

SKRIPSI

PENINGKATAN PERFORMA *ADHESIVE BONDING* CFRP (*CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*) MELALUI VARIASI SAMBUNGAN DENGAN METODE *MECHANICAL INTERLOCKING* MODIFIKASI *COPPER INTERLAYER* (Cu)



Intelligentia - Dignitas

SHIFA RAHMA MARITZA

1518622005

REKAYASA KESELAMATAN KEBAKARAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2026

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

Judul : Peningkatan Performa *Adhesive Bonding* CFRP
(*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) melalui Variasi
Sambungan dengan Metode *Mechanical Interlocking*
Modifikasi *Copper Interlayer* (Cu)

Penyusun : Shifa Rahma Maritza

NIM : 1518622005

Disetujui oleh:

Pembimbing I



Dr. Ir Himawan Hadi Sutrisno,
M.T.

NIP. 198105052008121002

Pembimbing II



Dr. Siska Titik Dwiyati, M.T.

NIP. 197812122006042002

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran



Catur Setyawan Kusumohadi, M.T. PhD.

NIP. 197102232006041001

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Peningkatan Performa *Adhesive Bonding* CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) melalui Variasi Sambungan dengan Metode *Mechanical Interlocking* Modifikasi *Copper Interlayer* (Cu)
Penyusun : Shifa Rahma Maritza
NIM : 1518622005

Disetujui oleh:

Pembimbing I



Dr. Ir. Himawan Hadi Sutrisno, M.T.
NIP. 198105052008121002

Pembimbing II



Dr. Siska Titik Dwiyati, M.T.
NIP. 197812122006042002

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi

Ketua Penguji,



Catur Setyawan Kusumohadi, Ph.D.
NIP. 197102232006041001

Sekretaris,



Ilman Arpi, M.T.
NIP. 199608242025061005

Dosen Ahli



Dr. Ir. Trivono, M.Eng.
NIP. 197508162009121001

Mengetahui.

Koordinator Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran



Catur Setyawan Kusumohadi, Ph.D.
NIP. 197102232006041001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 9 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Shifa Rahma Maritza

NIM. 1518622005

Intelligentia - Dignitas



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220

Telepon/Faksimili: 021-4894221

Laman: lib.unj.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Shifa Rahma Maritza
NIM : 1518622005
Fakultas/Prodi : Teknik / S1 Rekayasa Keselamatan Kebakaran
Alamat email : shifamrt207@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Peningkatan Performa Adhesive Bonding CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) Melalui Variasi Sambungan dengan Metode Mechanical Interlocking Modifikasi Copper Interlayer (Cu)

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 23 Juli 2026

Penulis


(Shifa Rahma M)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT senantiasa penulis panjatkan atas segala limpahan rahmat, karunia, taufik, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“PENINGKATAN PERFORMA *ADHESIVE BONDING* CFRP (*CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*) MELALUI VARIASI SAMBUNGAN DENGAN METODE *MECHANICAL INTERLOCKING* MODIFIKASI *COPPER INTERLAYER* (Cu)”** dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Proses penelitian dan penyusunan laporan ini merupakan rangkaian akhir dari perjalanan akademik penulis yang tidak terlepas dari berbagai tantangan, baik secara teknis maupun non-teknis. Namun demikian, berkat dukungan, arahan, serta bantuan dari berbagai pihak, seluruh tahapan penelitian mulai dari perencanaan, pelaksanaan eksperimen, pengolahan data, hingga penyusunan laporan dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan skripsi ini bukan semata-mata hasil usaha pribadi, melainkan juga karena adanya dukungan, bimbingan, dan kontribusi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Himawan Hadi Sutrisno, M.T. dan Ibu Siska Titik Dwiwati, M.T., selaku Dosen Pembimbing, yang dengan penuh dedikasi, kesabaran, dan ketelitian telah memberikan bimbingan, saran, kritik konstruktif, serta arahan ilmiah dalam setiap tahapan penelitian dan penulisan skripsi ini. Bimbingan yang diberikan sangat membantu penulis dalam memahami metodologi penelitian, analisis data, serta penyusunan karya tulis ilmiah yang sistematis dan sesuai kaidah akademik.
2. Seluruh dosen Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuan,

wawasan, serta pengalaman akademik selama masa perkuliahan, sehingga menjadi bekal yang sangat berharga dalam penyusunan penelitian ini.

3. Seluruh staf administrasi dan laboratorium yang telah membantu dalam proses perizinan, penggunaan fasilitas, serta pelaksanaan pengujian selama penelitian berlangsung.
4. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Alief selaku Laboran Laboratorium Metalurgi Fisik dan Bapak Daisman selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Trisakti atas segala bantuan, bimbingan, serta dukungan yang diberikan selama proses pelaksanaan pengujian dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Trisakti yang telah memfasilitasi pelaksanaan pengujian sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.
5. Orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral, motivasi, serta pengorbanan yang tidak ternilai, sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan dengan baik.
6. Penulis mengucapkan terima kasih kepada orangtua wali penulis, keluarga Bapak Sawabi dan sepupu penulis; Mas Wawan, Mba Kiki, dan Mba Pipit yang telah memberikan dukungan dan bantuan sebagai donatur dari awal perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini selesai. Dukungan tersebut sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan studi ini.
7. Kepada Ibunda penulis, Ibu Yani dan Ibu Anah terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu tercinta, yang senantiasa menjadi sumber doa, kasih sayang, dan kekuatan dalam setiap langkah kehidupan penulis. Terima kasih atas segala pengorbanan, dukungan moral maupun material, kesabaran, serta cinta tulus yang tidak pernah putus. Setiap perjuangan dan pencapaian penulis tidak lepas dari doa dan ridha Ibu. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan atas segala kebaikan yang telah Ibu berikan.
8. Kepada kakak perempuan penulis, Lintang dengan segala dukungan, perhatian, dan waktu yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini. Terima

kasih atas semangat, kebersamaan, serta bantuan yang sangat berarti bagi penulis.

9. Kepada kedua sahabat kesayanganku Anis dan Ayu, meskipun berada di kota berbeda dan menjalani persahabatan jarak jauh, kalian tetap konsisten memberikan dukungan, semangat, serta doa dalam setiap proses yang penulis jalani. Terima kasih atas perhatian, motivasi, dan kehadiran yang selalu dirasakan meski terpisah jarak.
10. Kepada Lola, Aisyah, Eril, Imam dan Daffa selaku teman-teman seperjuangan di bangku kuliah yang telah bersama-sama melewati proses pembelajaran, diskusi, dan berbagai tantangan akademik dengan penuh kebersamaan. Terima kasih atas kerja sama, dukungan, dan semangat yang saling menguatkan selama masa perkuliahan.
11. Kepada seseorang yang tidak takalah penting kehadirannya, Alfian Nur Syahbandi. Terima kasih telah menjadi bagian dalam proses perjalanan penulis menyusun skripsi. Berkontribusi baik tenaga, waktu, menemani, mendukung, serta menghibur penulis dalam kesedihan, mendengarkan keluh kesah dan meyakinkan penulis untuk pantang menyerah hingga penyusunan skripsi ini terselesaikan.
12. Terakhir, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada diri saya sendiri. Terima kasih karena telah bertahan melewati setiap proses, menghadapi rasa lelah, keraguan, dan berbagai tantangan selama penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena tidak memilih untuk menyerah, meskipun perjalanan ini tidak selalu mudah. Terima kasih telah terus belajar, bangkit dari setiap kesalahan, dan percaya bahwa setiap usaha akan membuahkan hasil. Skripsi ini menjadi bukti bahwa setiap langkah kecil, setiap air mata, dan setiap perjuangan memiliki makna. Semoga pencapaian ini menjadi awal dari perjalanan yang lebih baik, serta pengingat bahwa saya mampu melewati setiap tantangan yang akan datang. Saya bangga pada diri saya sendiri karena telah berhasil sampai di titik ini.

Jakarta, 9 Juli 2026

Penulis

PENINGKATAN PERFORMA *ADHESIVE BONDING* CFRP (*CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*) MELALUI VARIASI SAMBUNGAN DENGAN METODE *MECHANICAL INTERLOCKING* MODIFIKASI *COPPER INTERLAYER* (Cu)

Shifa Rahma Maritza

Dosen Pembimbing : Dr. Himawan Hadi Sutrisno, S.T., M.T. dan Dr. Siska

Titik Dwiyati, M.T

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi geometri sambungan dan metode *mechanical interlocking* menggunakan *copper interlayer* (Cu) terhadap sifat mekanik sambungan *adhesive bonding Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Material yang digunakan berupa laminat CFRP berbasis serat karbon *woven twill* dengan matriks epoxy yang disambung menggunakan perekat struktural Araldite® 2015. Variasi sambungan terdiri atas *Single Lap Joint* (SLJ) dan *Scarf Joint* (SJ) dengan tiga perlakuan, yaitu tanpa interlayer (TI), menggunakan *copper interlayer* (IT), serta *anchored* dan *copper interlayer* (AIT). *Copper interlayer* dimodifikasi menjadi pola segitiga menonjol (*spiked interlayer*) yang terinspirasi dari konsep *bio-inspired mechanical interlocking* melalui mekanisme penjangkaran (*anchoring effect*) pada sistem perakaran tumbuhan. Pengujian dilakukan menggunakan uji tarik berdasarkan ASTM D5868, sedangkan analisis mode kegagalan mengacu pada ASTM D5573. Data dianalisis melalui perhitungan tegangan tarik maksimum, regangan, modulus elastisitas, dan karakteristik patahan sambungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi geometri sambungan dan penggunaan *mechanical interlocking* memberikan pengaruh terhadap performa mekanik sambungan CFRP. Konfigurasi *Scarf Joint* menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata sehingga memiliki performa lebih baik dibandingkan *Single Lap Joint*. Penggunaan modified *copper interlayer* mampu meningkatkan mekanisme penguncian (*anchoring effect*) antara adhesive dan permukaan CFRP sehingga memperbaiki transfer beban pada daerah sambungan. Variasi terbaik diperoleh pada konfigurasi SJ-AIT dengan tegangan tarik rata-rata sebesar 14,79 MPa, regangan 2,35%, dan modulus elastisitas 1714,54 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi geometri *Scarf Joint* dan *mechanical interlocking* menggunakan modified *copper interlayer* efektif dalam meningkatkan kekuatan dan keandalan sambungan adhesive CFRP serta berpotensi menjadi alternatif desain sambungan pada aplikasi struktural komposit.

Kata kunci: CFRP, *adhesive bonding*, *copper interlayer*, *mechanical interlocking*, *single lap joint*, *scarf joint*, uji geser.

**ENHANCING THE PERFORMANCE OF CFRP (CARBON FIBER
REINFORCED POLYMER) ADHESIVE BONDING THROUGH JOINT
CONFIGURATION VARIATIONS USING A MODIFIED COPPER
INTERLAYER (Cu) MECHANICAL INTERLOCKING METHOD**

Shifa Rahma Maritza

Dosen Pembimbing : Dr. Himawan Hadi Sutrisno, S.T., M.T. and Dr. Siska

Titik Dwiyati, M.T.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of joint geometry variation and the mechanical interlocking method using a copper interlayer (Cu) on the mechanical properties of adhesive-bonded Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) joints. The material used was woven twill carbon fiber-reinforced epoxy laminate bonded with Araldite® 2015 structural adhesive. The joint configurations consisted of Single Lap Joint (SLJ) and Scarf Joint (SJ), each with three treatment variations: without an interlayer (TI), with a copper interlayer (IT), and with an anchored copper interlayer (AIT). The copper interlayer was modified into a protruding triangular (spiked) pattern inspired by a bio-inspired mechanical interlocking concept, utilizing an anchoring mechanism analogous to plant root systems. Tensile testing was conducted in accordance with ASTM D5868, while failure mode analysis followed ASTM D5573. The experimental data were evaluated based on maximum tensile stress, strain, elastic modulus, and joint fracture characteristics. The results indicate that both joint geometry and the mechanical interlocking method significantly influence the mechanical performance of CFRP adhesive joints. The Scarf Joint configuration provided a more uniform stress distribution and exhibited superior performance compared with the Single Lap Joint configuration. The use of the modified copper interlayer enhanced the anchoring effect between the adhesive and the CFRP surface, thereby improving load transfer across the bonded interface. The best performance was achieved by the SJ-AIT configuration, which exhibited an average shear stress of 14.79 MPa, a strain of 2.35%, and an elastic modulus of 1714.54 MPa. These findings demonstrate that the combination of the Scarf Joint geometry and bio-inspired mechanical interlocking using a modified copper interlayer is an effective approach for improving the strength and reliability of CFRP adhesive joints and has strong potential as an alternative joint design for composite structural applications.

Keywords: CFRP, adhesive bonding, copper interlayer, mechanical interlocking, single lap joint, scarf joint, shear test.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	16
1.1 Latar Belakang Masalah	16
1.2 Identifikasi Masalah	19
1.3 Pembatasan Masalah	20
1.4 Perumusan Masalah	20
1.5 Tujuan Penelitian	20
1.6 Kegunaan Penelitian	21
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	22
2.1 Landasan Teori	22
2.1.1 <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i> CFRP	22
2.1.2 Karakteristik dan Sifat Mekanik CFRP	22
2.1.3 Epoxy Resin	24
2.1.4 Serat Karbon	24
2.1.5 Aplikasi CFRP pada Struktur Teknik.....	25
2.2 Metode Penyambungan CFRP	26
2.2.1 Sambungan pada Struktur CFRP	26
2.2.2 Jenis – Jenis Sambungan	27
2.2.3 Konfigurasi Sambungan.....	28
2.2.4 Permasalahan pada Sambungan Mekanis CFRP	29
2.3 <i>Adhesive Bonding</i>	30
2.3.1 Pengertian <i>Adhesive Bonding</i>	30

2.3.2	Jenis Adhesive	31
2.3.3	<i>Epoxy Adhesive</i>	33
2.4.1	<i>Surface Treatment</i>	35
2.4.2	<i>Mechanical Interlocking</i>	36
2.4.3	<i>Insert/Interlayer</i>	42
BAB III METODE PENELITIAN		52
3.1	Tempat, Waktu dan Subjek Penelitian	52
3.2	Populasi dan Sampel Penelitian.....	52
3.2.1	Populasi	52
3.2.2	Sampel Penelitian	53
3.3	Diagram Alur Penelitian	58
3.4	Metode dan Prosedur Penelitian	59
3.4.1	Metode Penelitian.....	59
3.4.2	Prosedur Penelitian.....	59
3.4.3	Alat Penelitian	64
3.4.4	Bahan Penelitian	74
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		76
4.1	Analisis Hasil Pengujian	76
4.3.1	Hasil Pengujian Geser	76
4.3.2	Analisa Patahan Sambungan Adhesive CFRP	82
4.3.3	Kondisi <i>Mechanical Interlocking</i> Pasca Uji Geser	91
4.2	Pembahasan	92
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		94
5.1	Kesimpulan	94
5.2	Saran	94
DAFTAR PUSTAKA		96
LAMPIRAN.....		105

DAFTAR TABEL

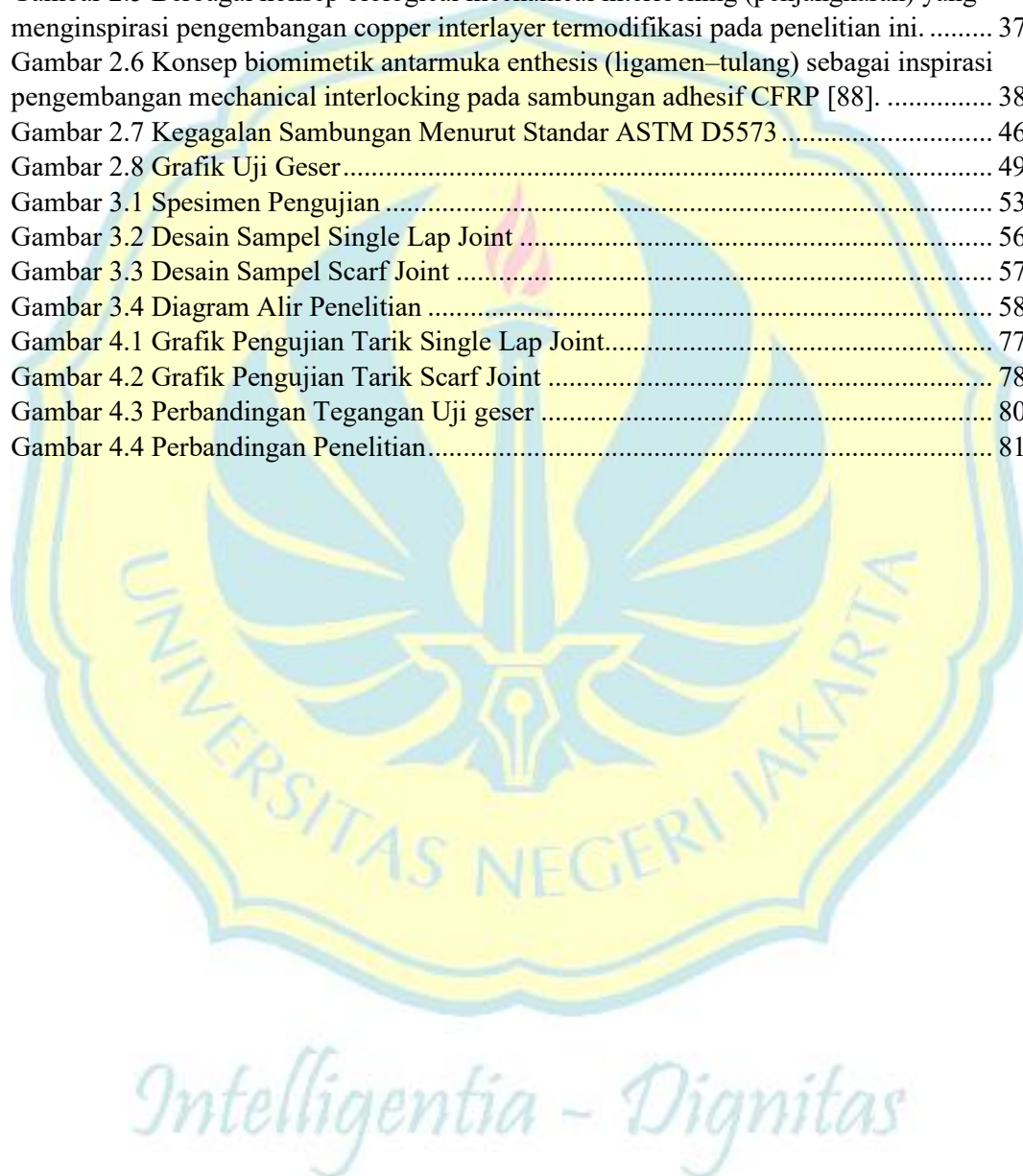
Tabel 2.1 Sifat Mekanik Berbagai FRP [67].....	23
Tabel 2.2 Sifat-sifat Khas Resin Thermosetting [69].....	24
Tabel 2.3 Sifat Mekanik berbagai jenis serat karbon [70]	25
Tabel 2.4 Properti atau uji tarik dari sambungan adhesive CFRP [72].....	26
Tabel 2.5 Klasifikasi Metode Penyambungan CFRP.....	27
Tabel 2.6 Permasalahan pada Sambungan Mekanis CFRP	29
Tabel 2.7 Perbandingan Properti Mekanik EpoxyAdhesive[79][80][81][82].....	34
Tabel 2.8 Mechanical interlocking pada adhesive bonding CFRP	40
Tabel 2.9 Properti perbandingan berbagai bahan metal untuk insert/interlayer [99]	44
Tabel 2.10 Kegagalan Sambungan Menurut Standar ASTM D5573	47
Tabel 2.11 Rumus Pengujian Tarik.....	49
Tabel 2.12 Penelitian Relevan.....	49
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tarik	76
Tabel 4.2 Analisa Patahan Sambungan Adhesive CFRP	82



Intelligentia - Dignitas

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Penyusun Komposit CFRP [66]	22
Gambar 2.2 Single Lap Joint (a) dan Scarf Joint (b).....	29
Gambar 2.3 Pengaplikasian Adhesive Bonded Joint [78].....	31
Gambar 2.4 Perbandingan Shear Strength Berbagai Adhesive [78]	32
Gambar 2.5 Berbagai konsep biological mechanical interlocking (penjangkaran) yang menginspirasi pengembangan copper interlayer termodifikasi pada penelitian ini.	37
Gambar 2.6 Konsep biomimetik antarmuka entesis (ligamen–tulang) sebagai inspirasi pengembangan mechanical interlocking pada sambungan adhesif CFRP [88].	38
Gambar 2.7 Kegagalan Sambungan Menurut Standar ASTM D5573	46
Gambar 2.8 Grafik Uji Geser	49
Gambar 3.1 Spesimen Pengujian	53
Gambar 3.2 Desain Sampel Single Lap Joint	56
Gambar 3.3 Desain Sampel Scarf Joint	57
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian	58
Gambar 4.1 Grafik Pengujian Tarik Single Lap Joint.....	77
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Tarik Scarf Joint	78
Gambar 4.3 Perbandingan Tegangan Uji geser	80
Gambar 4.4 Perbandingan Penelitian.....	81



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kurva *Stress* (Tegangan) vs *Strain* (Regangan) Tarik Sambungan CFRP

Lampiran 2. Perhitungan Modulus Elastisitas

Lampiran 3. Validasi Alat Uji

Lampiran 4. Riwayat Hidup



Intelligentia - Dignitas