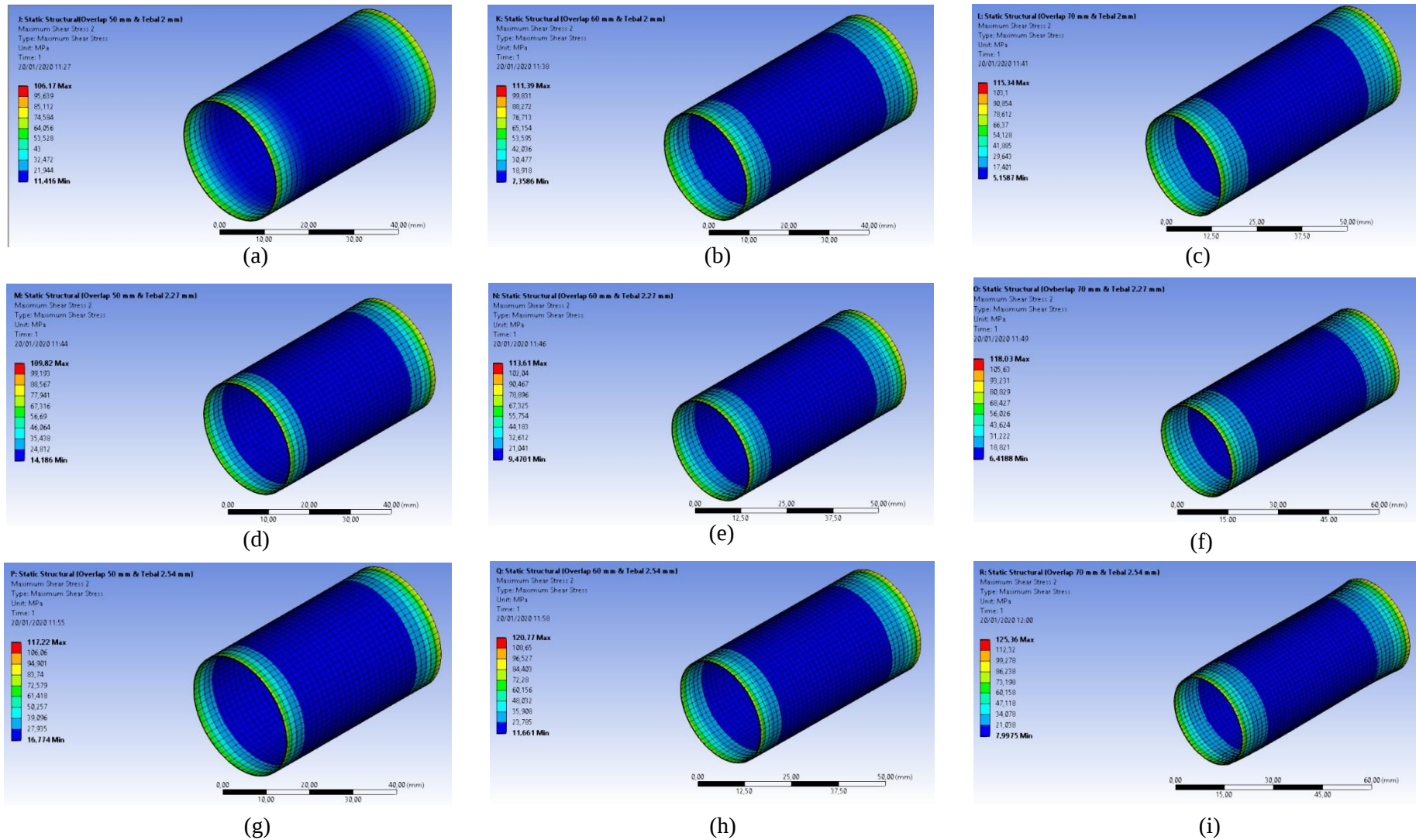
Gambar 4.3 Pengaruh pertambahan panjang *overlap* terhadap distribusi *shear stress* dan *equivalent stress* pada *surface* sambungan adhesif tipe *single lap joint* untuk ketebalan (a) 2 mm (b) 2,27 mm dan (c) 2,54 mm

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat nilai distribusi *shear stress* dan *equivalent stress* dari masing-masing sambungan silinder komposit tipe *single lap joint* dengan variasi panjang *overlap* yang berbeda pada setiap ketebalan yang sama. Dari distribusi tersebut terlihat adanya *stress* yang tinggi pada ujung-ujung sambungan dan mengecil ditengah area sambungan. Hal ini sesuai dengan *Linear Elastic Analysis* untuk adherend yang elastis distribusi *stress* tidak seragam dimana akan tinggi pada bagian ujung sambungan. Fenomena tingginya *stress* pada ujung sambungan dijelaskan dalam penelitian yang dilakukan oleh Das (2010) bahwa *stress* pada ujung sambungan akan lebih besar dibandingkan pada bagian tengah sambungan, hal ini dikarenakan adanya efek diskontinuitas material, pembebanan dan geometri. Fenomena ini sering disebut dengan *free edge effect* atau *boundary layer effect*.

Semakin bertambahnya *overlap* juga menunjukkan distribusi *stress* yang lebih rendah. Pada semua variasi *overlap* menunjukkan dengan ketebalan yang sama, *overlap* 70 mm lebih rendah nilai distribusi *stress* nya daripada *overlap* 50 mm. Hal ini sesuai dengan penelitian Kadioglu (2019) dengan meningkatnya area pada *overlap* maka *stress* pada lapisan adhesif akan mengecil sehingga sambungan dapat menerima beban untuk *displacement* yang lebih besar. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Shaikh (2017) penggunaan *overlap* yang panjang dapat mencegah terjadinya *creep*. Penggunaan *overlap* yang terlalu pendek menyebabkan kegagalan melalui *creep-rupture*.

Nilai kekuatan sambungan didapatkan dengan simulasi pada bagian adhesif yang masing-masing gambar ditampilkan pada Gambar 4.4 dengan variasi penambahan panjang *overlap* pada ketebalan yang sama.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Gambar 4.4 Hasil simulasi pada daerah sambungan adhesif ketebalan 2 mm dengan *overlap* (a) 50 mm, (b) 60 mm, (c) 70 mm; ketebalan 2,27 mm dengan *overlap* (d) 50 mm, (e) 60 mm, (f) 70 mm; ketebalan 2,54 mm dengan *overlap* (g) 50 mm, (h) 60 mm, (i) 70 mm

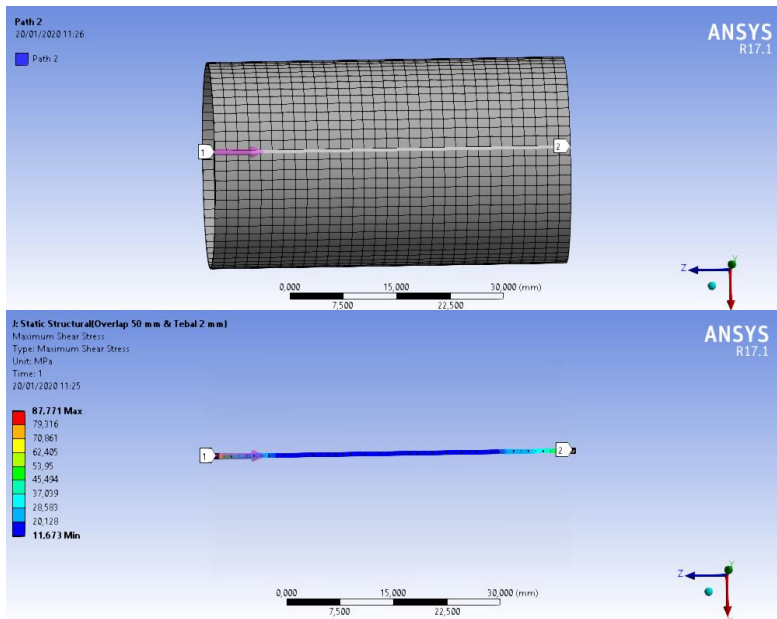
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Pada Gambar 4.4 (a), (b) dan (c) merupakan hasil simulasi ketebalan 2 mm dengan *overlap* 50, 60 dan 70 mm. Hasil simulasi mendapatkan nilai kekuatan sambungan 106,17; 111,39; 115,34 MPa. Pada Gambar 4.4 (d), (e) dan (f) merupakan hasil simulasi ketebalan 2,27 dengan peningkatan *overlap* 50, 60 dan 70 mm. Hasil simulasi menunjukkan nilai kekuatan sebesar 109,82; 113,61; 118,03 MPa. Pada Gambar 4.4 (g), (h) dan (i) merupakan hasil simulasi ketebalan 2,54 mm dengan *overlap* 50,60 dan 70 mm. Hasil simulasi menunjukkan nilai kekuatan sambungan didapatkan sebesar 117,22; 120,77 M 125,36 MPa. Berdasarkan data tersebut dapat dianalisa bahwa nilai kekuatan sambungan meningkat seiring dengan bertambahnya panjang *overlap*. Bertambahnya *overlap* menyebabkan luas permukaan *adherend* bertambah sehingga kekuatan sambungan adhesif nya semakin besar. Hasil ini sesuai dengan penelitian Pero (2007) dimana peningkatan pada *overlap* membuat kekuatan sambungan meningkat karena meningkatnya luas area permukaan pada daerah sambungan.

Berdasarkan data tersebut dapat dianalisa dengan **memperpanjang *overlap* pada desain sambungan adhesif tipe *single lap joint* mampu meningkatkan kekuatan sambungan sebesar 3,8-7,7%**, sehingga dapat disimpulkan bahwa panjang *overlap* merupakan parameter desain geometri yang penting dalam mengoptimalkan kekuatan sambungan pada sambungan adhesif tipe *single lap joint*.

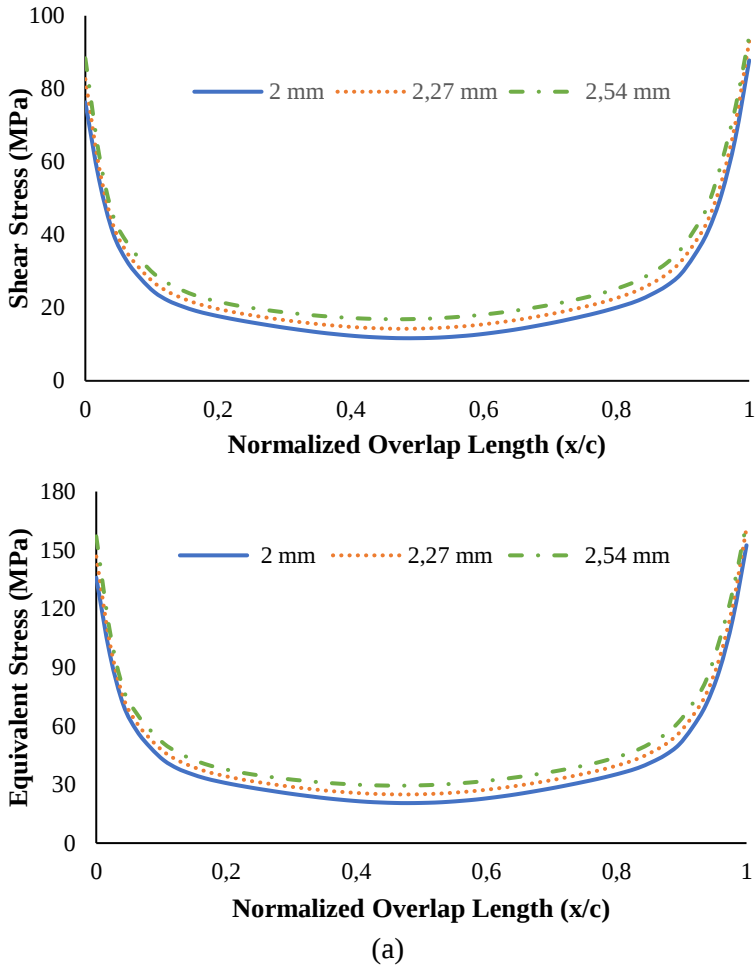
4.1.2 Analisa Pengaruh Pertambahan Ketebalan Silinder Terhadap Kekuatan Sambungan

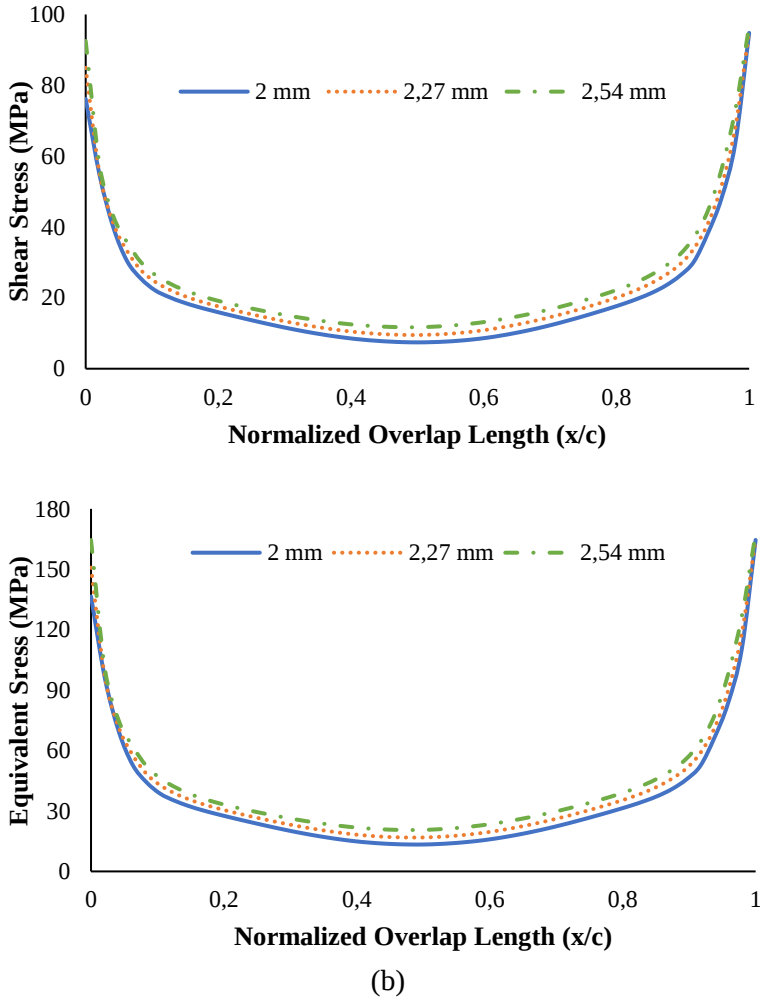
Distribusi nilai *shear stress* dan *equivalent stress* didapatkan dengan membuat *path* pada *surface* adhesif seperti pada Gambar 4.5 berikut dimana kemudian distribusi *shear stress* dan *equivalent stress* akan diplot pada untuk membuat grafik.

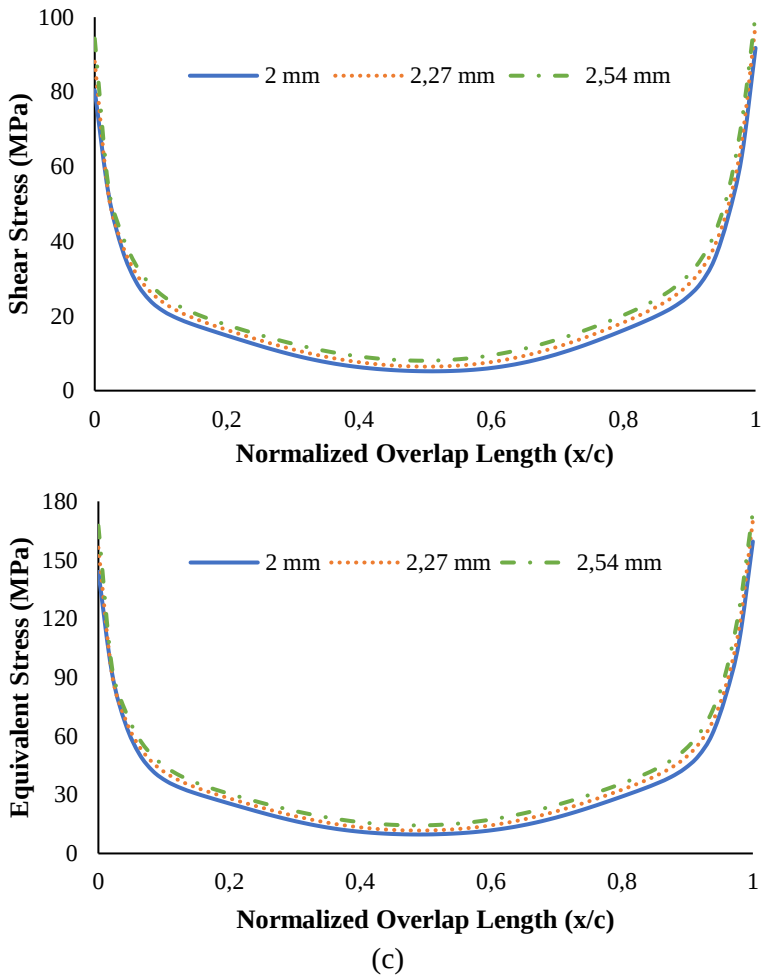


Gambar 4.5 *Path* pada *surface* adhesif

Hasil simulasi untuk mendapatkan distribusi nilai *shear stress* pada masing-masing silinder komposit tipe *single lap joint* dengan variasi ketebalan silinder dapat dilihat pada Gambar 4.6 dibawah ini.





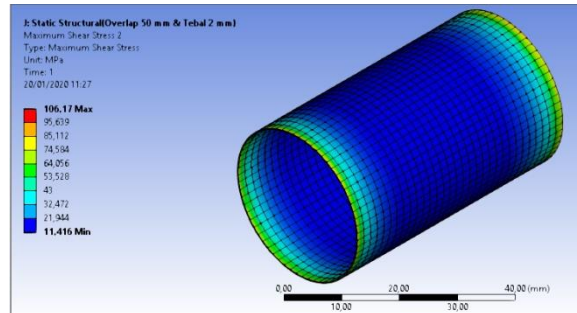


Gambar 4.6 Pengaruh pertambahan ketebalan silinder terhadap distribusi *shear stress* dan *equivalent stress* pada *surface* sambungan adhesif tipe *single lap joint* untuk overlap (a) 50 mm, (b) 60 mm dan (c) 70 mm

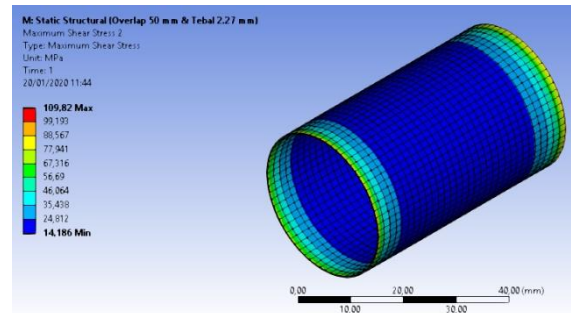
Pada Gambar 4.6 dapat dilihat nilai distribusi *shear stress* dan *equivalent stress* dari masing-masing sambungan silinder komposit tipe *single lap joint* dengan variasi ketebalan silinder yang berbeda pada setiap panjang *overlap* yang sama. Dari distribusi tersebut terlihat adanya *stress* yang tinggi pada ujung-ujung sambungan dan mengecil ditengah area sambungan. Hal ini sesuai dengan *Linear Elastic Analysis* untuk adherend yang elastis distribusi *stress* tidak seragam dimana akan tinggi pada bagian ujung sambungan. Fenomena tingginya *stress* pada ujung sambungan dijelaskan dalam penelitian yang dilakukan oleh Das (2010) *stress* pada ujung sambungan akan lebih besar dibandingkan pada bagian tengah sambungan, hal ini dikarenakan adanya efek dikontinuitas material, pembebanan dan geometri. Fenomena ini sering disebut dengan *free edge effect* atau *boundary layer effect*.

Pada hasil simulasi menunjukkan ketebalan 2,54 mm memiliki distribusi stress yang lebih tinggi dibandingkan ketebalan 2 mm, artinya semakin bertambahnya ketebalan membuat sambungan menjadi lebih kaku. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhang (2016) dimana meningkatkan ketebalan pada adherend membuat sambungan menjadi kaku dan kekuatan sambungan meningkat.

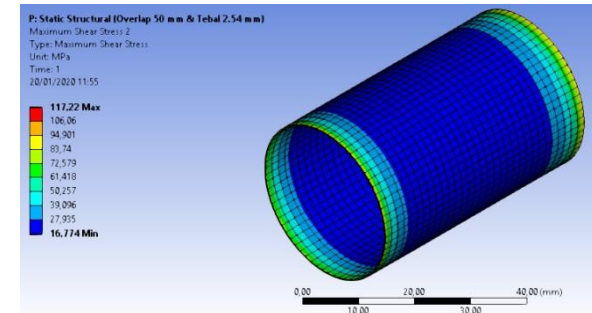
Nilai kekuatan sambungan didapatkan dengan simulasi pada bagian adhesif yang masing-masing gambar ditampilkan pada Gambar 4.7 dengan variasi penambahan ketebalan pada *overlap* yang sama.



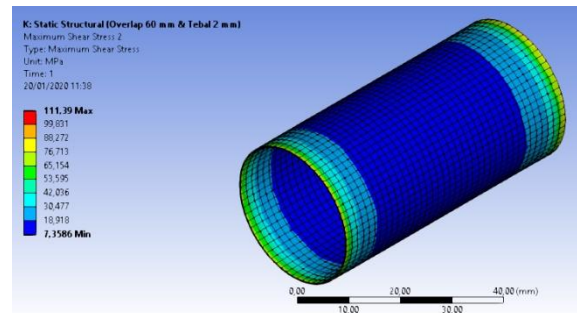
(a)



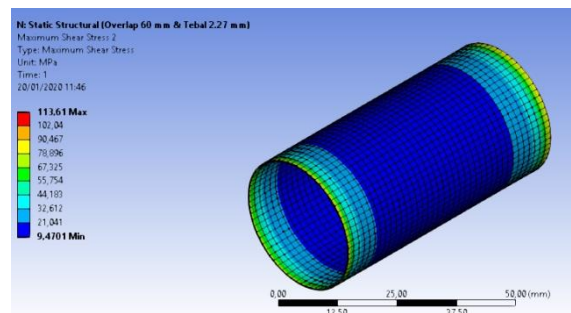
(b)



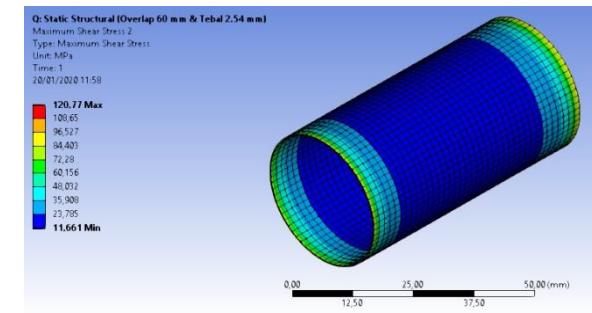
(c)



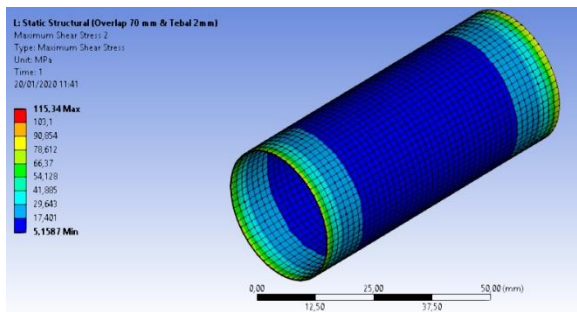
(d)



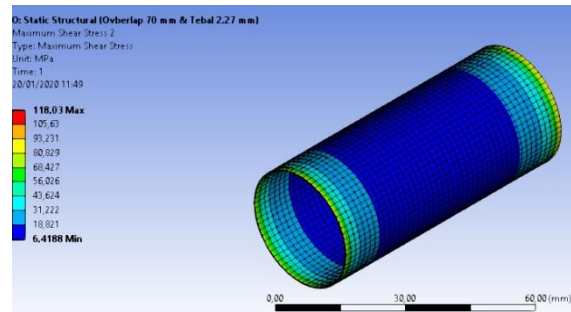
(e)



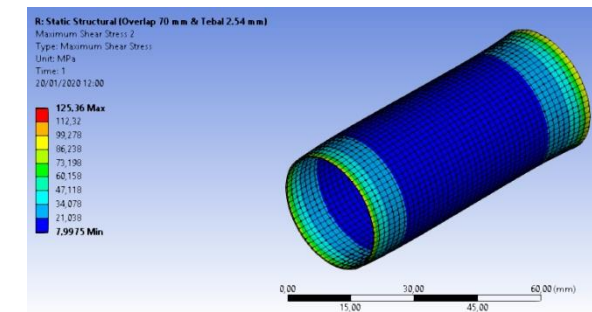
(f)



(g)



(h)



(i)

Gambar 4.7 Hasil simulasi pada daerah sambungan adhesif *overlap* 50 mm dengan ketebalan (a) 2 mm, (b) 2,27 mm, (c) 2,54 mm; *overlap* 60 mm dengan ketebalan (d) 2 mm, (e) 2,27 mm, (f) 2,54 mm; *overlap* 70 mm dengan ketebalan (g) 2 mm, (h) 2,27 mm, (i) 2,54 mm

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Pada Gambar 4.7 (a), (b) dan (c) merupakan hasil simulasi *overlap* 50 mm dengan ketebalan 2, 2,27 dan 2,54 mm. Hasil simulasi didapatkan nilai kekuatan sambungan 106,17; 109,82; 117,22 MPa. Pada Gambar 4.7 (d), (e) dan (f) merupakan hasil simulasi *overlap* 60 mm dengan ketebalan 2, 2,27 dan 2,54 mm. Hasil simulasi didapatkan nilai kekuatan sebesar 111,39; 113,61; 120,77 MPa. Pada Gambar 4.7 (g), (h) dan (i) merupakan hasil simulasi *overlap* 70 mm dengan ketebalan 2, 2,27 dan 2,54 mm. Hasil simulasi didapatkan nilai kekuatan sambungan sebesar 115,34; 118,03; 125,36 MPa. Berdasarkan data tersebut dapat dianalisa bahwa nilai kekuatan sambungan meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan silinder. Bertambahnya ketebalan membuat silinder semakin kaku, dibandingkan dengan ketebalan yang tipis maka perlu beban yang lebih besar untuk membuat silinder yang lebih tebal terdeformasi artinya secara tidak langsung kekuatan pada daerah sambungan meningkat. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Aydin (2012) memperoleh hasil simulasi yaitu meningkatkan kekuatan sambungan didapatkan dengan cara menambah ketebalan adherend pada panjang *overlap* yang sama.

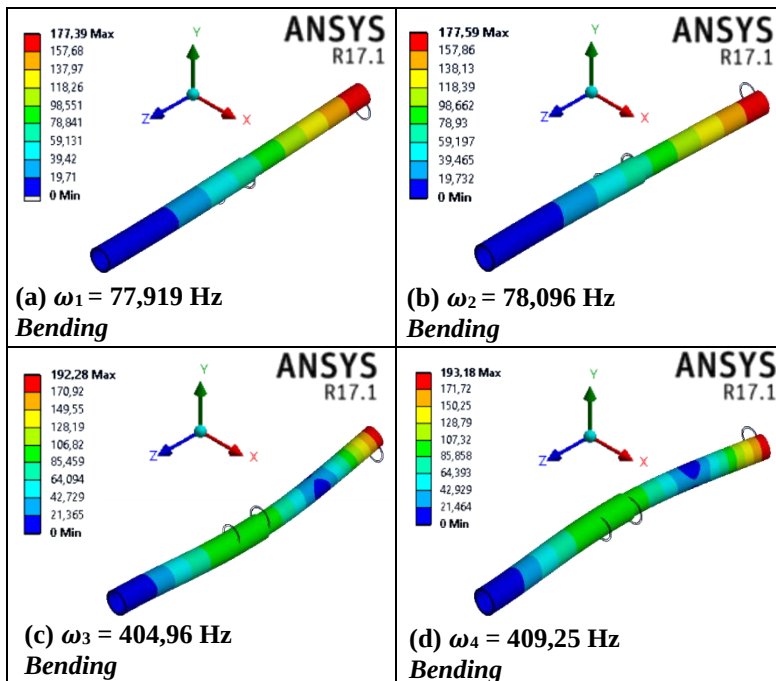
Berdasarkan data hasil simulasi yang ada dapat dianalisa dengan **menambah ketebalan silinder pada desain sambungan adhesif tipe *single lap joint* dapat meningkatkan kekuatan sambungan sebesar 2,69-9,2%**, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketebalan silinder merupakan parameter desain geometri yang penting dalam mengoptimalkan kekuatan sambungan pada sambungan adhesif tipe *single lap joint*.

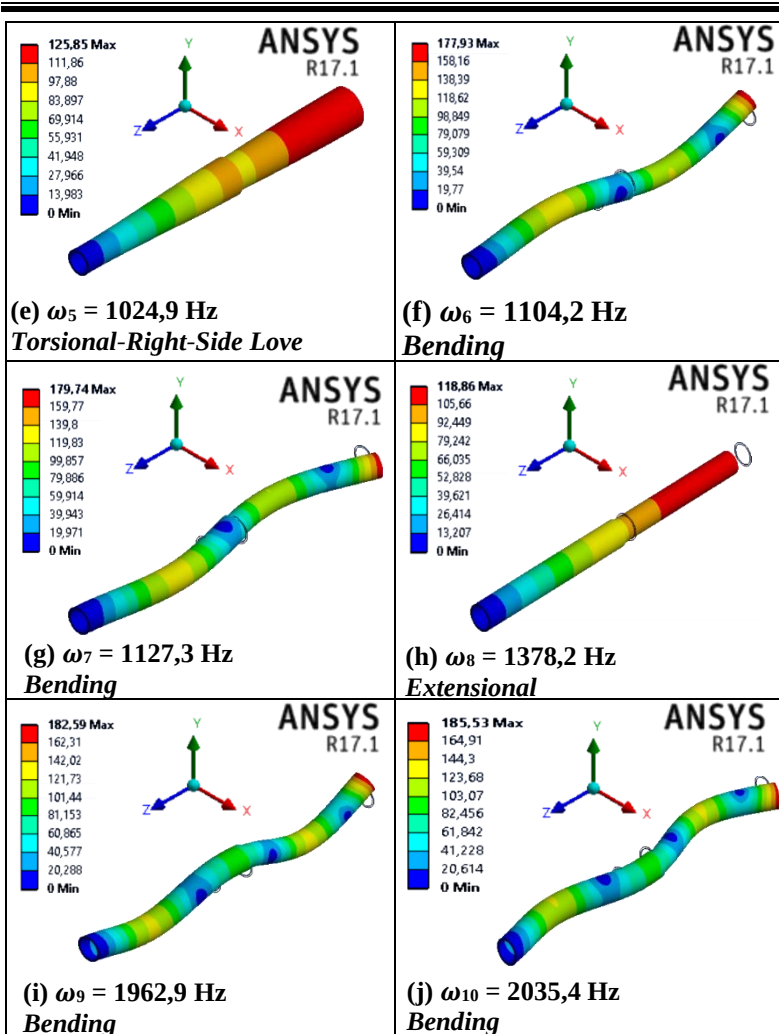
4.2 Simulasi Analisa Getaran Bebas pada Sambungan Silinder Komposit Tipe *Single Lap Joint*

Pada sub bab ini memuat data hasil penelitian simulasi getaran bebas dengan *software* ANSYS. Analisa getaran bebas dengan ANSYS menggunakan *solver modal analysis* mendapatkan nilai frekuensi natural dan *mode shape*. Untuk mendapatkan frekuensi natural dan mode vibrasi dilakukan dengan menggunakan rumus 2.5 yang disimulasikan dengan *solver modal* pada ANSYS 17.

4.2.1 Mode Shape Vibrasi Modal Analysis

Gambar 4.8 dibawah ini merupakan hasil simulasi analisa getaran bebas dengan *solver modal analysis* untuk 10 mode shape pertama.





Gambar 4.8 Sepuluh mode vibrasi pada silinder komposit tipe *single lap joint* dengan konfigurasi ($r=12.5$ mm, $l=250$ mm, $c=50$ mm, $t_1=2$ mm, $t_2=0.2$ mm) pada mode (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, (f) 6, (g) 7, (h) 8, (i) 9, (j) 10

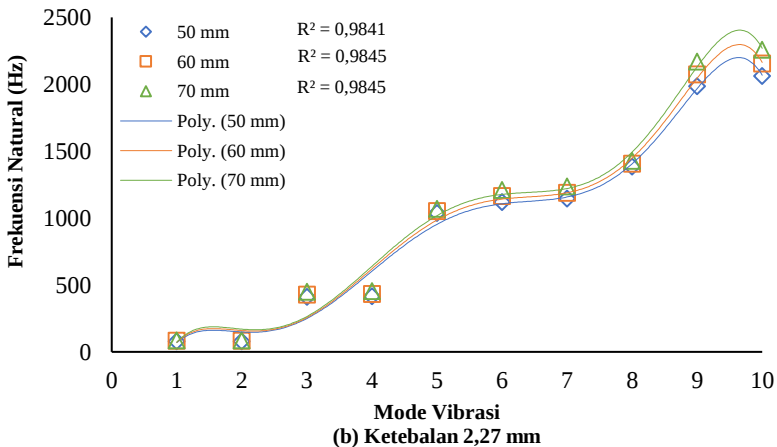
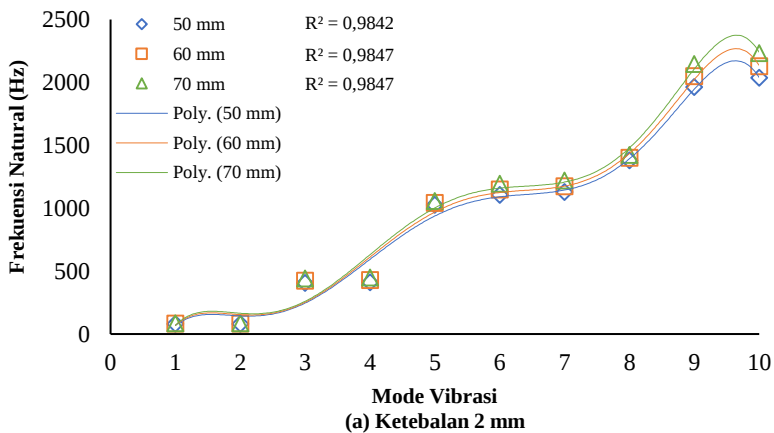
Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa untuk setiap mode memiliki bentuk deformasi yang berbeda seiring dengan meningkatnya frekuensi naturalnya. Pada mode vibrasi pertama dapat terlihat bahwa silinder berayun disepanjang sumbu Y; pada mode vibrasi kedua silinder berayun disepanjang sumbu X; pada mode vibrasi ketiga silinder berayun disepanjang sumbu Y dengan bending lebih ekstrim dibandingkan mode vibrasi pertama; pada mode vibrasi keempat memiliki bentuk deformasi yang sama dengan mode ketiga namun mode vibrasi keempat berayun disepanjang sumbu X; pada mode vibrasi kelima silinder mengalami deformasi dengan arah sumbu X,Y,Z; pada mode vibrasi keenam terlihat silinder berayun disepanjang sumbu Y dengan orientasi yang berbeda dan deformasi terlihat seperti memiliki satu bukit dan satu lembah; pada mode vibrasi ketujuh silinder memiliki deformasi yang mirip dengan mode vibrasi keenam dengan berayun disepanjang sumbu X; pada mode vibrasi ke delapan silinder bergerak hanya disepanjang sumbu Z seperti gerakan memanjang dan memendek, pada mode vibrasi ke sembilan silinder berayun disepanjang sumbu Y dengan bentuk lebih ekstrim dari mode vibrasi keenam; pada mode vibrasi kesepuluh silinder berayun disepanjang sumbu X dengan bentuk yang lebih ekstrim dari mode vibrasi ketujuh.

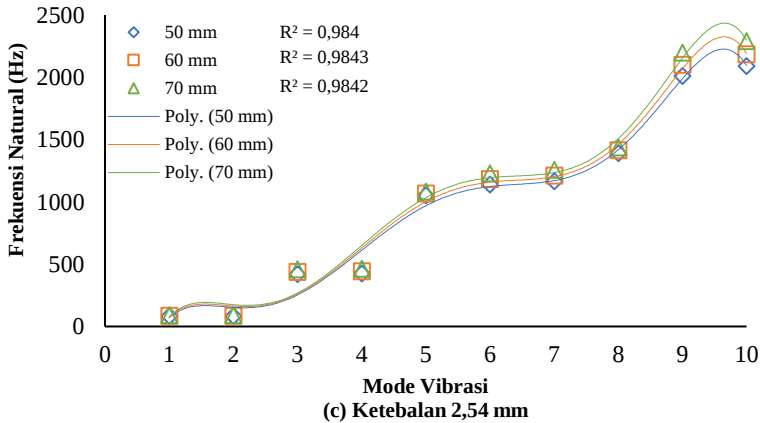
Dari hasil simulasi pada mode pertama hingga ke sepuluh dengan geometri *overlap* 50 mm dan ketebalan 2 mm menunjukkan bentuk deformasi yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Apalak (2007) untuk silinder komposit dengan material grafit/epoksi. Untuk variasi selanjutnya dengan variasi *overlap* dan ketebalan didapatkan hasil yang sama yaitu tidak merubah bentuk deformasi pada mode pertama hingga ke sepuluh. Hal ini dijelaskan didalam penelitian terkait *modal analysis* dilakukan oleh Huang (2014) terhadap geometri *runner chamber* bahwa frekuensi natural berubah seiring berubahnya geometri namun *mode shape* mengalami tidak berubah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bertambahnya panjang *overlap* atau ketebalan silinder hanya mempengaruhi nilai frekuensi naturalnya, akan tetapi tidak

mengubah bentuk deformasi yang terjadi untuk setiap mode vibrasi.

4.2.2 Analisa Pengaruh Pertambahan Panjang *Overlap* Terhadap Ketahanan Vibrasi

Hasil simulasi untuk mendapatkan nilai frekuensi natural pada masing-masing silinder komposit *single lap joint* dengan variasi panjang *overlap* dapat dilihat pada Gambar 4.9 dibawah ini.





Gambar 4.9 Hubungan mode vibrasi dan frekuensi natural terhadap variasi panjang *overlap* untuk ketebalan (a) 2 mm, (b) 2,27 mm dan (c) 2,54 mm

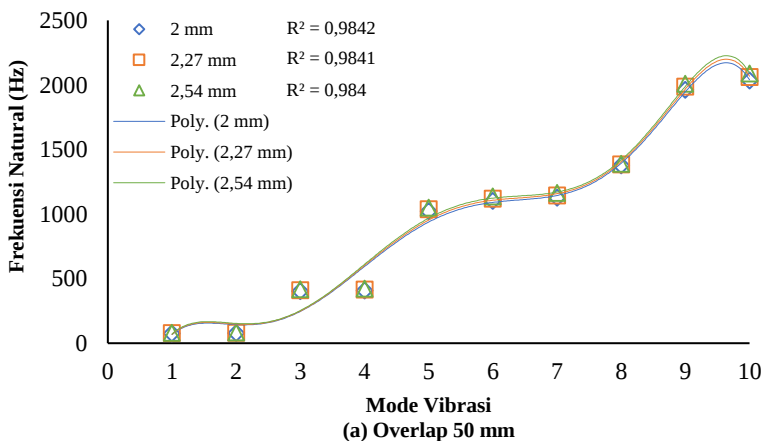
Pada Gambar 4.9 dapat dilihat nilai frekuensi natural dari masing-masing jenis silinder komposit tipe *single lap joint* dengan variasi panjang *overlap* yang berbeda pada setiap ketebalan yang sama. Nilai frekuensi natural paling rendah terjadi pada mode pertama dan paling tinggi berada pada mode kesepuluh untuk setiap variasi panjang *overlap* 50 mm, 60 mm dan 70 mm. Pada grafik (a) yaitu ketebalan 2 mm dengan variasi *overlap* 50 mm, 60 mm dan 70 mm mendapatkan nilai frekuensi natural untuk mode pertama sebesar 77,919 Hz, 81,159 Hz dan, 84,582 Hz. Dari data tersebut dapat dianalisa bahwa frekuensi natural meningkat seiring dengan bertambahnya panjang *overlap* pada daerah sambungan. Hal yang sama juga terjadi untuk grafik (b) dan (c) dengan variasi panjang *overlap* 50 mm, 60 mm dan 70 mm. Sehingga sesuai dengan penelitian dari Apalak (2007) pada silinder komposit tipe *single lap joint* untuk material grafit/epoksi dengan meningkatkan panjang *overlap* maka akan meningkatkan frekuensi naturalnya. Sambungan adhesif menjadi lebih kaku ketika daerah *overlap* ditingkatkan. Penelitian serupa lainnya yang dilakukan oleh

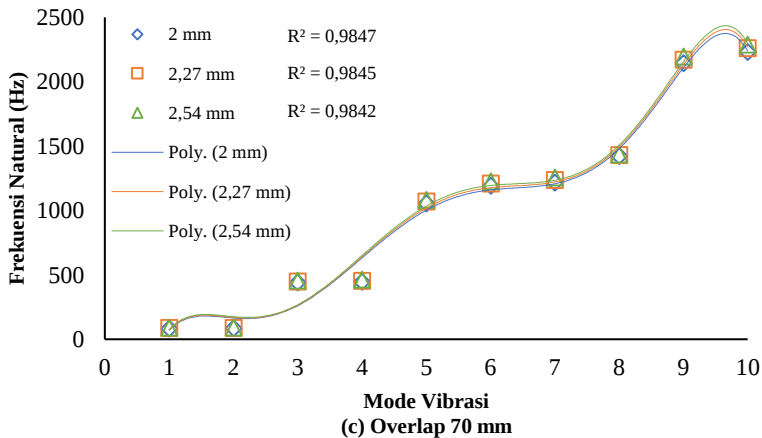
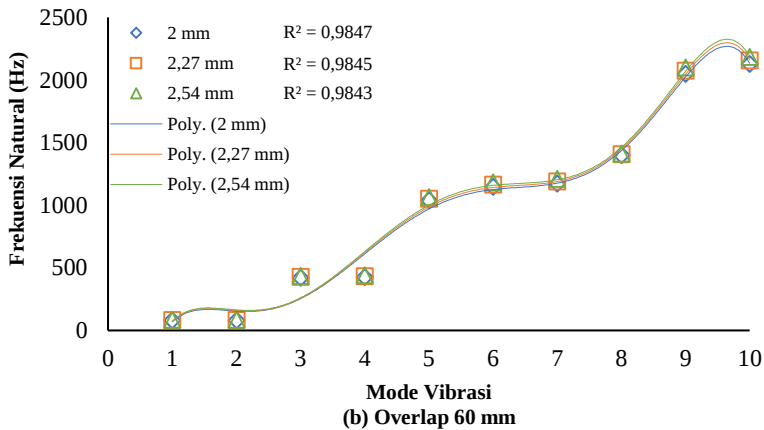
Huang (2014) pada geomteri *runner chamber* mendapati hasil bahwa dengan membuat struktur menjadi lebih kaku maka frekuensi naturalnya akan meningkat.

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat *trendline* hasil simulasi dari pengaruh *overlap* terhadap frekuensi natural yaitu memiliki *trend* meningkat secara polinomial orde ke-6 dengan rata-rata $R^2=0,984$. Berdasarkan data hasil simulasi yang ada dapat dianalisa dengan **memperpanjang daerah *overlap* pada desain sambungan adhesif tipe *single lap joint* mampu meningkatkan nilai frekuensi natural sebesar 3,5-7,1%**, sehingga dapat disimpulkan bahwa panjang *overlap* merupakan parameter desain geometri yang dominan terhadap frekuensi natural untuk mengoptimalkan ketahanan vibrasi pada sambungan adhesif tipe *single lap joint*.

4.2.3 Analisa Pengaruh Pertambahan Ketebalan Silinder Terhadap Ketahanan Vibrasi

Hasil simulasi untuk mendapatkan nilai frekuensi natural pada masing-masing silinder komposit tipe *single lap joint* dengan variasi ketebalan silinder dapat dilihat pada Gambar 4.10 dibawah ini.





Gambar 4.10 Hubungan mode vibrasi dan frekuensi natural terhadap variasi ketebalan silinder untuk overlap (a) 50 mm, (b) 60 mm dan (c) 70 mm

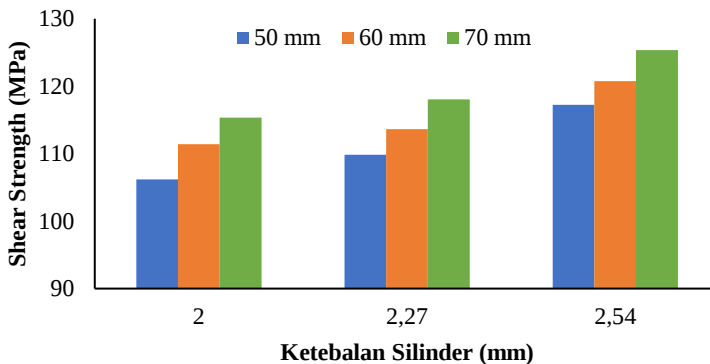
Pada Gambar 4.10 dapat dilihat nilai frekuensi natural dari masing-masing jenis silinder komposit tipe *single lap joint* dengan

variasi ketebalan silinder yang berbeda pada setiap *overlap* yang sama. Nilai frekuensi natural paling rendah terjadi pada mode pertama dan paling tinggi berada pada mode kesepuluh untuk setiap variasi ketebalan silinder 2 mm, 2,27 mm dan 2,54 mm. Pada grafik (a) yaitu *overlap* 50 mm dengan variasi ketebalan 2 mm, 2,27 mm dan 2,54 mm mendapatkan nilai frekuensi natural untuk mode pertama sebesar 77,919 Hz, 80,414 Hz dan, 82,907 Hz. Dari data tersebut dapat dianalisa bahwa frekuensi natural meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan silinder. Hal yang sama juga terjadi untuk grafik (b) dan (c) dengan variasi ketebalan silinder 2 mm, 2,27 mm dan 2,54 mm. Sehingga sesuai dengan penelitian dari Apalak (2007) pada silinder komposit tipe *single lap joint* untuk material grafit/epoksi dengan meningkatkan ketebalan silinder maka akan membuat frekuensi naturalnya meningkat. Sambungan adhesif menjadi lebih kaku ketika ketebalan silinder ditingkatkan. Penelitian serupa lainnya dilakukan oleh Huang (2014) mendapati hasil bahwa dengan meningkatnya ketebalan pada dinding *runner chamber* maka struktur akan menjadi lebih kaku dan fekuensi naturalnya meningkat.

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat *trendline* hasil simulasi dari pengaruh ketebalan silinder terhadap frekuensi natural yaitu memiliki *trend* meningkat secara polinomial orde ke-6 dengan rata-rata $R^2=0,984$. Berdasarkan data hasil simulasi yang ada dapat dianalisa dengan **menambah ketebalan silinder pada desain sambungan adhesif tipe *single lap joint* mampu meningkatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,7-3,32%**, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketebalan silinder merupakan parameter desain geometri yang penting terhadap frekuensi natural untuk mengoptimalkan ketahanan vibrasi pada sambungan adhesif tipe *single lap joint*.

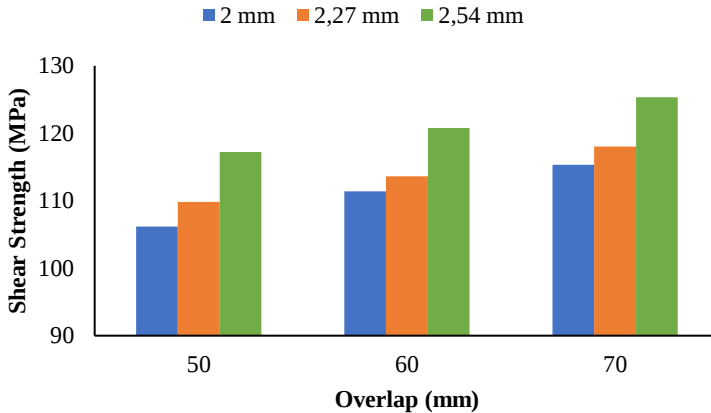
4.3 Optimasi Desain Sambungan Adhesif *Single Lap Joint*

Simulasi desain sambungan adhesif tipe *single lap joint* pada silinder komposit telah dilakukan dengan membuat variasi panjang *overlap* dan ketebalan silinder untuk menghasilkan nilai frekuensi natural dan distribusi *stress* pada sambungan adhesif. Proses simulasi ini menghasilkan gambaran pengaruh panjang *overlap* dan ketebalan silinder terhadap kekuatan sambungan dan ketahanan vibrasi.



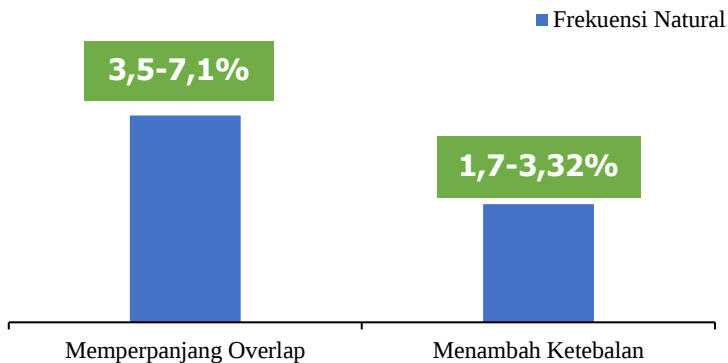
Gambar 4.11 Kekuatan sambungan pada variasi overlap

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa kekuatan sambungan meningkat dengan menambah panjang area *overlap*. Overlap 70 mm untuk semua ketebalan memberikan nilai kekuatan maksimum. Sehingga dalam penelitian ini 70 mm merupakan nilai dari panjang *overlap* optimum.



Gambar 4.12 Kekuatan sambungan pada variasi ketebalan

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa kekuatan sambungan meningkat dengan menambah ketebalan silinder. Ketebalan 2,54 mm memberikan nilai kekuatan tertinggi untuk pada semua nilai *overlap*. Sehingga dalam penelitian ini ketebalan 2,54 mm adalah nilai optimum.



Gambar 4.13 Persentase pertambahan panjang overlap dan ketebalan silinder terhadap frekuensi natural

Pada Gambar 4.13 merupakan presentase pertambahan frekuensi natural akibat pertambahan pada variasi *overlap* dan ketebalan. Penambahan panjang pada *overlap* dan ketebalan sama-sama membuat frekuensi naturalnya meningkat, tetapi memperpanjang overlap membuat frekuensi naturalnya meningkat sebesar 3,5-71% dari pada ketebalan yang hanya 1,7-3,32%.

Tabel 4. 1 Nilai kekuatan sambungan dan frekuensi natural

	t_1 (mm)	C (mm)	Shear Strength (MPa)	*Frekuensi Natural (Hz)
Model 1	2	50	106,17	77,919
Model 2	2	60	111,39	81,159
Model 3	2	70	115,34	84,582
Model 4	2,27	50	109,82	80,411
Model 5	2,27	60	113,61	83,758
Model 6	2,27	70	118,03	87,293
Model 7	2,54	50	117,22	82,907
Model 8	2,54	60	120,77	86,362
Model 9	2,54	70	125,36	90,009

*frekuensi natural merupakan mode 1

∴ Berdasarkan hasil optimasi ini disimpulkan bahwa:

1. *Overlap* 70 mm memiliki kekuatan sambungan dan ketahanan vibrasi paling tinggi.
2. Ketebalan 2,54 mm memiliki nilai kekuatan sambungan tertinggi serta ketahanan vibrasi yang baik.
3. Desain sambungan optimal berada pada overlap 70 mm dan ketebalan 2,54 mm dikarenakan memiliki kekuatan sambungan dan ketahanan terhadap vibrasi yang tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisa menunjukkan bahwa dengan menambah ketebalan silinder mampu meningkatkan kekuatan sambungan sebesar 2,69-9,2% dimana ketebalan 2,54 mm merupakan ketebalan optimum untuk kekuatan sambungan dan memperpanjang area *overlap* mampu meningkatkan kekuatan sambungan sebesar 3,8-7,7% dimana *overlap* 70 mm merupakan *overlap* optimum untuk kekuatan sambungan. Sehingga ketebalan silinder dan panjang *overlap* adalah parameter desain geometri yang penting terhadap kekuatan sambungan pada sambungan silinder komposit tipe *single lap joint*.
2. Hasil analisa menunjukkan bahwa dengan menambah ketebalan silinder dapat meningkatkan frekuensi natural sebesar 1,7-3,32% dimana ketebalan 2,54 mm merupakan ketebalan optimum untuk ketahanan vibrasi dan memperpanjang area *overlap* dapat meningkatkan frekuensi natural sebesar 3,5-7,1% dimana *overlap* 70 mm merupakan *overlap* optimum untuk ketahanan vibrasi. Sehingga ketebalan silinder dan panjang *overlap* adalah parameter desain geometri yang penting terhadap ketahanan vibrasi pada sambungan silinder komposit tipe *single lap joint*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk mengoptimalkan hasil dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan pengujian *shear test* secara langsung untuk melihat performa dari desain sambungan adhesif tipe *single lap joint* yang telah di optimasi.
2. Melakukan simulasi penelitian terhadap variasi ketebalan dan panjang *overlap* dengan *taper* pada ujung sambungan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Adams D. R. 1984. **Structural Adhesive Joints in Engineering**. USA: Elsevier Applied Science Publisher.
- Akovali, G. 2001. **Handbook of Composite Fabrication**. UK: Rapra Technology Ltd.
- Apalak, M., Yildirim, M. 2007. "Free Vibration Analysis and Optimal Design of a Cantilevered Adhesively Bonded Composite Tubular Single Lap Joints". **Polymers & Polymer Composites**, 489-490.
- Apalak, M., 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** 2, 22:183-211.
- Apalak, M., Yildirim, M., Ekici R. 2008. "Layer optimisation for maximum fundamental frequency of laminated composite plates for different edge conditions". **Composites Science and Technology**, 68:537-550.
- Asngali, B. 2016. "Kekuatan Sambungan AL/CFRP Menggunakan Adhesif Epoksi/Serbuk-AL dengan Variasi Pressure Level". **Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)** 1, 1:65.
- Aydin. 2012. "The Effect of Adherend Thickness On The Failure Of Adhesively Bonded Single Lap Joints". **Journal of Adhesion Science and Technology** 19, 8:705-718.
- Barbero, E. J. 2017. **Introduction to Composite Material Design**. US: Taylor & Francis Group.
- Campbell, F. 2010. **Structural Composite Materials**. United States of America: ASM International.
- Carlone, D. 2015. **Soft Computing in Design and Manufacturing of Composite Material**. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Chawla, K. 1998. **Composite Materials Science and Engineering**. Birmingham: Springer.

-
- Cook, R. D. 1981. **Concepts and Applications of Finite Element Analysis, Second Edition**. New York: John Wiley and Sons.
- Daniel, M. 2006. **Engineering Mechanics of Composite Materials**. Oxford: Oxford University Press.
- Das, R.R., Pradhan, B. 2010. “Adhesion failure analyses of bonded tubular single lap joints in laminated fibre reinforced plastic composites”. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, 5:425-438.
- Hull, D.T. 1996. **Introduction to Composite Materials**. London: Cambridge University Press.
- Groover, M. 1976. **Fundamentals of Modern Manufacturing, 4th Edition**. US: John Willey & Sons, Inc.
- Gunes, R., Apalak, M., Yildirim, M. 2007. “Free Vibration Analysis and Design of an Adhesively Bonded Composite Single Lap Joint”. **Proceeding ASME 2007 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE**.
- Gunes, R., Apalak, M., Yildirim, M. 2011. “The free vibration analysis and optimal design of an adhesively bonded functionally graded single lap joint”. **International Journal of Mechanical Sciences** 87, 9 :902-905.
- Hidayat, M. I., Yusoff, P. 2010. **Optimizing Neural Network Prediction of Composite Fatigue Life Under Variable Amplitude Loading Using Bayesian Regularization**. Sound Parkway NW: Taylor & Francis Group.
- Huang, C., Li, J., Yang, Z., Xu, Z. 2014 “Modal Analysis on a Runner Chamber for a Large Hydraulic Bulb Tubular Turbine”. **Applied Mechanics and Materials**, 678:561-565.
- Jones, R. M. 1999. **Mechanics of Composite Materials, 2nd edition**. Philadelphia, United States of America: Taylor & Francis Group.
- Kadam, D., Desai, K., Chumble, R. 2015. “Modal Analysis of an Adhesive Joint”. **International Journal of Innovative**
-

-
- Research in Science, Engineering and Technology** 6, 4:4137-4138.
- Kadioglu. 2012. "Effects of overlap length on the strength of bolted, bonded and hybrid single lap joints with different adherend materials and thicknesses". **Journal of Adhesion Science and Technology** 9, 4:234-235.
- Kaw, A. K. 2006. **Mechanics of Composite Materials, 2nd edition**. Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis Group.
- Kinloch, A. J. 1987. **Adhesion and Adhesives**. London: Chapman & Hall.
- Lee, M., Wang, C., Yeo, E. 2013. "Effects of adherend thickness and taper on adhesive bond strength measured by portable pull-off tests". **International Journal of Adhesion & Adhesives** 44, 259-268
- Lin, C., Ko, T. 1995. "Vibration of bonded laminated lap-joint plates using adhesive interface elements". **Jurnal sound and vibration** 9, 2:441-452.
- Liu, S. 2014. **The Finite Element Method, Second Edition**. England: Elsevier Science Ltd.
- Maalawi, K. 2018. **Introductory Chapter: An Introduction to the Optimization of Composite Structures**. IntechOpen.
- Miracle, S., Daniel, B. 2001. **ASM Handbook Volume 21: Composites. ASM (American Society for Metals) International**, Ohio, USA.
- Petrie. 1999. **Handbook of Adhesives and Sealants**. US: McGraw-Hill.
- Rao, S. 1989. **The Finite Element Method**. Oxford: Pergamon Press.
- Saito, H., Tani, H. 1984. "Vibrations of bonded beams with a single lap adhesive joint". **Journal of Sound and Vibration** 92, 2:299-309.
- 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 7, 64-70.

- Smith, H. **Adhesive-Bonded Double-Lap Joints**. California: National Aeronautics and Space Administrations.
- Soliman, G. 1995. **Adhesive overlap joints**. Australia: University of Wollongong Thesis Collections.
- Sulistijono. 2012. **Mekanika Material Komposit**. Surabaya: ITS Press.
- Sulistijono. 2012. **Mekanika Material Komposit**. Surabaya: ITS Press.
- Tretzis D., Tsongas K., Mansour G. 2017. "Determination of the Mechanical Properties of Epoxy Silica Nanocomposites Through FEA Supported Evaluation of Ball Indentation Test Results". **Journal of Material Research** 20, 6:1571-1578.
- Xiaocong, H. 2011. "A review of finite element analysis of adhesively bonded joints". **International Journal of Adhesion & Adhesives** 31, 4:248-264.
- Zhang, J., He, X., Wang., R. 2016. "Numerical Studies of Adherend Thickness Influence on the Response of Single Lap Joint under Longitudinal Load". **International Forum on Mechanical, Control and Automation**, 113:664-668.
-

LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai Frekuensi Natural

Overlap 50 mm & Ketebalan 2 mm	
Mode	Frequency [Hz]
1	77,919
2	78,096
3	404,96
4	409,25
5	1024,9
6	1104,2
7	1127,3
8	1378,2
9	1962,9
10	2035,4

Overlap 60 mm & Ketebalan 2 mm	
Mode	Frequency [Hz]
1	81,159
2	81,349
3	422,25
4	426,97
5	1040,2
6	1147,5
7	1172
8	1399,9
9	2049,4
10	2128,3

Overlap 70 mm & Ketebalan 2 mm	
Mode	Frequency [Hz]
1	84,582
2	84,788
3	441,51
4	446,72
5	1056
6	1192,2
7	1218,2
8	1422,6
9	2144,8
10	2230,5

Overlap 50 mm & Ketebalan 2.27 mm	
Mode	Frequency [Hz]
1	80,411
2	80,606
3	411,92
4	416,48
5	1038
6	1121,2
7	1145,6
8	1384,9
9	1987
10	2062,4

Overlap 60 mm & Ketebalan 2.27 mm	
Mode	Frequency [Hz]
1	83,758
2	83,968
3	429,56
4	434,58
5	1053,5
6	1165
7	1190,8
8	1406,8
9	2074,5
10	2156,5

Overlap 70 mm & Ketebalan 2.27 mm	
Mode	Frequency [Hz]
1	87,293
2	87,52
3	449,22
4	454,76
5	1069,4
6	1210,1
7	1237,5
8	1429,6
9	2171,1
10	2260,3

Overlap 50 mm & Ketebalan 2.54 mm	
Mode	Frequency [Hz]
1	82,907
2	83,121
3	418,76
4	423,59
5	1050,4
6	1138,1
7	1163,8
8	1391,2
9	2010,6
10	2088,9

Overlap 60 mm & Ketebalan 2.54 mm	
Mode	Frequency [Hz]
1	86,362
2	86,593
3	436,74
4	442,06
5	1066,1
6	1182,3
7	1209,5
8	1413,2
9	2099,2
10	2184,3

Overlap 70 mm & Ketebalan 2.54 mm	
Mode	Frequency [Hz]
1	90,009
2	90,258
3	456,8
4	462,67
5	1082,1
6	1227,9
7	1256,7
8	1436,2
9	2197
10	2289,5

Lampiran 2. Nilai *Max Shear Stress*

Overlap 50 mm & Ketebalan 2 mm		Overlap 60 mm & Ketebalan 2 mm		Overlap 70 mm & Ketebalan 2 mm	
0	76,264	0	76,142	0	80,416
1,0416	55,007	1,25	54,739	1,4582	52,756
2,0833	40,545	2,5	39,873	2,9164	37,85
3,1249	32,842	3,7499	30,342	4,3747	29,17
4,1666	28,017	4,9999	25,414	5,8329	24,19
5,2082	24,284	6,2499	22,176	7,2911	21,27
6,2499	21,949	7,4999	20,275	8,7493	19,365
7,2915	20,404	8,7498	18,793	10,208	17,909
8,3332	19,156	9,9998	17,578	11,666	16,649
9,3748	18,214	11,25	16,524	13,124	15,454
10,416	17,411	12,5	15,543	14,582	14,282
11,458	16,677	13,75	14,6	16,04	13,128
12,5	16,015	15	13,682	17,499	12,005
13,541	15,387	16,25	12,794	18,957	10,936
14,583	14,784	17,5	11,94	20,415	9,9372
15,625	14,23	18,75	11,141	21,873	9,0244
16,666	13,71	20	10,407	23,332	8,2082
17,708	13,222	21,25	9,7401	24,79	7,4951
18,75	12,812	22,5	9,1455	26,248	6,8875
19,791	12,445	23,75	8,6272	27,706	6,3834
20,833	12,134	25	8,2119	29,164	5,9777
21,875	11,918	26,25	7,8866	30,623	5,6629
22,916	11,755	27,5	7,6466	32,081	5,4311
23,958	11,673	28,75	7,4931	33,539	5,2759
25	11,688	29,999	7,4281	34,997	5,1942
26,041	11,762	31,249	7,4874	36,455	5,1954
27,083	11,936	32,499	7,6426	37,914	5,2798

28,124	12,198	33,749	7,8968	39,372	5,4588
29,166	12,519	34,999	8,2531	40,83	5,7465
30,208	12,947	36,249	8,7201	42,288	6,1563
31,249	13,443	37,499	9,3164	43,747	6,6988
32,291	13,991	38,749	10,012	45,205	7,3801
33,333	14,637	39,999	10,803	46,663	8,2009
34,374	15,326	41,249	11,682	48,121	9,1573
35,416	16,061	42,499	12,651	49,579	10,241
36,458	16,868	43,749	13,699	51,038	11,439
37,499	17,715	44,999	14,803	52,496	12,737
38,541	18,614	46,249	15,958	53,954	14,123
39,583	19,628	47,499	17,164	55,412	15,57
40,624	20,741	48,749	18,441	56,871	17,073
41,666	22,04	49,999	19,86	58,329	18,641
42,708	23,809	51,249	21,491	59,787	20,341
43,749	25,96	52,499	23,543	61,245	22,304
44,791	29,023	53,749	26,286	62,703	24,904
45,832	34,156	54,999	30,197	64,162	28,663
46,874	40,821	56,249	38,123	65,62	35,024
47,916	51,113	57,499	48,104	67,078	46,417
48,957	66,527	58,749	63,721	68,536	62,742
49,999	87,771	59,999	94,787	69,995	91,764

Overlap 50 mm & Ketebalan 2,27 mm		Overlap 60 mm & Ketebalan 2,27 mm		Overlap 70 mm & Ketebalan 2,27 mm	
0	82,647	0	84,925	0	88,066
1,0416	58,424	1,25	55,169	1,4583	52,447
2,0832	42,776	2,5	41,023	2,9166	39,168
3,1248	35,231	3,75	33,199	4,375	31,378
4,1664	30,517	4,9999	27,811	5,8333	26,611
5,208	26,804	6,2499	24,591	7,2916	23,546
6,2496	24,359	7,4999	22,405	8,7499	21,378
7,2912	22,655	8,7499	20,719	10,208	19,705
8,3328	21,256	9,9999	19,366	11,667	18,287
9,3744	20,225	11,25	18,215	13,125	17
10,416	19,373	12,5	17,197	14,583	15,785
11,458	18,616	13,75	16,255	16,041	14,618
12,499	17,973	15	15,359	17,5	13,495
13,541	17,383	16,25	14,505	18,958	12,429
14,582	16,83	17,5	13,694	20,416	11,428
15,624	16,342	18,75	12,938	21,875	10,503
16,666	15,89	20	12,245	23,333	9,6644
17,707	15,472	21,25	11,615	24,791	8,9185
18,749	15,129	22,5	11,053	26,25	8,2703
19,79	14,827	23,75	10,563	27,708	7,7217
20,832	14,576	25	10,173	29,166	7,2726
21,874	14,412	26,25	9,8728	30,625	6,9213
22,915	14,295	27,5	9,6594	32,083	6,6659
23,957	14,251	28,75	9,535	33,541	6,505
24,998	14,296	30	9,5022	35	6,4393
26,04	14,392	31,25	9,5977	36,458	6,4816
27,082	14,578	32,5	9,7904	37,916	6,6282
28,123	14,843	33,75	10,081	39,375	6,8863

29,165	15,159	35	10,472	40,833	7,2634
30,206	15,572	36,25	10,967	42,291	7,7658
31,248	16,046	37,5	11,585	43,75	8,3975
32,29	16,567	38,75	12,294	45,208	9,1594
33,331	17,182	40	13,091	46,666	10,049
34,373	17,842	41,25	13,97	48,124	11,061
35,414	18,549	42,5	14,934	49,583	12,187
36,456	19,347	43,75	15,981	51,041	13,418
37,498	20,198	45	17,092	52,499	14,741
38,539	21,124	46,249	18,271	53,958	16,155
39,581	22,207	47,499	19,524	55,416	17,646
40,622	23,419	48,749	20,897	56,874	19,224
41,664	24,868	49,999	22,458	58,333	20,921
42,706	26,79	51,249	24,302	59,791	22,817
43,747	29,116	52,499	26,574	61,249	25,069
44,789	32,436	53,749	29,473	62,708	27,983
45,83	37,459	54,999	33,902	64,166	32,106
46,872	43,873	56,249	40,86	65,624	38,534
47,914	54,55	57,499	51,621	67,083	49,214
48,955	70,576	58,749	68,129	68,541	66,725
49,997	92,973	59,999	95,217	69,999	98,016

Overlap 50 mm & Ketebalan 2,54 mm		Overlap 60 mm & Ketebalan 2,54 mm		Overlap 70 mm & Ketebakan 2,54 mm	
0	88,343	0	92,503	0	94,279
1,0416	61,873	1,2499	57,537	1,4581	54,453
2,0833	45,273	2,4998	43,037	2,9162	41,613
3,1249	37,959	3,7497	35,66	4,3743	33,612
4,1665	33,096	4,9996	30,043	5,8323	28,554
5,2082	29,217	6,2496	26,564	7,2904	25,249
6,2498	26,652	7,4995	24,215	8,7485	22,897
7,2914	24,827	8,7494	22,403	10,207	21,108
8,3331	23,326	9,9993	20,966	11,665	19,631
9,3747	22,24	11,249	19,777	13,123	18,33
10,416	21,366	12,499	18,759	14,581	17,13
11,458	20,606	13,749	17,846	16,039	15,995
12,5	19,993	14,999	16,994	17,497	14,911
13,541	19,446	16,249	16,195	18,955	13,884
14,583	18,946	17,499	15,443	20,413	12,917
15,625	18,522	18,749	14,749	21,871	12,019
16,666	18,136	19,999	14,115	23,329	11,197
17,708	17,785	21,248	13,54	24,787	10,46
18,749	17,507	22,498	13,029	26,246	9,8143
19,791	17,266	23,748	12,586	27,704	9,2634
20,833	17,073	24,998	12,239	29,162	8,8107
21,874	16,958	26,248	11,978	30,62	8,4582
22,916	16,885	27,498	11,8	32,078	8,2076
23,958	16,878	28,748	11,709	33,536	8,0605
24,999	16,949	29,998	11,708	34,994	8,019
26,041	17,066	31,248	11,831	36,452	8,0982
27,083	17,262	32,498	12,047	37,91	8,291
28,124	17,528	33,748	12,357	39,368	8,6016

29,166	17,839	34,998	12,76	40,826	9,0333
30,207	18,236	36,247	13,262	42,284	9,5884
31,249	18,689	37,497	13,876	43,743	10,267
32,291	19,184	38,747	14,575	45,201	11,067
33,332	19,768	39,997	15,353	46,659	11,985
34,374	20,397	41,247	16,208	48,117	13,014
35,416	21,075	42,497	17,143	49,575	14,146
36,457	21,853	43,747	18,161	51,033	15,373
37,499	22,695	44,997	19,247	52,491	16,687
38,54	23,626	46,247	20,411	53,949	18,09
39,582	24,748	47,497	21,665	55,407	19,578
40,624	26,021	48,747	23,07	56,865	21,172
41,665	27,577	49,996	24,708	58,323	22,918
42,707	29,652	51,246	26,677	59,781	24,912
43,749	32,172	52,496	29,135	61,24	27,332
44,79	35,792	53,746	32,29	62,698	30,488
45,832	41,121	54,996	37,063	64,156	34,959
46,874	47,928	56,246	44,439	65,614	41,821
47,915	59,784	57,496	56,261	67,072	53,119
48,957	74,862	58,746	73,096	68,53	72,032
49,998	94,421	59,996	96,712	69,988	100,72

Lampiran 3. Nilai *Equivalent Stress*

Overlap 50 mm & Ketebalan 2 mm		Overlap 60 mm & Ketebalan 2 mm		Overlap 70 mm & Ketebalan 2 mm	
0	135,89	0	136,51	0	143,94
1,0416	96,81	1,25	96,002	1,4582	92,223
2,0833	70,755	2,5	69,58	2,9164	66,057
3,1249	57,388	3,7499	52,974	4,3747	50,861
4,1666	48,904	4,9999	44,29	5,8329	42,097
5,2082	42,324	6,2499	38,575	7,2911	36,94
6,2499	38,198	7,4999	35,206	8,7493	33,581
7,2915	35,46	8,7498	32,594	10,208	31,031
8,3332	33,253	9,9998	30,464	11,666	28,839
9,3748	31,594	11,25	28,626	13,124	26,767
10,416	30,185	12,5	26,923	14,582	24,738
11,458	28,904	13,75	25,288	16,04	22,74
12,5	27,753	15	23,699	17,499	20,794
13,541	26,664	16,25	22,16	18,957	18,941
14,583	25,62	17,5	20,682	20,415	17,214
15,625	24,665	18,75	19,301	21,873	15,641
16,666	23,771	20	18,039	23,332	14,244
17,708	22,936	21,25	16,899	24,79	13,038
18,75	22,244	22,5	15,895	26,248	12,029
19,791	21,633	23,75	15,034	27,706	11,217
20,833	21,126	25	14,367	29,164	10,594
21,875	20,793	26,25	13,871	30,623	10,146
22,916	20,56	27,5	13,537	32,081	9,8579
23,958	20,475	28,75	13,368	33,539	9,7164
25	20,565	29,999	13,362	34,997	9,7121
26,041	20,761	31,249	13,577	36,455	9,8551
27,083	21,133	32,499	13,958	37,914	10,141

28,124	21,655	33,749	14,507	39,372	10,581
29,166	22,277	34,999	15,223	40,83	11,195
30,208	23,076	36,249	16,118	42,288	11,999
31,249	23,982	37,499	17,217	43,747	13,008
32,291	24,972	38,749	18,47	45,205	14,232
33,333	26,11	39,999	19,868	46,663	15,675
34,374	27,31	41,249	21,401	48,121	17,33
35,416	28,577	42,499	23,068	49,579	19,186
36,458	29,943	43,749	24,847	51,038	21,221
37,499	31,363	44,999	26,702	52,496	23,41
38,541	32,857	46,249	28,625	53,954	25,727
39,583	34,524	47,499	30,615	55,412	28,128
40,624	36,355	48,749	32,702	56,871	30,597
41,666	38,497	49,999	35,009	58,329	33,154
42,708	41,444	51,249	37,67	59,787	35,912
43,749	45,073	52,499	41,061	61,245	39,108
44,791	50,305	53,749	45,667	62,703	43,405
45,832	59,163	54,999	52,341	64,162	49,747
46,874	70,71	56,249	66,032	65,62	60,673
47,916	88,556	57,499	83,335	67,078	80,407
48,957	115,25	58,749	110,37	68,536	108,68
49,999	152,48	59,999	164,58	69,995	159,48

Overlap 50 mm & Ketebalan 2,27 mm		Overlap 60 mm & Ketebalan 2,27 mm		Overlap 70 mm & Ketebalan 2,27 mm	
0	146,74	0	150,84	0	156,34
1,0416	102,57	1,25	96,53	1,4583	91,495
2,0832	74,518	2,5	71,478	2,9166	68,281
3,1248	61,459	3,75	57,873	4,375	54,675
4,1664	53,217	4,9999	48,441	5,8333	46,3
5,208	46,706	6,2499	42,773	7,2916	40,898
6,2496	42,402	7,4999	38,917	8,7499	37,082
7,2912	39,392	8,7499	35,949	10,208	34,151
8,3328	36,922	9,9999	33,575	11,667	31,68
9,3744	35,104	11,25	31,564	13,125	29,446
10,416	33,607	12,5	29,793	14,583	27,34
11,458	32,281	13,75	28,157	16,041	25,318
12,499	31,161	15	26,605	17,5	23,374
13,541	30,135	16,25	25,127	18,958	21,528
14,582	29,178	17,5	23,723	20,416	19,796
15,624	28,337	18,75	22,418	21,875	18,2
16,666	27,561	20	21,227	23,333	16,76
17,707	26,846	21,25	20,149	24,791	15,49
18,749	26,269	22,5	19,196	26,25	14,401
19,79	25,765	23,75	18,378	27,708	13,499
20,832	25,356	25	17,745	29,166	12,785
21,874	25,104	26,25	17,279	30,625	12,258
22,915	24,941	27,5	16,975	32,083	11,913
23,957	24,909	28,75	16,835	33,541	11,745
24,998	25,034	30	16,863	35	11,751
26,04	25,252	31,25	17,117	36,458	11,947
27,082	25,627	32,5	17,541	37,916	12,322
28,123	26,136	33,75	18,132	39,375	12,882

29,165	26,734	35	18,89	40,833	13,636
30,206	27,491	36,25	19,821	42,291	14,589
31,248	28,347	37,5	20,948	43,75	15,747
32,29	29,28	38,75	22,219	45,208	17,109
33,331	30,356	40	23,626	46,666	18,673
34,373	31,501	41,25	25,158	48,124	20,429
35,414	32,718	42,5	26,82	49,583	22,364
36,456	34,068	43,75	28,6	51,041	24,46
37,498	35,5	45	30,473	52,499	26,698
38,539	37,049	46,249	32,444	53,958	29,067
39,581	38,85	47,499	34,526	55,416	31,548
40,622	40,869	48,749	36,792	56,874	34,155
41,664	43,294	49,999	39,365	58,333	36,946
42,706	46,535	51,249	42,422	59,791	40,061
43,747	50,493	52,499	46,227	61,249	43,785
44,789	56,196	53,749	51,137	62,708	48,661
45,83	64,882	54,999	58,737	64,166	55,671
46,872	76,028	56,249	70,778	65,624	66,743
47,914	94,594	57,499	89,472	67,083	85,283
48,955	122,24	58,749	118,02	68,541	115,65
49,997	161,41	59,999	165,28	69,999	170,22

Overlap 50 mm & Ketebalan 2,54 mm		Overlap 60 mm & Ketebalan 2,54 mm		Overlap 70 mm & Ketebalan 2,54 mm	
0	157,06	0	164,51	0	167,56
1,0416	108,66	1,2499	100,64	1,4581	94,903
2,0833	78,842	2,4998	74,938	2,9162	72,493
3,1249	66,211	3,7497	62,146	4,3743	58,549
4,1665	57,713	4,9996	52,328	5,8323	49,685
5,2082	50,916	6,2496	46,219	7,2904	43,87
6,2498	46,409	7,4995	42,078	8,7485	39,732
7,2914	43,191	8,7494	38,889	10,207	36,595
8,3331	40,542	9,9993	36,366	11,665	34,017
9,3747	38,627	11,249	34,285	13,123	31,754
10,416	37,088	12,499	32,51	14,581	29,672
11,458	35,755	13,749	30,923	16,039	27,704
12,5	34,683	14,999	29,444	17,497	25,828
13,541	33,73	16,249	28,059	18,955	24,05
14,583	32,862	17,499	26,759	20,413	22,378
15,625	32,13	18,749	25,563	21,871	20,827
16,666	31,467	19,999	24,473	23,329	19,416
17,708	30,868	21,248	23,491	24,787	18,158
18,749	30,4	22,498	22,625	26,246	17,067
19,791	30,00	23,748	21,884	27,704	16,153
20,833	29,686	24,998	21,318	29,162	15,422
21,874	29,513	26,248	20,909	30,62	14,878
22,916	29,417	27,498	20,654	32,078	14,524
23,958	29,437	28,748	20,557	33,536	14,36
24,999	29,596	29,998	20,621	34,994	14,388
26,041	29,837	31,248	20,903	36,452	14,627
27,083	30,215	32,498	21,349	37,91	15,063
28,124	30,712	33,748	21,955	39,368	15,696

29,166	31,287	34,998	22,718	40,826	16,53
30,207	32,005	36,247	23,646	42,284	17,564
31,249	32,813	37,497	24,757	43,743	18,797
32,291	33,69	38,747	26,002	45,201	20,224
33,332	34,706	39,997	27,372	46,659	21,837
34,374	35,794	41,247	28,861	48,117	23,626
35,416	36,956	42,497	30,472	49,575	25,575
36,457	38,274	43,747	32,204	51,033	27,67
37,499	39,695	44,997	34,04	52,491	29,896
38,54	41,261	46,247	35,993	53,949	32,253
39,582	43,141	47,497	38,087	55,407	34,737
40,624	45,282	48,747	40,424	56,865	37,381
41,665	47,91	49,996	43,15	58,323	40,273
42,707	51,439	51,246	46,448	59,781	43,578
43,749	55,756	52,496	50,602	61,24	47,62
44,79	61,999	53,746	55,983	62,698	52,948
45,832	71,23	54,996	64,203	64,156	60,591
46,874	83,065	56,246	76,983	65,614	72,437
47,915	103,65	57,496	97,509	67,072	92,05
48,957	129,66	58,746	126,62	68,53	124,82
49,998	163,84	59,996	167,81	69,988	174,8

Lampiran 4. Autentikasi Tugas Akhir

FinalProject
By Bobby Y Haka

WORD COUNT 9401

TIME SUBMITTED

23-JAN-2020 03:42PM

PAPER ID

54082726

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Idealnya suatu desain komponen akan dirancang tanpa menggunakan sambungan karena dapat menjadi sumber titik terlemah dan menambah beban struktural. Akan tetapi, keterbatasan dalam ukuran komponen akibat proses manufaktur, inspeksi, aksesibilitas, transportasi dan perakitan mengharuskan desain sambungan ada dalam struktur komponen (Das, 2010). Teknik penyambungan menggunakan baut atau paku keling telah lama digunakan dalam industri konstruksi dan manufaktur dikarenakan proses pemasangannya yang sederhana. Kenyataannya meskipun sederhana dalam aplikasinya, penyambungan menggunakan baut atau paku keling sering mengalami kerusakan pada bagian lubang saat menerima benturan dan beban yang tinggi akibat adanya konsentrasi tegangan. Selain itu penggunaan pengencang mekanik juga dapat menambah berat struktural material (Asngali, 2016).

Penggunaan perekat adhesif kini menjadi alternatif dalam penyambungan material komposit atau pun logam karena jauh lebih ringan dan menyebarkan stress lebih seragam melalui sambungan. Permintaan perekat adhesif terus meningkat dimulai pada tahun 2009, terlihat pada industri *automobile* konsumsi adhesif rata-rata untuk satu produk mencapai 20 kg dan diprediksikan akan terus meningkat sebesar 7% sampai 10 tahun mendatang. Pada industri penerbangan yaitu Boeing 787 dan Airbus A350 terlihat adanya dominasi desain sambungan adhesif sebanyak 50%. Penggunaan adhesif yang meluas ini disebabkan oleh kemudahan dalam penggunaannya, penghematan waktu dan biaya, ketahanan terhadap korosi dan *fatigue* yang tinggi, serta memiliki karakteristik redaman yang baik. (Xiaocong, 2011). Akan tetapi, adhesi dan mekanisme deformasi sambungan adhesif menjadi rumit dibawah pembebanan statis dan dinamis. Dalam aplikasinya, beban harmonik dan *impact* menyebabkan sambungan

FinalProject

ORIGINALITY REPORT

9%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	www.scribd.com Internet	142 words — 1%
2	repository.usu.ac.id Internet	116 words — 1%
3	digilib.unila.ac.id Internet	63 words — 1%
4	docplayer.com.br Internet	57 words — 1%
5	202.4.134.18 Internet	53 words — 1%
6	es.scribd.com Internet	48 words — 1%
7	Şahin, Hacı Mehmet, Eşref Baysal, and Ali Rıza Dal. "Experimental and numerical investigation of thermal characteristics of a novel concentric type tube heat exchanger with turbulators : Enhancement of heat exchangers", International Journal of Energy Research, 2012. Crossref	32 words — < 1%
8	id.scribd.com Internet	32 words — < 1%
9	LIENG-HUANG LEE. "ADHESIVE AND SEALANT CHEMISTRY", Elsevier BV, 2000 Crossref	29 words — < 1%

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Orang tua Penulis yaitu Udrus Kholidin dan Ekawati yang selalu mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh program studi S1.
2. Omah dan om Yunus sekeluarga yang telah memberikan kepada Penulis selama berkuliah di Surabaya.
3. Cut Irmafitri selaku partner tugas akhir penulis yang selalu menyemangati dan memberikan masukan. Mas Dimas yang selalu memberikan bantuan dalam tugas akhir ini. Nadya Putri selaku seperjuangan tugas akhir permodelan dalam hal diskusi dan bertukar pendapat.
4. Teman-teman MRC 18/19 (Material Research Club) yang telah memberikan waktu & tenaganya untuk sharing terhadap ilmu serta pengalaman.
5. Teman-teman Lab. Inovasi & Komputasi 19/20 yang telah berjuang bersama selama penelitian baik dalam suka maupun duka.
6. Keluarga MT 18 yang telah menemani dan berjuang bersama selama di Departemen Teknik Material.
7. “Kontrakan gurun” yang telah turut berkontribusi selama Penulis menempuh kuliah S1.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Bobby Yusuf Haka dengan nama panggilan Bobby. Lahir di Bekasi pada tanggal 27 September 1998, merupakan anak pertama dari Bapak Udrus Kholidin dan Ibu Ekawati. Penulis mengawali jenjang Pendidikan di TK Tiga Dara Insani, SDN Pengasinan VI Kota Bekasi, SMPN 16 Kota Bekasi dan SMAN 1 Kota Bekasi. Kemudian penulis melanjutkan jenjang Pendidikan S1 di Departemen Teknik Material pada tahun 2016. Selama berkuliah penulis aktif mengikuti berbagai macam kegiatan yaitu menjadi asisten lab. untuk mata kuliah fisika dasar I, asisten dosen untuk mata kuliah kalkulus I, *volunteer* pengabdian masyarakat Lab. Inovasi dan Fisika Material, *student exchange* GKS ASEAN SCIENCE 2018, pemateri CISAK 11th - South Korea. Penulis selama berkuliah juga aktif mengikuti organisasi yaitu Kepala Divisi Event BSO Kewirausahaan HMMT FTI ITS 2018/2019, Kepala Ukhuwah, dan penulis juga merupakan Co-Founder sekaligus HRD dari Material Research Club (MRC). Penulis melakukan kerja praktik di PT. Dirgantara Indonesia pada divisi *design centre* untuk material pada sayap pesawat pada tipe N-219. Penulis memiliki e-mail: hakabobby@gmail.com dan linkedin: www.linkedin.com/in/bobby-yusuf-haka-13066115a

(Halaman ini sengaja dikosongkan)