



TUGAS AKHIR (602502A)

**PERBANDINGAN DAYA REKAT LAMINASI FRP PADA
KAPAL KAYU DENGAN VARIASI METODE PERLAKUAN
RESIN *POLYESTER* DAN *EPOXY***

MUHAMMAD PUTRA WIBI NASRULLAH
NRP. 0223030010

DOSEN PEMBIMBING:
I PUTU ARTA WIBAWA, S.T., M.T., Ph.D.

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK BANGUNAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026**



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (602502A)

**PERBANDINGAN DAYA REKAT LAMINASI FRP PADA KAPAL
KAYU DENGAN VARIASI METODE PERLAKUAN RESIN
POLYESTER DAN EPOXY**

MUHAMMAD PUTRA WIBI NASRULLAH
NRP. 0223030010

DOSEN PEMBIMBING:
I PUTU ARTA WIBAWA, S.T., M.T., Ph.D.

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK BANGUNAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PERBANDINGAN DAYA REKAT LAMINASI FRP PADA KAPAL KAYU
DENGAN VARIASI METODE PERLAKUAN RESIN *POLYESTER* DAN *EPOXY***

Disusun Oleh:
Muhammad Putra Wibi Nasrullah
0223030010

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D3 Teknik Bangunan Kapal
Jurusan Teknik Bangunan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 14 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

1. Denny Oktavina Radianto, S.Pd., M.Pd.
2. Imam Nur Rokhim, S.T., M.T.
3. Fais Hamzah, S.T., M.T.
4. Ir. Hamidah, S.Tr.T.

NIDN/NUPTK

(0001118301)
(0713109304)
(0017056009)
(.....)

Tanda Tangan

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

Dosen Pembimbing

1. I Putu Arta Wibawa, S.T., M.T., Ph.D.

NIDN/NUPTK

(0010067305)

Tanda Tangan

(.....)

Menyetujui
Ketua Jurusan,



Ir. Priyambodo Nur Ardi Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198103242014041001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,

Sumardiono, S.T., M.T.
NIP. 198411092019031010

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

	<u>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</u>	No. : F.WD L 021 Date : 08 Januari 2025 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
---	--	--

Yang bertandatangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Putra Wibi Nasrullah

NRP. : 0223030010

Jurusan/Prodi : Teknik Bangunan Kapal/D3 Teknik Bangunan Kapal

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

"PERBANDINGAN DAYA REKAT LAMINASI FRP PADA KAPAL KAYU DENGAN VARIASI METODE PERLAKUAN RESIN POLYESTER DAN EPOXY"

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 08 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,


 (Muhammad Putra Wibi Nasrullah)
 NRP. 0223030010

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, Serta hidayah-Nya, sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**Perbandingan Daya Rekat Laminasi FRP pada Kapal Kayu dengan Variasi Metode Perlakuan Resin *Polyester* dan *Epoxy***" dengan baik.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik yang harus dipenuhi oleh penulis untuk memperoleh gelar Ahli Madya Teknik (A. Md.T.) pada Program Studi D3 Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Selain sebagai pemenuhan persyaratan akademik, Penulis berharap hasil penelitian ini dapat menjadi tambahan referensi serta memberikan manfaat bagi mahasiswa, akademisi, maupun pihak lain yang memiliki ketertarikan pada bidang laminasi FRP. Dalam proses penyusunan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa terdapat berbagai tantangan dan kendala yang dihadapi. Namun, berkat doa, dukungan, arahan, serta bimbingan dari berbagai pihak, seluruh rangkaian penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmat, nikmat, kesehatan, kekuatan, kemudahan, serta petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Segala puji dan syukur hanya milik Allah SWT yang senantiasa memberikan jalan di setiap kesulitan yang penulis hadapi;
2. Yang dirindu yakni Almarhum Ayah tercinta, Muhammad Yusuf, dan Almarhum adik tercinta, Azril Rafif Alfarizi. Terima kasih atas kasih sayang, doa, dan cinta yang pernah diberikan selama kebersamaan perjalanan hidup

penulis. Meskipun kini tidak lagi dapat menyaksikan secara langsung langkah terakhir perjuangan ini, kehadiran, pengorbanan, dan kenangan bersama kalian akan selalu menjadi kekuatan yang mengiringi setiap langkah penulis. Gelar ini penulis persembahkan sebagai bentuk bakti dan rasa cinta yang tak akan pernah pudar. Semoga Allah SWT menempatkan Almarhum Ayah dan Almarhum adik di tempat terbaik di sisi-Nya;

3. Ibu tercinta, Katin, yang menjadi sosok paling luar biasa dalam kehidupan penulis. Meskipun Ibu tidak memiliki kesempatan untuk mencapai pendidikan tinggi, bahkan pendidikan formal yang ditempuh sangat terbatas, hal tersebut tidak pernah mengurangi kasih sayang, semangat, dan perjuangan yang Ibu berikan. Terima kasih atas setiap doa yang tidak pernah terputus, setiap pengorbanan yang tidak pernah dikeluhkan, serta dukungan tanpa syarat yang selalu menguatkan penulis dalam setiap proses kehidupan. Berkat cinta, kerja keras, dan ketulusan Ibu, penulis mampu menyelesaikan pendidikan ini dan memperoleh gelar yang diharapkan. Semoga pencapaian ini menjadi kebahagiaan dan kebanggaan bagi Ibu;
4. Kakak tercinta, Jannatur Roviqoh, A.Md.Kep., yang senantiasa memberikan dukungan, doa, motivasi, serta selalu menaruh kepercayaan kepada penulis untuk mampu menyelesaikan pendidikan hingga tahap akhir. Terima kasih atas segala perhatian, nasihat, dan semangat yang selalu diberikan selama ini;
5. Adik kembaran tercinta, Serda Nav Putri Syafira Wibi Aulia, yang telah memberikan dukungan, pengorbanan, serta membantu membiayai pendidikan penulis hingga dapat menyelesaikan studi ini. Terima kasih atas segala perhatian, doa, dan semangat yang tidak pernah putus. Tanpa dukunganmu, penulis mungkin tidak akan mampu berdiri di titik ini dan menyelesaikan pendidikan sampai akhir. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT;
6. Bapak I Putu Arta Wibawa, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikiran untuk memberikan

bimbingan, arahan, kritik, saran, serta ilmu yang sangat berharga;

selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas kesabaran, ketelitian, dan motivasi yang senantiasa diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini dengan baik;

7. Bapak Sumardiono, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi D3 Teknik Bangunan Kapal, serta Ibu Indri Ika Widyastuti, S.T, M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan, bimbingan, pelayanan akademik, serta dukungan selama proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini sehingga seluruh tahapan dapat berjalan dengan baik;
8. Keluarga besar PANIC A'XII, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, bantuan, dan semangat yang telah diberikan selama masa sekolah hingga sekarang;
9. Rekan-rekan Grub Padel Club NJeruk Maniah, Dimas Triagung Pamungkas, M. Azriel Yaqi Akbar, Muhammad Fahmi Alamsyah, Ferdian Surya Saputra, Rosyi Habibi, dan Muhammad Ade Ardiansyah. Penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungan, motivasi, semangat, serta kesediaannya menjadi tempat berbagi cerita dan mendengarkan berbagai keluh kesah selama proses penyusunan Tugas Akhir. Kehadiran dan kebersamaan yang telah terjalin memberikan semangat tersendiri bagi penulis sehingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik, Semoga segala kebaikan yang telah diberikan dibalas dengan keberkahan dan kesuksesan untuk kita semua.
10. Achfan, Suryo, Ibrah, Zain, Akbar Ali, Anindya, Sendy Aulia, Bella Ramdhani Naysheila, Dimas Fanny Kusuma, Putri Wulandari, yang telah memberikan semangat, kebersamaan, serta canda tawa di tengah padatnya proses penyusunan Tugas Akhir. Terima kasih telah menghadirkan suasana yang membuat penulis tetap kuat dan termotivasi untuk menyelesaikan penelitian ini;
11. Seluruh teman-teman D3 Teknik Bangunan Kapal Angkatan 2023, atas kebersamaan, kerja sama, pengalaman, dukungan, dan kenangan yang telah dilalui bersama selama masa perkuliahan. Semoga tali silaturahmi tetap terjalin

dengan baik dan kesuksesan menyertai kita semua;

12. Ucapan terima kasih yang paling dalam juga penulis sampaikan kepada diri sendiri, Muhammad Putra Wibi Nasrullah, yang telah mampu bertahan, berjuang, dan tidak menyerah dalam setiap proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih telah tetap melangkah meskipun dihadapkan pada berbagai tantangan, rasa lelah, keraguan, dan tekanan yang tidak selalu mudah untuk dilalui. Terima kasih karena telah memilih untuk bangkit setiap kali merasa ingin menyerah, serta terus berusaha memberikan yang terbaik hingga akhirnya dapat menyelesaikan penelitian ini. Semoga segala usaha, pengorbanan, dan doa yang telah dipanjatkan menjadi awal dari langkah yang lebih baik di masa depan, serta menjadi pengingat bahwa setiap perjuangan yang dilakukan dengan sungguh-sungguh akan selalu menemukan hasil yang indah pada waktunya;

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gresik 01 Juli 2026

Penulis

PERBANDINGAN DAYA REKAT LAMINASI FRP PADA KAPAL KAYU DENGAN VARIASI METODE PERLAKUAN RESIN *POLYESTER* DAN *EPOXY*

MUHAMMAD PUTRA WIBI NASRULLAH

ABSTRAK

Kapal kayu banyak digunakan di Indonesia, namun sifat *higroskopis* kayu dapat menurunkan kekuatan mekanik dan umur pakai struktur. Laminasi *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) menjadi metode perlindungan yang umum diterapkan, namun kadar air kayu dan metode perlakuan resin diduga mempengaruhi kualitas daya rekatnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi metode perlakuan resin (laminasi langsung, *pre-coating polyester*, dan *pre-coating epoxy*) serta kadar air kayu (10%, 15%, 20%) terhadap daya rekat laminasi FRP pada kayu jati belanda. Metode eksperimental digunakan dengan pengujian peeling mengacu standar ASTM D903. Hasil menunjukkan metode *pre-coating epoxy* menghasilkan peel strength tertinggi pada seluruh variasi kadar air (0,22376–0,29357 *kgf/mm*), dengan nilai max force tertinggi 36,69 *kgf* pada kadar air 20%. Sebaliknya, laminasi langsung menunjukkan penurunan daya rekat seiring meningkatnya kadar air (0,14968 menjadi 0,06149 *kgf/mm*). Resin *epoxy* terbukti memiliki adhesi dan penetrasi terbaik, mampu mempertahankan kekuatan ikatan meskipun kadar air kayu tinggi, sehingga direkomendasikan sebagai metode laminasi FRP optimal untuk kapal kayu.

Kata kunci: kapal kayu, FRP, laminasi, resin epoxy, kadar air, uji peeling, daya rekat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

COMPARISON OF THE ADHESION STRENGTH OF FRP LAMINATES ON WOODEN BOATS USING VARIOUS POLYESTER AND EPOXY RESIN TREATMENT METHODS

MUHAMMAD PUTRA WIBI NASRULLAH

ABSTRATC

Wooden boats remain widely used in Indonesia, but wood's hygroscopic nature can reduce mechanical strength and shorten structural service life. Fiberglass-reinforced plastic (FRP) lamination is a common protection method, though wood moisture content and resin treatment are suspected to affect bond quality. This study investigates the effects of different resin treatment methods and wood moisture content on the adhesion strength of FRP bonded to Jati Belanda wood. Three resin treatment methods (direct lamination, polyester pre-coating, and epoxy pre-coating) and three moisture levels (10%, 15%, and 20%) were evaluated. An experimental method was used, with peeling tests referring to ASTM D903. Results show epoxy pre-coating produced the highest peel strength across all moisture levels (0.22376–0.29357 kgf/mm), with the highest max force of 36.69 kgf at 20% moisture. In contrast, direct lamination exhibited a decline in adhesion as moisture increased (from 0.14968 to 0.06149 kgf/mm). Epoxy resin demonstrated superior adhesion and penetration, maintaining bond strength even at higher moisture content, making it the recommended optimal FRP lamination method for wooden boats.

Keywords: wooden boat, FRP, lamination, epoxy resin, moisture content, peeling test, adhesion strength

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kapal Kayu	7
2.1.1 Kelebihan Dan Kekurangan Kapal Kayu	7
2.1.2 Permasalahan Struktur Kapal Kayu	8
2.2 <i>Fiberglass Reinforced Polymer (FRP)</i>	9
2.2.1 Komponen Material <i>Fiberglass Reinforced Polymer (FRP)</i>	9
2.3 Proses Laminasi Pada Kapal Kayu.....	15
2.3.1 Metode Laminasi.....	15
2.4 Daya Rekat (<i>Adhesion</i>) Dan Uji <i>Peeling</i>	16
2.4.1 Definisi dan Mekanisme Daya Rekat	16
2.4.2 Faktor Yang Mempengaruhi Daya Rekat Pada Laminasi.....	17
2.4.3 Prinsip Uji <i>Peeling</i>	17
2.4.4 Benda Uji <i>Peeling</i> Berdasarkan ASTM D903.....	18
2.4.5 Parameter Dan Perhitungan Hasil Uji <i>Peeling</i>	18
2.4.6 Kecepatan Tarik Pada Uji <i>Peeling</i>	19
2.5 Penelitian Terdahulu	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir	25
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian	26
3.3 Identifikasi Awal	26
3.3.1 Identifikasi Masalah.....	26

3.3.2 Penetapan Tujuan Dan Manfaat	26
3.4 Studi Literatur.....	27
3.5 Metode Penelitian.....	27
3.6 Prosedur Pembuatan Spesimen.....	28
3.6.1 Alat dan Bahan.....	28
3.6.2 Proses Pembuatan Spesimen	28
3.7 Metode Pengujian Daya Rekat	31
3.7.1 Peralatan Pengujian.....	31
3.7.2 Prosedur Pengujian	32
3.7.3 Perhitungan dan Analisis Data	32
3.4 Variabel Penelitian.....	33
3.5 Analisis Data.....	34
3.6 Validitas Penelitian	35
3.7 Kesimpulan Dan Saran	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Karakteristik Spesimen Uji.....	37
4.1 Pembuatan Spesimen Uji	39
4.1.1 Pembuatan Spesimen Laminasi Langsung	39
4.1.2 Pembuatan Spesimen Laminasi <i>Polyester</i>	42
4.1.2 Pembuatan Spesimen Laminasi <i>Epoxy</i>	44
4.2 Hasil Pengujian <i>Peel Test</i>	47
4.2.1 Pengujian Laminasi Langsung	47
4.2.2 Pengujian Laminasi Resin <i>Polyester</i>	51
4.2.3 Pengujian Laminasi Resin <i>Epoxy</i>	55
4.2.4 Acuan Penilaian Hasil Pengujian ASTM D903.....	59
4.3 Analisis Perbandingan Hasil Pengujian	60
4.3.1 Perbandingan Nilai <i>Peel Strength</i>	60
4.3.2 Perbandingan Nilai <i>Max Force</i>	63
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN 1.....	72
LAMPIRAN 2.....	100

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian Terdahulu.....	20
Tabel 2.1 Variabel Penelitian.....	33
Tabel 4.1 Kesesuaian Dimensi Spesimen Terhadap ASTM D903.....	37
Tabel 4.2 Spesifikasi Material Penyusun Laminasi FRP.....	38
Tabel 4.3 Konfigurasi Lapisan Laminasi FRP.....	39
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Laminasi Langsung.....	48
Tabel 4.5 Hasil Rata Rata Laminasi Langsung.....	50
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Laminasi <i>Polyester</i>	52
Tabel 4.7 Hasil Rata Rata Laminasi <i>Polyester</i>	53
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Laminasi <i>Epoxy</i>	55
Tabel 4.9 Hasil Rata Rata Laminasi <i>Epoxy</i>	57
Tabel 4.10 Perbandingan <i>Peel Strenght</i>	60
Tabel 4.11 Perbandingan <i>Max Force</i>	63

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Chopped Strand Matt (CSM)</i>	11
Gambar 2.2 <i>Woven Roving (WR)</i>	12
Gambar 2.3 Resin <i>Polyester</i>	13
Gambar 2.4 Resin <i>Epoxy</i>	14
Gambar 2.5 Skema <i>Proses Hand-Lay-Up</i>	16
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	25
Gambar 4.1 Proses Pengamplasan Kayu.....	40
Gambar 4.2 Pengukuran Kadar Air	40
Gambar 4.3 Pengukuran Kadar Air	42
Gambar 4.4 Pengaplikasian Resin <i>Polyester</i>	42
Gambar 4.5 Pengamplasan Kayu.....	44
Gambar 4.6 Pengaplikasian Resin <i>Epoxy</i>	45
Gambar 4.7 Spesimen Sebelum Pengujian.	46
Gambar 4.8 Spesimen Sesudah Pengujian.	47
Gambar 4.9 Proses <i>Peel Test</i>	51
Gambar 4.10 Proses <i>Peel Test</i>	55
Gambar 4.11 Proses <i>Peel Test</i>	58
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan <i>Peel Strenght</i>	61
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan <i>Max Force</i>	63

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia perkapalan tradisional, kapal kayu masih banyak digunakan terutama pada kapal nelayan kecil karena ketersediaan bahan dan biaya yang relatif rendah. Namun, beberapa jenis kayu yang digunakan dalam konstruksi kapal kayu mempunyai daya serap air hingga 22,22%, yang menunjukkan serapan air yang signifikan dalam kondisi laut, sehingga potensi rembesan serta penurunan sifat mekanik sangat nyata (Hairi dkk., 2022). Kayu sebagai material alami bersifat higroskopis, yaitu mampu menyerap dan melepaskan air dari lingkungan sekitarnya, sehingga perubahan kadar air pada kayu dapat mempengaruhi stabilitas dimensi, kekuatan mekanik, serta kualitas ikatan pada permukaannya. Untuk mengatasi hal tersebut, teknologi laminasi menggunakan *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)* telah diterapkan sebagai salah satu alternatif untuk memperkuat struktur kapal kayu sekaligus memperpanjang umur layanannya. FRP merupakan material komposit yang terdiri atas serat kaca (fiberglass) sebagai penguat dan resin sebagai matriks, sehingga memiliki kekuatan mekanik yang baik serta ketahanan terhadap lingkungan laut (Imron dkk., 2018).

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan FRP mampu meningkatkan sifat mekanik material kayu. Penelitian mengenai laminasi pada kapal fiberglass menunjukkan bahwa susunan serat dan metode laminasi berpengaruh terhadap kekuatan material, sehingga pemilihan teknik laminasi menjadi faktor penting dalam memperoleh performa yang optimal (Zakariya dkk., 2024). Selain itu, penelitian mengenai balok kayu yang diperkuat dengan lembaran FRP menunjukkan adanya peningkatan kekuatan lentur dan kekakuan struktur dibandingkan balok tanpa perkuatan. Hasil tersebut membuktikan bahwa material FRP efektif digunakan sebagai penguat eksternal pada material kayu, termasuk pada konstruksi kapal kayu (Rahman, 2012).

Meskipun demikian, keberhasilan laminasi FRP tidak hanya dipengaruhi oleh jenis serat yang digunakan, tetapi juga oleh kondisi permukaan kayu dan metode aplikasi resin. Pada praktik pembangunan maupun perawatan kapal kayu tradisional, metode yang paling umum digunakan adalah laminasi langsung, yaitu resin dan fiberglass diaplikasikan secara langsung pada permukaan kayu tanpa memperhatikan kadar air kayu maupun perlakuan awal terhadap resin. Metode tersebut dipilih karena lebih sederhana dan mudah diterapkan di lapangan, namun kondisi tersebut berpotensi menghasilkan kualitas ikatan yang kurang optimal apabila kadar air kayu masih tinggi atau resin belum memberikan penetrasi yang baik ke dalam permukaan kayu.

Hingga saat ini, penelitian yang membahas pengaruh variasi metode perlakuan resin serta tingkat kadar air kayu terhadap daya rekat laminasi FRP masih relatif terbatas, khususnya pada aplikasi kapal kayu (Aloma Kakaro, 2023). Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada pengaruh jenis serat, konfigurasi laminasi, atau sifat mekanik material komposit secara umum, sedangkan kajian yang secara langsung membandingkan metode laminasi langsung, resin polyester yang dikeringkan sebelum laminasi, dan resin epoxy yang dikeringkan sebelum laminasi pada berbagai kadar air kayu masih belum banyak dilakukan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan penelitian untuk mengetahui metode laminasi yang mampu menghasilkan daya rekat terbaik.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan kekuatan laminasi FRP pada kapal kayu dengan tiga variasi metode perlakuan resin, yaitu: aplikasi resin diikuti langsung dengan laminasi *fiberglass*, aplikasi resin kering sebelum laminasi, dan aplikasi resin epoxy sebagai matriks utama. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai metode pelapisan yang memberikan performa mekanik terbaik sehingga dapat dijadikan acuan bagi praktisi dan penelitian lanjut dalam penguatan kapal kayu menggunakan material komposit.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi metode perlakuan resin dan epoxy terhadap nilai daya rekat laminasi FRP pada kapal kayu berdasarkan hasil uji peeling?
2. Metode perlakuan manakah yang menghasilkan kekuatan laminasi FRP paling baik pada kapal kayu berdasarkan hasil pengujian mekanik?
3. Bagaimana pengaruh variasi kadar kekeringan kayu sebesar 10%, 15%, dan 20% terhadap nilai daya rekat laminasi FRP pada kapal kayu berdasarkan hasil uji peeling?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi metode perlakuan resin dan epoxy terhadap nilai daya rekat laminasi FRP pada kapal kayu berdasarkan hasil uji peeling.
2. Menentukan metode perlakuan yang menghasilkan kekuatan laminasi FRP paling baik pada kapal kayu berdasarkan hasil uji peeling.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi kadar kekeringan kayu sebesar 10%, 15%, dan 20% terhadap nilai daya rekat laminasi FRP pada kapal kayu berdasarkan hasil uji peeling.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan informasi dan referensi teknis mengenai pengaruh variasi metode perlakuan resin dan epoxy terhadap daya rekat laminasi FRP pada kapal kayu, sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan metode pelapisan yang tepat untuk meningkatkan kualitas, kekuatan ikatan, dan keandalan struktur laminasi dalam jangka waktu pemakaian yang panjang.

2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan rujukan akademik dan praktis bagi mahasiswa, peneliti, galangan kapal, serta pelaku perbaikan kapal kayu dalam pengembangan dan penerapan teknologi laminasi FRP, khususnya yang berkaitan dengan peningkatan kualitas ikatan antara material laminasi dan kayu.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian ini hanya membahas laminasi *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) yang diaplikasikan pada material kapal kayu, tanpa membahas jenis material kapal lainnya.
2. Variasi yang diteliti dibatasi pada metode perlakuan laminasi, yaitu laminasi *fiberglass* dengan resin langsung, perlakuan resin *polyester* yang dikeringkan terlebih dahulu sebelum pelapisan *fiberglass*, serta laminasi menggunakan resin *epoxy*.
3. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dibatasi pada pengujian daya rekat laminasi FRP terhadap permukaan kayu menggunakan metode uji *peeling* yang dilakukan dengan mesin uji tarik berdasarkan standar ASTM D903, tanpa dilakukan pengujian mekanik lainnya.
4. Seluruh material *fiberglass*, resin *Polyester*, dan *epoxy* yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan standar BKI (Biro Klasifikasi Indonesia), sehingga variabel yang mempengaruhi hasil pengujian hanyalah metode perlakuan laminasi.
5. Penelitian ini tidak membahas pengaruh faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan paparan air laut dalam jangka panjang terhadap daya rekat laminasi FRP pada kapal kayu.
6. Penelitian ini dibatasi pada pengujian spesimen uji skala laboratorium dan tidak membahas penerapan langsung pada kapal kayu ukuran penuh.
7. Proses laminasi FRP pada setiap spesimen dilakukan secara manual dengan metode yang sama, sehingga tidak membahas pengaruh teknik fabrikasi lain seperti vacuum infusion atau hand lay-up khusus.

8. Penelitian ini tidak membahas analisis ekonomi atau perbandingan biaya dari masing-masing metode perlakuan laminasi yang digunakan.
9. Jumlah lapisan *fiberglass* dan orientasi serat pada setiap spesimen dibuat sama, sehingga tidak membahas pengaruh variasi jumlah lapisan atau arah serat terhadap daya rekat laminasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Kayu

Kapal kayu merupakan kapal yang seluruh atau sebagian besar strukturnya terbuat dari kayu, seperti lunas, gading, dan papan kulit lambung. Material kayu banyak digunakan dalam pembuatan kapal tradisional karena mudah diperoleh dan dikerjakan secara manual di galangan kapal lokal. Meskipun kapal modern kini banyak memakai material seperti logam atau komposit, kapal kayu tetap berperan penting terutama pada kapal nelayan dan perahu tradisional di Indonesia. Dalam praktiknya, konstruksi kapal kayu masih banyak dilakukan mengikuti keterampilan turun-temurun yang diperoleh tukang kapal berdasarkan pengalaman, sehingga sering tidak seragam dalam perencanaan desain seperti pada kapal berbahan logam dengan perhitungan teknis formal, Kayu jati belanda yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam kelompok kayu lunak (softwood) yang memiliki kelas kuat dan keawetan relatif rendah. Berdasarkan klasifikasi kayu untuk konstruksi kapal kayu menurut Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), kayu dengan karakteristik tersebut digolongkan ke dalam kelas kayu III. Meskipun tidak digunakan sebagai material utama struktur kapal, kayu kelas III masih banyak dijumpai pada kapal kayu tradisional dan digunakan sebagai material sekunder, sehingga relevan untuk diteliti dalam aplikasi laminasi FRP (Trimulyono dkk., 2015).

2.1.1 Kelebihan Dan Kekurangan Kapal Kayu

Kapal kayu memiliki sejumlah kelebihan yang membuatnya masih digunakan di banyak daerah. Kayu sebagai bahan utama memiliki berat yang relatif rendah dan mudah dibentuk, sehingga proses pembangunan kapal dan perbaikannya dapat dilakukan dengan peralatan sederhana tanpa teknologi tinggi. Karena sifat alami kayu yang lentur dan dapat meredam beban dinamis, kapal kayu cenderung memiliki kemampuan menahan getaran laut tertentu

dibandingkan struktur yang lebih kaku. Penggunaan kayu lokal juga sering menjadi pilihan karena ketersediaannya di sekitar galangan kapal tradisional, sehingga menekan biaya produksi awal (Trimulyono dkk., 2015).

Namun demikian, kapal kayu juga menghadapi batasan tersendiri. Struktur kayu bersifat rentan terhadap serangan organisme laut, busuk, dan perubahan dimensi akibat penyerapan air jika tidak dirawat dengan baik, sehingga memerlukan pemeliharaan berulang supaya tidak mengalami degradasi cepat (Trimulyono dkk., 2015).

2.1.2 Permasalahan Struktur Kapal Kayu

Permasalahan pada struktur kapal kayu sering kali muncul karena proses pembangunannya yang masih banyak dilakukan secara tradisional dan berdasarkan pengalaman, tanpa perencanaan teknis yang lengkap seperti pada kapal modern berbahan logam atau komposit. Di Indonesia, sebagian besar kapal kayu dibangun di galangan lokal menggunakan teknik turun-temurun, sehingga perhitungan *structurally integrated design*, hidrostatis, dan kekuatan material sering kali tidak dilakukan secara formal sebelum konstruksi. Akibatnya, struktur kapal kayu dapat memiliki tegangan dan respon mekanik yang berbeda dibandingkan dengan perhitungan standar, terutama pada bagian seperti gading, dan geladak yang menerima beban tinggi selama operasi (Rachman dkk., t.t.).

Selain itu, penggunaan kayu sebagai material utama juga membawa tantangan dalam konsistensi kualitas serta karakteristik mekaniknya. Banyak kapal kayu tradisional menggunakan kayu yang tidak selalu memenuhi standar yang disyaratkan oleh aturan klasifikasi seperti Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), mengakibatkan variasi sifat fisik dan mekanik antar bagian struktur. Hal ini dapat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan kayu, distribusi tegangan sepanjang lambung, dan kestabilan keseluruhan kapal, terutama ketika kapal menghadapi kondisi laut yang kurang bersahabat (Rachman dkk., 2012).

2.2 Fiberglass Reinforced Polymer (FRP)

Fiber Reinforced Polymer (FRP) adalah jenis bahan komposit yang sering digunakan di berbagai bidang, seperti perkapalan, otomotif, dan bangunan. FRP terbuat dari bagian utama, yaitu serat yang berfungsi untuk menahan beban dan matriks polimer yang berperan sebagai pengikat serta pemindai tekanan antar serat. Material ini memiliki perbandingan kekuatan terhadap berat yang sangat baik, tahan terhadap karat, serta bisa dibentuk dengan fleksibel, sehingga sering dipilih sebagai pengganti material tradisional seperti baja dalam penggunaan struktur yang ringan dan tahan di lingkungan laut (Alam dkk., 2021).

Secara umum, *Fiberglass Reinforced Polymer* (FRP) merupakan material komposit yang tersusun atas matriks resin termoset, seperti resin *polyester* atau *epoxy*, yang diperkuat dengan serat, khususnya serat kaca (*glass fiber*), untuk meningkatkan kekuatan struktural material. Dalam bidang perkapalan, penggunaan serat kaca lebih banyak dipilih karena mampu memberikan kinerja mekanik yang relatif baik dengan biaya produksi yang lebih ekonomis dibandingkan jenis serat lainnya. Karakteristik mekanik FRP sangat dipengaruhi oleh jenis serat yang digunakan, fraksi dan orientasi serat di dalam matriks, serta kualitas ikatan antara serat dan resin. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kandungan serat kaca dalam komposit FRP dapat meningkatkan sifat mekanik secara signifikan, terutama pada kekuatan tarik dan kekuatan lentur, di mana kekuatan tarik dilaporkan meningkat dari sekitar 28,25 MPa hingga 78,83 MPa seiring dengan kenaikan fraksi serat dari 15% menjadi 60% berat komposit. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengaturan dan kualitas sistem serat–matriks memiliki peran penting terhadap kemampuan FRP dalam menahan beban statis maupun beban dinamis yang bekerja pada struktur kapal (EL-Wazeri, 2017).

2.2.1 Komponen Material Fiberglass Reinforced Polymer (FRP)

Material FRP terdiri dari dua bagian utama, yaitu serat yang bertugas sebagai penambah kekuatan dan resin yang berfungsi sebagai bahan pengikat. Gabungan kedua bahan ini membuat material FRP lebih kuat dibandingkan

masing-masing bahan secara terpisah. Dalam struktur FRP, serat bertugas menanggung beban utama yang bekerja pada bagian tersebut, sedangkan resin berperan dalam menyalurkan beban dari satu serat ke serat lainnya serta melindungi serat dari dampak lingkungan di luar.

1. Serat (*Fiber Reinforcement*)

Serat adalah bagian utama yang berfungsi memperkuat bahan FRP. Dalam struktur komposit, serat bertugas menahan kebanyakan daya tahan bahan terhadap beban tarik dan lipat. Serat bekerja dengan menangkap dan menyebar tekanan yang terjadi saat bahan diberi beban, sehingga jenis dan adanya serat sangat mempengaruhi kekuatan mekanik FRP secara keseluruhan (Asri dkk., 2024). Dalam bidang perkapalan, serat yang sering digunakan adalah serat kaca. Serat kaca dipilih karena mampu menahan tarikan dengan baik, tahan terhadap lingkungan laut, dan harganya lebih murah dibandingkan serat karbon atau serat aramid. Selain itu, serat kaca juga mudah digunakan dalam proses pengecoran manual atau semi-otomatis (Kiratli, 2023) *Fiberglass* tersedia dalam berbagai bentuk produk, seperti *Chopped Strand Mat* (CSM) dan *Woven Roving* (WR), masing-masing memiliki sifat dan peran yang berbeda dalam struktur laminasi FRP.

a. *Chopped Strand Mat* (CSM)

Chopped Strand Mat (CSM) adalah serat kaca yang dipotong-potong pendek lalu digabungkan secara acak dengan bahan pengikat, sehingga membentuk lembaran. Susunan serat yang acak pada CSM membuatnya memiliki sifat mekanik yang hampir sama di setiap arah, meskipun tidak sepenuhnya seragam. Sifat ini membuat CSM mudah dibentuk menjadi permukaan yang kompleks dan tidak beraturan (Arianto dkk., 2024).

CSM sering digunakan pada lapisan pertama atau lapisan pengikat dalam pembuatan laminasi FRP karena mampu menyerap resin dengan baik dan membentuk ikatan yang kuat antar lapisan. Selain itu,

penggunaan CSM juga membantu menambah ketebalan laminasi serta meningkatkan kualitas permukaan akhir dari struktur FRP. Meskipun begitu, karena susunan seratnya acak, kekuatan mekanik CSM biasanya lebih rendah dibandingkan serat yang diatur secara terarah seperti *Woven Roving* (Gunarti dkk., 2024).



Gambar 2.1 *Serat CSM*
Sumber: Data diolah oleh peneliti

b. *Woven Roving* (WR)

Serat kaca yang digulung dan diikat secara teratur dalam dua arah, yaitu arah panjang dan lebar, disebut sebagai *Woven Roving* (WR). Susunan serat yang teratur ini membuat WR memiliki daya tarik dan fleksibilitas lebih baik dibandingkan CSM, terutama pada arah dimana seratnya terletak. Karena itu, WR sering digunakan pada bagian struktur yang mengalami beban mekanis besar (Tuninetti & Mariqueo, 2024).

Dalam struktur laminasi FRP, WR berfungsi sebagai lapisan utama yang menahan beban. Penyusunan WR dan CSM secara bersamaan sering digunakan untuk mencapai keseimbangan antara kuatnya struktur dan kemudahan dalam pembuatannya. WR bertugas memberikan kekuatan

struktur, sedangkan CSM berperan sebagai bahan pengikat antar lapisan serta meningkatkan kualitas dari seluruh laminasi (Daekyun dkk., 2022).



Gambar 2.2 *Woven Roving (WR)*
Sumber: Data diolah oleh peneliti

2. Resin (*Matriks*)

Resin adalah bagian utama dalam bahan FRP yang berfungsi menghubungkan serat dan membagi beban secara merata antar serat. Selain itu, resin juga melindungi serat dari pengaruh lingkungan seperti air laut, kelembapan, dan zat kimia. Tanpa resin, serat tidak bisa bekerja dengan baik sebagai satu kesatuan struktur yang utuh (Asri dkk., 2024). Dalam material FRP, resin bertindak sebagai *matriks* polimer yang berfungsi mengikat serat-serat penguat sehingga membentuk struktur komposit yang utuh. Resin memiliki peran penting dalam mentransfer beban secara merata antar serat, sekaligus melindungi serat dari kerusakan mekanis dan pengaruh lingkungan seperti air laut, kelembapan, dan bahan kimia, sehingga meningkatkan performa FRP secara keseluruhan. Kombinasi resin dan serat kaca merupakan dasar pembentukan laminasi komposit yang kuat dan tahan lingkungan (Diniță dkk., 2023).

Dalam aplikasi FRP, resin yang paling banyak digunakan adalah resin *polyester* dan resin *epoxy*, di mana kedua jenis resin tersebut memiliki perbedaan sifat mekanik, ketahanan terhadap lingkungan, dan peran dalam struktur laminasi.

a. Resin *Polyester*

Resin *polyester* merupakan salah satu jenis resin termoset yang paling umum digunakan sebagai matriks dalam komposit serat-terkuat (FRP), khususnya pada aplikasi yang membutuhkan proses produksi yang relatif sederhana dan biaya yang efisien. Resin ini terkenal karena viskositasnya yang rendah, kemampuan *wettability* yang baik terhadap serat kaca, serta ketahanan terhadap kelembapan dan lingkungan luar ruangan, sehingga cocok digunakan dalam pembuatan komposit untuk struktur-struktur ringan seperti lambung kapal, panel, dan komponen lainnya. Selain itu, resin *polyester* dapat dicetak dan mengeras pada suhu kamar dengan bantuan katalis, menghasilkan struktur matriks yang mampu menyatukan serat secara efektif dan menyebarkan beban mekanik ke seluruh penguat serat. Meskipun sifat mekanik resin *polyester* tidak setinggi resin *epoxy*, karakteristiknya seperti ketahanan terhadap air dan sejumlah bahan kimia, serta kemudahan produksi, menjadikan resin ini pilihan praktis dalam banyak aplikasi FRP (Nugroho dkk., 2024).



Gambar 2.3 *Resin Polyester*
Sumber: Data diolah oleh peneliti

b. Resin *Epoxy*

Resin *epoxy* adalah salah satu jenis matriks polimer termoset yang sering digunakan dalam bahan komposit, terutama pada sistem *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) karena kemampuannya membentuk ikatan silang yang kuat setelah proses pengerasan (*curing*) bersama dengan pengeras (*hardener*). Struktur *cross-linked* yang terbentuk akibat reaksi kimia antara resin dan *hardener* menghasilkan matriks yang memiliki kekuatan mekanik, daya tahan terhadap lingkungan, serta stabilitas dimensi yang lebih unggul dibandingkan beberapa resin lain seperti *polyester*. Keunggulan sifat mekanik tersebut membuat resin *epoxy* banyak diaplikasikan dalam struktur yang memerlukan ketahanan terhadap beban tarik, lentur, serta tahan terhadap kelembapan dan pelapukan material kayu. Dalam komposit FRP, resin *epoxy* juga dikenal memberikan *adhesi* yang lebih baik antara matriks dan serat penguat, sehingga distribusi beban antar serat menjadi lebih efektif dan meningkatkan performa struktural komposit secara keseluruhan (Skalkova dkk., 2021).



Gambar 2.4 Resin *Epoxy*

Sumber : <https://parto.id/produk/detail/RESIN>

2.3 Proses Laminasi Pada Kapal Kayu

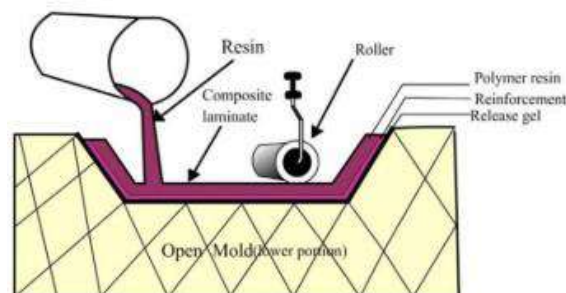
Proses laminasi FRP (*Fiberglass Reinforced Plastic*) pada kapal kayu merupakan teknik pemasangan material komposit berupa lapisan serat kaca yang dibalut resin pada permukaan kayu kapal untuk meningkatkan kekuatan struktur, ketahanan terhadap pelapukan air laut, serta mencegah masuknya air ke dalam kayu. Laminasi FRP banyak diterapkan pada kapal tradisional karena FRP memiliki sifat mekanik yang baik dan kemampuan *adhesi* terhadap permukaan substrat seperti kayu, selama permukaan kayu tersebut dipersiapkan dengan benar sebelum aplikasi. Laminasi ini terdiri dari lapisan serat kaca (*fiberglass*) yang bertindak sebagai penguat dan resin termoset sebagai matriks untuk menahan serat dan mentransfer beban mekanik. Prosesnya secara umum bertujuan untuk memperkuat struktur kapal kayu agar lebih tahan terhadap beban operasional dan lingkungan laut (Wicaksono dkk., 2024).

2.3.1 Metode Laminasi

Metode laminasi FRP pada kapal kayu biasanya dilakukan dengan beberapa tahapan utama. Pertama, permukaan kayu dipersiapkan dengan membersihkan debu, minyak, serta kotoran yang menempel, serta kadang dilakukan pengampelasan untuk meningkatkan kekasaran permukaan agar resin dapat meresap lebih baik. Selanjutnya, serat kaca ditempatkan di atas area yang akan dilaminasi, kemudian resin dipoleskan atau disikat pada serat sehingga seluruh serat terbasahi dengan baik. Proses ini sering dilakukan dengan metode manual seperti *hand lay-up*, di mana resin dan serat kaca secara bertahap disusun sampai ketebalan yang diinginkan tercapai. Jenis resin yang digunakan dalam laminasi bisa berupa resin *polyester*, *vinil ester*, maupun *epoxy*, dimana masing-masing resin memiliki karakter mekanik dan kemampuan *adhesi* yang berbeda terhadap serat beserta substratnya. Resin *epoxy*, misalnya, memiliki sifat daya rekat yang cenderung lebih baik dan ketahanan terhadap Pelapukan yang tinggi dibandingkan resin *polyester* atau *vinil ester*, sehingga sering dipilih apabila kualitas *adhesi* menjadi prioritas (Wicaksono dkk., 2024).

1. Metode *Hand Lay-Up*

Metode *hand lay-up* merupakan teknik laminasi manual yang paling sederhana dan paling banyak digunakan dalam pembuatan struktur komposit FRP pada industri, termasuk konstruksi kapal *fiberglass*. Dalam proses ini, penguat serat diposisikan secara manual di atas cetakan dan kemudian resin dioleskan untuk membasahi setiap lapisan sampai jumlah lapisan yang diinginkan tercapai. Kelebihan metode ini antara lain biaya peralatan yang relatif rendah dan fleksibilitas bentuk cetakan tanpa alat khusus, sehingga cocok untuk pembuatan struktur komposit berbentuk kompleks. Namun demikian, karena prosesnya sangat bergantung pada keterampilan operator serta kurangnya kontrol terhadap distribusi resin dan udara, metode *hand lay-up* sering kali menghasilkan laminasi dengan rongga udara atau void yang tinggi yang dapat menurunkan sifat mekanik komposit (Suprayogi dkk., 2025).



Gambar 2.5 Skema proses *hand-lay-up*

Sumber : <https://www.eppcomposites.com/hand-layup-process.html>

2.4 Daya Rekat (*Adhesion*) Dan Uji Peeling

2.4.1 Definisi dan Mekanisme Daya Rekat

Daya rekat adalah kemampuan dua material berbeda untuk saling melekat dan membentuk ikatan kuat pada bidang kontak melalui gaya *adhesi* maupun *kohesi* pada batas antarmuka. Dalam konteks laminasi FRP terhadap kapal kayu,

daya rekat menunjukkan seberapa baik resin yang digunakan bersama serat kaca dapat menempel pada permukaan kayu sehingga beban yang bekerja pada laminasi dapat diteruskan secara efektif tanpa terjadi delaminasi (pengelupasan). Daya rekat ini penting karena pada struktur laminasi komposit, ikatan antarmuka yang baik akan membantu mengurangi risiko kegagalan laminasi di bawah beban dinamik atau lingkungan yang keras (Wang dkk., 2020).

2.4.2 Faktor Yang Mempengaruhi Daya Rekat Pada Laminasi

Beberapa faktor penting memengaruhi daya rekat laminasi FRP pada kapal kayu. Faktor pertama adalah kondisi permukaan kayu, termasuk tingkat kekasaran, kadar air, dan kebersihan permukaan. Permukaan yang terlalu halus atau lembab dapat menghambat penetrasi resin dan menyebabkan ikatan yang lemah. Faktor kedua adalah jenis resin yang digunakan, resin yang berbeda memiliki kemampuan *adhesi* yang berbeda pula, *epoxy* secara umum menunjukkan daya rekat yang baik dan stabil terhadap berbagai kondisi lingkungan dibanding resin *polyester* atau *vinil ester*. Faktor ketiga adalah proses aplikasi laminasi itu sendiri, seperti jumlah lapisan serat kaca, rasio resin dan serat, serta waktu *curing* atau pengerasan resin. Proses yang tidak sesuai standar dapat mengurangi kualitas ikatan sehingga laminasi mudah terlepas saat menerima beban atau paparan lingkungan laut. Secara umum, optimasi ketiga faktor ini perlu diperhatikan untuk mendapatkan daya rekat laminasi yang baik pada struktur kapal kayu (Layang, 2021).

2.4.3 Prinsip Uji Peeling

Uji peeling merupakan metode pengujian mekanik yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan ikatan antara dua material yang direkatkan dengan cara memberikan gaya pengelupasan secara kontinu pada sudut tertentu. Pengujian ini umum digunakan untuk menilai kestabilan ikatan laminasi, khususnya pada material komposit dan sistem perekat.

Berdasarkan standar ASTM D903 volume 15.06 *Adhesive* – (Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds), uji peeling dilakukan dengan menarik salah satu lapisan material yang terikat terhadap lapisan lainnya dengan sudut pengelupasan sebesar 180° , sehingga gaya tarik bekerja sejajar dengan bidang ikatan. Metode ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi kerja nyata yang dapat menyebabkan terjadinya pengelupasan lapisan laminasi.

2.4.4 Benda Uji Peeling Berdasarkan ASTM D903

Bentuk dan dimensi benda uji pada pengujian peeling harus mengikuti ketentuan ASTM D903 volume 15.06 *Adhesive* agar hasil pengujian bersifat valid dan dapat dibandingkan. Benda uji terdiri dari dua lapisan material yang direkatkan, di mana salah satu lapisan berfungsi sebagai substrat dan lapisan lainnya sebagai bagian yang akan dikelupas.

Menurut ASTM D903, spesimen uji memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Lebar spesimen material kayu (material kaku) berukuran 25 mm (1 inch)
2. Panjang total spesimen material kayu (material kaku) berukuran $152,4\text{ mm}$
3. Ketebalan minimum material spesimen material kayu (material kaku) yakni 12 mm
4. Material Fleksibel (Laminasi FRP) : Berukuran $50\text{ mm} \times 304,8\text{ mm}$.
5. Laminasi FRP harus cukup tipis (maksimal 3 mm).

2.4.5 Parameter Dan Perhitungan Hasil Uji Peeling

Parameter yang diperoleh dari pengujian peeling meliputi gaya maksimum (*maximum force*) dan kekuatan peeling (*peel strength*). Nilai *maximum force* menunjukkan gaya terbesar yang mampu ditahan oleh sambungan selama proses pengelupasan. Sementara itu, nilai *peel strength* menunjukkan kemampuan ikatan dalam menahan gaya pengelupasan per satuan lebar spesimen.

Pada penelitian ini, data *maximum force* dan *peel strength* diperoleh secara langsung dari perangkat lunak mesin uji selama proses pengujian berlangsung. Nilai *peel strength* yang dihasilkan perangkat lunak digunakan

sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kekuatan ikatan antara FRP dan kayu pada masing-masing variasi kadar air. Untuk setiap variasi kadar air, pengujian dilakukan pada tiga spesimen yang berbeda. Nilai *peel strength* dari ketiga spesimen tersebut selanjutnya dihitung nilai rata-ratanya. Nilai rata-rata *peel strength* digunakan sebagai parameter utama dalam pembahasan dan perbandingan hasil pengujian, sedangkan nilai masing-masing spesimen digunakan untuk melihat konsistensi hasil pengujian pada setiap variasi kadar air.

Nilai gaya pengelupasan rata-rata ($\bar{F}$) diperoleh dari hasil pengujian beberapa spesimen menggunakan persamaan :

$$\bar{F} = \frac{F1+F2+F3}{\eta} \quad (1.1)$$

dengan keterangan:

$$F1 + F2 + F3 = \text{gaya pengelupasan spesimen (kgf/mm)}$$

$$\eta = \text{jumlah spesimen uji}$$

2.4.6 Kecepatan Tarik Pada Uji Peeling

Kecepatan tarik merupakan parameter penting dalam uji peeling karena dapat mempengaruhi respons mekanik material perekat. ASTM D903 menetapkan bahwa pengujian dilakukan dengan kecepatan tarik konstan sebesar 70 mm/menit, Meskipun ASTM D903 merekomendasikan kecepatan pengujian sebesar 152,4 mm/menit untuk pemisahan spesimen, standar ini juga menyatakan bahwa metode ini mencakup penentuan karakteristik pengelupasan komparatif di bawah kondisi yang ditentukan, termasuk kecepatan mesin uji. Oleh karena itu, penggunaan kecepatan pengujian yang berbeda (seperti 70 mm /menit) dapat dilakukan selama kecepatan tersebut dijaga konstan dan seragam untuk seluruh variasi spesimen guna memastikan validitas perbandingan data antar variabel.

2.5 Penelitian Terdahulu

Referensi penelitian merupakan komponen penting yang berfungsi sebagai pendukung teori dan dasar ilmiah dalam suatu penelitian. Dalam Tugas Akhir ini, penulis menggunakan sejumlah penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian sebagai acuan. Daftar penelitian terdahulu tersebut disajikan secara ringkas dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Peneliti Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	(Muharom dkk., 2024)	The Influence of Fiberglass Fiber Arrangement Variations on the Tensile and Bending Strength of FRP Composite for Boat Structures	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk menganalisis pengaruh variasi susunan serat dan variasi komposisi resin-katalis terhadap kekuatan tarik dan tekuk material komposit fiberglass yang relevan dengan aplikasi laminasi kapal. Spesimen dibuat menggunakan metode <i>hand lay-up</i> dengan variasi orientasi dan jumlah lapisan serat serta konsentrasi katalis	Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi susunan serat dan variasi konsentrasi katalis resin memengaruhi nilai kekuatan tarik dan tekuk, di mana konfigurasi tertentu menghasilkan nilai mekanik lebih tinggi daripada konfigurasi lain, yang menunjukkan pentingnya optimasi susunan serat dan

No	Nama Peneliti	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			untuk melihat perubahan sifat mekanik. Pengujian dilakukan sesuai standar ASTM D638-14 untuk uji tarik dan ASTM D790 untuk uji tekuk menggunakan mesin UTM untuk menentukan performa mekanik pada setiap variasi laminasi. Hasil pengujian kemudian dibandingkan untuk mengevaluasi variasi resin dan lapisan serat terhadap kekuatan material	perlakuan resin dalam laminasi FRP. Ditemukan pula bahwa peningkatan konsentrasi katalis pada resin dapat meningkatkan kekuatan tarik sampai titik tertentu sebelum menurun kembali, sehingga perlu penentuan proporsi resin-katalis yang tepat untuk kekuatan laminasi FRP yang optimal.
2.	(Sunardi dkk., 2018)	Laminasi <i>Fiberglass</i> untuk Memperbaiki Kapal Ikan Kayu di Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan	Metode penelitian berupa studi penerapan lapangan pada kapal ikan kayu tradisional. Tahapan penelitian meliputi inspeksi kondisi lambung kapal, penggantian papan kayu yang rusak, persiapan permukaan kayu	Hasil penelitian menunjukkan bahwa laminasi <i>fiberglass</i> pada lambung kapal kayu mampu menutup celah antar papan, meningkatkan ketahanan terhadap

No	Nama Peneliti	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			(pengeringan dan pembersihan), kemudian dilakukan laminasi <i>fiberglass</i> menggunakan metode hand lay-up dengan resin polyester dan serat kaca. Evaluasi dilakukan secara visual dan fungsional setelah kapal kembali dioperasikan.	kebocoran, serta mengurangi frekuensi perbaikan berkala dibandingkan metode perbaikan tradisional. Kapal yang telah dilaminasi menunjukkan performa operasional yang lebih baik dan umur pakai lambung yang lebih panjang.
3.	(Muharom dkk., 2024)	Analisis Kekuatan Material Komposit Berdasarkan	Penelitian ini melakukan pengujian laboratorium terhadap material komposit fiberglass yang dibuat dengan variasi jenis resin dan tingkat konsentrasi katalis untuk melihat pengaruh perlakuan resin terhadap kekuatan mekanik material laminasi.	asil penelitian menunjukkan bahwa variasi jenis resin dan konsentrasi katalis memberikan perbedaan signifikan pada performa mekanik material komposit FRP, di mana beberapa

No	Nama Peneliti	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
		Variasi Resin dan Katalis pada Material Kapal Fiberglass	Spesimen dibuat dengan metode pembuatan komposit standar <i>hand lay-up</i> , di mana variasi resin dan rasio katalis dilakukan untuk mengetahui perbedaan hasil uji tarik, tekuk, dan kekuatan mekanik lainnya pada setiap variasi resin yang diaplikasikan pada laminasi untuk material kapal. Pengujian kemudian dianalisis dan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh perlakuan resin terhadap performa mekanik.	kombinasi resin-katalis menghasilkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa perlakuan resin (jenis dan konsentrasi katalis) sangat berpengaruh terhadap kekuatan laminasi FRP yang digunakan dalam aplikasi konstruksi kapal, sehingga pemilihan kombinasi resin yang tepat sangat penting untuk mencapai performa mekanik yang lebih baik.

Sumber: Penulis, 2026

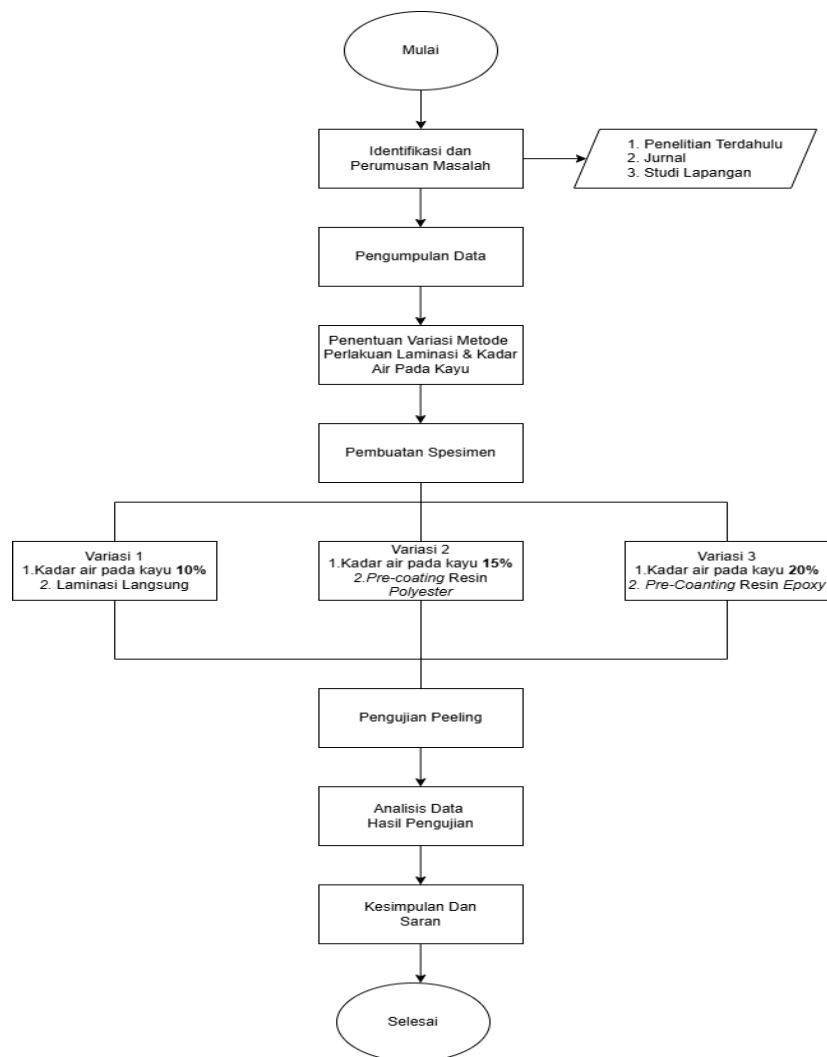
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Proses pengerjaan dalam penyusunan tugas akhir dalam bentuk diagram air (*flowchart*) :



Gambar 3.1 Diagram Alir

Sumber: Data diolah oleh peneliti

3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Uji Material Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) dengan ruang lingkup kegiatan meliputi pelaksanaan pengujian peeling untuk mengetahui daya rekat laminasi FRP pada material kayu. Pembuatan spesimen uji dilakukan di Bengkel *Non Metal* PPNS sebelum dilakukan pengujian di laboratorium. Kegiatan penelitian dilakukan sesuai dengan jadwal pelaksanaan tugas akhir yang telah ditetapkan.

3.3 Identifikasi Awal

3.3.1 Identifikasi Masalah

Tahapan identifikasi awal dilakukan melalui observasi langsung di galangan kapal rakyat untuk mengidentifikasi dan memetakan kendala teknis yang terjadi pada proses laminasi FRP, khususnya permasalahan daya rekat antara resin dan permukaan kayu. Tahapan ini dilanjutkan dengan studi literatur yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh laminasi FRP terhadap kekuatan dan kualitas ikatan pada kapal kayu, termasuk pengaruh kondisi kadar air kayu terhadap karakteristik daya rekat laminasi. Hasil dari tahapan identifikasi awal dan studi literatur tersebut digunakan sebagai dasar dalam penentuan parameter variabel bebas penelitian, yaitu variasi metode perlakuan laminasi serta variasi kadar kekeringan kayu sebesar 10%, 15%, dan 20%, yang selanjutnya diuji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan kualitas daya rekat laminasi FRP pada kayu.

3.3.2 Penetapan Tujuan Dan Manfaat

Tahapan ini dilaksanakan dengan menetapkan parameter pengujian untuk mengidentifikasi dan membandingkan kekuatan daya rekat laminasi FRP pada kapal kayu melalui variasi perlakuan resin polyester dan epoxy serta variasi kadar kekeringan kayu. Variasi kadar kekeringan kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 10%, 15%, dan 20%. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data perbandingan yang akurat mengenai efektivitas masing-masing

jenis resin dan kondisi kadar air kayu dalam menghasilkan kualitas daya rekat laminasi FRP pada permukaan kayu kapal.

Manfaat dari penelitian ini dirumuskan untuk memberikan kontribusi teknis kepada industri galangan kapal kayu, khususnya sebagai pedoman dalam pemilihan jenis resin dan metode perlakuan permukaan yang paling optimal. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan standar kualitas pembangunan kapal kayu laminasi agar lebih tahan lama dan sesuai dengan kriteria keselamatan BKI.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori dan pemahaman yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah, serta standar pengujian yang membahas mengenai material FRP, proses laminasi, dan pengujian daya rekat menggunakan metode peeling. Melalui studi literatur, diperoleh pemahaman mengenai karakteristik material *fiberglass* dan resin yang umum digunakan pada konstruksi perkapalan, serta faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas ikatan antara laminasi FRP dan material kayu. Selain itu, literatur juga digunakan sebagai acuan dalam menentukan metode pembuatan spesimen, prosedur pengujian peeling, serta teknik pengolahan data hasil pengujian. Hasil studi literatur ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan metodologi penelitian sehingga penelitian yang dilakukan memiliki landasan teori yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

3.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan menggunakan metode eksperimental yang dilakukan melalui pengujian langsung terhadap spesimen uji. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya rekat laminasi FRP pada material kayu jati belanda melalui pengujian peeling dengan mempertimbangkan variasi kondisi kadar kekeringan kayu. Spesimen uji dibuat dari substrat kayu jati belanda dengan variasi kadar air sebesar 10%, 15%, dan 20%, yang kemudian difabrikasi melalui proses laminasi FRP sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Setelah proses

laminasi mengeras sempurna, spesimen diuji menggunakan metode peeling di laboratorium uji material dengan memberikan gaya tarik hingga terjadi pelepasan lapisan laminasi FRP dari permukaan kayu. Nilai gaya tarik yang dihasilkan selama pengujian dicatat dan dianalisis untuk menentukan daya rekat laminasi FRP sebagai dasar evaluasi karakteristik ikatan serta penarikan kesimpulan penelitian.

3.6 Prosedur Pembuatan Spesimen

3.6.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen meliputi :

1. Gergaji potong
2. *Wood Moistur Meter Benetech* (alat ukur kadar air pada kayu)
3. Mistar Baja
4. Jangka Sorong
5. Amplas
6. Kuas
7. Roller Laminasi
8. Wadah pencampur resin
9. Maker
10. Sarung Tangan
11. Resin *Polyester* (SHCP Type: G 3253 T)
12. Katalis (Type: *Amine-based hardener*)
13. *Epoxy Resin* (Type: *Marine Epoxy*)
14. *Chopped Strand Mat* 300gr (Type: *Peedem Composite*)
15. *Woven Roving* 600gr (Type: *O Wens Composite*)
16. Kayu Jati Belanda (BKI, kelas kayu III)

3.6.2 Proses Pembuatan Spesimen

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pekerjaan pembuatan spesimen adalah sebagai berikut :

1. Proses pembuatan spesimen diawali dengan menyiapkan material kayu jati belanda Kelas III sesuai standar BKI yang akan digunakan sebagai substrat uji. Kayu jati belanda dipilih dalam kondisi kering, seragam, dan bebas dari cacat untuk memastikan hasil laminasi yang baik. Pengukuran kadar air kayu dilakukan menggunakan alat ukur kadar air kayu (*wood moisture meter*), di mana nilai kadar air ditampilkan secara langsung dalam satuan persen (%) pada alat ukur, sehingga tidak diperlukan perhitungan kadar air secara manual. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik permukaan kayu untuk memastikan keseragaman kadar air sesuai dengan variasi penelitian, yaitu 10%, 15%, dan 20%.
2. Pengujian daya rekat laminasi FRP terhadap material kayu jati belanda dilakukan dengan arah pembebanan sejajar serat kayu. Pemilihan arah sejajar serat didasarkan pada sifat anisotropik kayu, di mana kekuatan dan mekanisme kegagalan sangat dipengaruhi oleh orientasi serat. Selain itu, arah sejajar serat dianggap lebih merepresentasikan kondisi kerja nyata pada struktur kapal kayu, di mana beban dominan bekerja searah serat kayu, sehingga hasil pengujian dapat menggambarkan karakteristik daya rekat laminasi FRP secara lebih realistis.
3. Kayu dipotong menggunakan gergaji potong hingga diperoleh spesimen dengan dimensi panjang 152,3 mm, lebar 25 mm, dan ketebalan 12 mm sesuai dengan ketentuan spesimen uji pada standar ASTM D903.
4. Permukaan kayu di amplas hingga rata dan halus untuk meningkatkan kualitas ikatan antara permukaan kayu dan material laminasi. Setelah proses persiapan permukaan selesai, spesimen dikelompokkan sesuai dengan variasi perlakuan laminasi dan variasi kadar kekeringan kayu yang telah ditentukan.
5. Spesimen kemudian dikelompokkan sesuai dengan variasi perlakuan laminasi yang akan dilakukan.
6. Pada variasi pertama, dilakukan proses laminasi fiberglass dengan resin polyester secara langsung pada permukaan kayu. Resin polyester dicampur dengan katalis sesuai perbandingan yang ditentukan yakni 1:10, kemudian dioleskan secara merata pada permukaan kayu. Serat

fiberglass diletakkan di atas permukaan kayu yang telah dilapisi resin, kemudian ditekan menggunakan kuas atau roller hingga resin meresap secara merata ke dalam serat.

7. Pada variasi kedua, dilakukan perlakuan awal dengan mengoleskan resin *polyester* pada permukaan kayu tanpa pelapisan *fiberglass*. Resin tersebut dibiarkan mengering terlebih dahulu hingga mencapai kondisi kering sentuh. Setelah itu, dilakukan proses laminasi fiberglass dengan cara yang sama seperti pada variasi pertama.
8. Pada variasi ketiga, dilakukan perlakuan awal dengan mengoleskan resin *epoxy* pada permukaan kayu. Lapisan *epoxy* dibiarkan mengering terlebih dahulu hingga mencapai kondisi kering sentuh. Setelah lapisan *epoxy* mengering, selanjutnya dilakukan proses laminasi fiberglass di atas permukaan kayu menggunakan resin sesuai prosedur laminasi yang telah ditetapkan.
9. Proses pelapisan pada masing-masing variasi dilakukan secara bertahap hingga ketebalan laminasi tidak melebihi 3 mm yang sudah ditentukan ASTM D903.
10. Proses pengeringan resin *polyester* dan *epoxy* dilakukan secara alami (air curing) pada suhu ruangan yakni 25-30°, dan kelembaban ruangan rendah 40–60 % RH (*Relative Humidity*) serta ventilasi udara pada ruangan yang baik. Spesimen diletakkan pada rak terbuka tanpa kontak langsung dengan lantai untuk menghindari kontaminasi dan gangguan selama proses curing. Resin *polyester* dibiarkan mengering hingga mencapai kondisi kering sentuh selama $\pm 30-60$ menit dan curing sempurna selama ± 24 jam, sedangkan resin *epoxy* memerlukan waktu kering sentuh $\pm 6-8$ jam dan curing sempurna selama ± 24 . Selama proses pengeringan, spesimen dijaga

dari paparan air, kelembapan berlebih, serta beban mekanis guna memastikan kualitas ikatan yang optimal.

11. Setelah proses laminasi selesai, seluruh spesimen dibiarkan mengering dan mengeras pada kondisi lingkungan normal selama waktu yang telah ditentukan yakni selama 1 hari/24 Jam
12. Setelah itu Spesimen diberi penandaan sesuai variasi perlakuan resin *polyster* dan *epoxy* dan jenis kadar air pada kayu, kemudian disiapkan sebagai benda uji untuk pelaksanaan pengujian peeling.

3.7 Metode Pengujian Daya Rekat

Metode pengujian daya rekat dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan ikatan antara laminasi FRP dengan material kayu melalui pengujian kelupas (*peel test*). Pengujian dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM D903 tentang (*Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds*) sebagai pedoman pelaksanaan pengujian. Standar ini digunakan untuk memastikan bahwa proses pengujian dilakukan secara terkontrol sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan antar variasi metode perlakuan resin dan epoksi yang digunakan dalam penelitian ini.

3.7.1 Peralatan Pengujian

Pengujian daya rekat dilakukan menggunakan mesin uji tarik (*Universal Testing Machine/UTM*). Mesin uji tarik diatur agar dapat memberikan beban tarik secara konstan dan kontinu sesuai dengan ketentuan standar ASTM D903. Pengujian kekuatan rekat (*peeling test*) dilakukan mengacu pada standar ASTM D903 yang dimodifikasi pada bagian kecepatan tarik menjadi 70 mm/menit. Penyesuaian ini dilakukan karena batasan teknis pada peralatan uji di laboratorium. Namun, karena penelitian ini bersifat komparatif (membandingkan antar variasi perlakuan), penggunaan kecepatan yang konstan pada seluruh spesimen tetap menjamin validitas hasil perbandingan.

3.7.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian daya rekat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Kupas manual ujung spesimen 152,4 *mm* menjadi flap yang sudah ditentukan standar ASTM D903.
2. Flap dijepit digrap atas mesin, sedangkan bagian/spesimen dijepit digrip bawah.
3. Spesimen diposisikan sedemikian rupa sehingga sudut pengelupasan mendekati 180°, sesuai dengan ketentuan standar ASTM D903.
4. Mesin uji tarik dijalankan dengan kecepatan penarikan konstan sebesar 70 *mm* /menit.
5. Proses penarikan berjalan sampai minimal setengah panjang ikatan terkelupas.
6. Selama proses pengujian, gaya tarik yang terjadi direkam secara kontinu oleh mesin uji tarik dan ditampilkan secara real-time pada monitor dalam bentuk grafik hubungan antara gaya tarik dan perpindahan. Data gaya tarik diperoleh langsung dari pembacaan nilai yang muncul pada monitor mesin uji tarik serta disimpan dalam sistem perangkat lunak mesin. Nilai gaya pengelupasan selanjutnya digunakan untuk menghitung gaya pengelupasan rata-rata sesuai dengan ketentuan pengujian.

3.7.3 Perhitungan dan Analisis Data

Data hasil pengujian diperoleh secara langsung dari perangkat lunak mesin uji laboratorium berupa nilai *maximum force (kgf)* dan *peel strength (kgf/mm)*. Dalam penelitian ini, *peel strength* digunakan sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kekuatan ikatan antara FRP dan kayu. Pengujian dilakukan pada tiga spesimen untuk setiap variasi kadar air. Nilai *peel strength* yang diperoleh dari masing-masing spesimen selanjutnya dihitung nilai rata-ratanya dan digunakan sebagai dasar analisis pengaruh variasi kadar air terhadap daya rekat FRP pada permukaan kayu.

3.4 Variabel Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melaksanakan pengujian peeling pada spesimen laminasi FRP yang diaplikasikan pada permukaan kayu. Dalam penelitian ini digunakan satu variabel bebas dan satu variabel terikat.

1. Variabel bebas dalam penelitian ini terdiri dari dua faktor, yaitu variasi metode perlakuan laminasi FRP dan variasi kadar kekeringan kayu. Variasi kadar kekeringan kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10%, 15%, dan 20%. Variasi ini digunakan untuk mengetahui pengaruh kondisi kadar air kayu terhadap daya rekat laminasi FRP pada permukaan kayu..
2. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai daya rekat laminasi FRP. Nilai kekuatan daya rekat tersebut diperoleh dari hasil pengujian peeling yang dilakukan pada setiap spesimen uji dan digunakan sebagai indikator keberhasilan ikatan antara lapisan laminasi FRP dengan permukaan kayu. Perencanaan variasi pengujian peeling berdasarkan variabel bebas dan variabel terikat disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 3.1 Variabel penelitian

No.	Variasi Perlakuan Laminasi	Lebar Spesimen (mm)	Peel Strength (kgf/mm)			Nilai Rata-rata (kgf/mm)	kekuatan Peeling (kgf/mm)
			Spesimen 1 (kayu kadar air 10%)	Spesimen 2 (kayu kadar air 15%)	Spesimen 3 (kayu kadar air 20%)		

1.	Laminasi Langsung						
2.	Resin dikeringk an dahulu + Laminasi						
3.	Epoxy keringkan + Laminasi						

3.5 Analisis Data

Data hasil pengujian peeling berupa nilai gaya *peeling* yang menyebabkan terjadinya pelepasan antara laminasi FRP dan permukaan kayu dicatat untuk setiap spesimen sesuai dengan variasi perlakuan laminasi resin *polyester* dan *epoxy* serta variasi kadar air pada kayu sebesar 10%, 15%, dan 20%. Data pengujian kemudian diolah untuk memperoleh nilai daya rekat laminasi FRP. Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah analisis perbandingan antar variasi perlakuan laminasi dan kondisi

kadar air kayu. Selanjutnya, hasil analisis digunakan untuk mengetahui pengaruh perlakuan awal resin serta penggunaan resin *polyester & epoxy* terhadap daya rekat laminasi FRP pada kayu, yang kemudian menjadi dasar penarikan kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

3.6 Validitas Penelitian

Validitas penelitian menunjukkan ketepatan metode dalam mengukur variabel yang diteliti sehingga hasil penelitian dapat dipercaya. Pada penelitian ini, validitas dijaga melalui kesesuaian antara metode uji peeling, variabel penelitian, dan prosedur pengujian.

1. Validitas internal diperoleh dengan mengendalikan variabel lain yang dapat mempengaruhi hasil, sehingga perubahan daya rekat dapat dikaitkan langsung dengan variasi perlakuan laminasi.
2. Validitas eksternal diperkuat melalui penggunaan metode uji peeling yang umum digunakan serta pelaksanaan pengujian di Laboratorium Uji Material PPNS yang sudah dikalibrasi dengan peralatan yang sesuai.

3.7 Kesimpulan Dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dalam rangkaian penelitian, yang berisi penyusunan kesimpulan dan saran. Kesimpulan disusun berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh untuk menjawab rumusan masalah yang ditetapkan, sedangkan saran diberikan sebagai masukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar dapat menghasilkan kajian yang lebih baik dan lebih mendalam.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Spesimen Uji

Sebelum dilakukan pengujian *peel strength*, seluruh spesimen dipersiapkan dengan dimensi dan konfigurasi laminasi yang seragam untuk meminimalkan pengaruh variabel di luar perlakuan penelitian. Pengujian mengacu pada standar ASTM D903 yang digunakan untuk menentukan kekuatan kupas (*peel strength*) suatu sambungan perekat. Dalam standar tersebut, parameter yang menjadi acuan meliputi dimensi spesimen, lebar daerah pengujian, serta prosedur pelaksanaan pengujian. ASTM D903 tidak menetapkan ketebalan spesimen maupun ketebalan setiap lapisan penguat seperti *Woven Roving* (WR) dan *Chopped Strand Mat* (CSM) sebagai parameter yang harus dihitung dalam analisis hasil pengujian. Oleh karena itu, ketebalan kayu dan laminasi FRP pada penelitian ini hanya digunakan sebagai karakteristik benda uji dan dijaga tetap seragam pada seluruh spesimen.

Kesesuaian dimensi spesimen terhadap persyaratan ASTM D903 ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kesesuaian dimensi spesimen terhadap ASTM D903

No.	Parameter	Persyaratan ASTM D903	Spesimen Penelitian	Keterangan
1	Lebar spesimen Kayu	25 mm	25 mm	Memenuhi ASTM D903
2	Panjang spesimen FRP	300 mm	300 mm	Memenuhi ASTM D903
3	Ketebalan kayu	Tidak dipersyaratkan	25 mm	Substrat pengujian
4	Ketebalan laminasi FRP	≤ 3 mm	1,5 mm	Memenuhi ASTM D903
5	Ketebalan lapisan WR	Tidak dipersyaratkan	Mengikuti spesifikasi material	Data karakteristik
6	Ketebalan lapisan CSM	Tidak dipersyaratkan	Mengikuti spesifikasi material	Data karakteristik

Keterangan :

1. ASTM D903 menetapkan dimensi utama spesimen berupa lebar spesimen dan prosedur pengujian peel strength.
2. ASTM D903 tidak mensyaratkan ketebalan kayu, ketebalan laminasi FRP, maupun ketebalan masing-masing lapisan *Woven Roving* (WR) dan *Chopped Strand Mat* (CSM) sebagai parameter perhitungan hasil uji.
3. Ketebalan laminasi pada penelitian ini digunakan sebagai karakteristik spesimen untuk memastikan keseragaman benda uji.

Selain dimensi spesimen, material penyusun laminasi FRP yang digunakan dalam penelitian juga disajikan sebagai identitas spesimen. Informasi tersebut meliputi jenis material, tipe serat, gramasi, jumlah lapisan, dan jenis resin yang digunakan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Spesifikasi material penyusun laminasi FRP

No.	Material	Tipe/Spesifikasi Merk	Keterangan
1	Material dasar	Kayu Jati Belanda	Substrat spesimen
2	<i>Woven Roving</i> (WR)	<i>O'Wens Composite</i>	Gramasi: 300 g/m ²
3	<i>Chopped Strand Mat</i> (CSM)	<i>Peedem Composite</i>	Gramasi: 600 g/m ²
4	Katalis	<i>Amine-based hardener</i>	-
5	Resin Polyester	<i>CHCP G3253 T</i>	Variasi perlakuan
6	Resin Epoxy	<i>Marine Epoxy</i>	Variasi perlakuan
7	<i>Wood Moistur Meter</i>	<i>Ditech MM70255</i>	Sudah Terkalibrasi

Berdasarkan Tabel 4.2, seluruh spesimen dibuat menggunakan jenis material dan konfigurasi laminasi yang sama. Perbedaan pada penelitian ini hanya terletak pada variasi perlakuan resin sesuai rancangan penelitian, sedangkan jenis serat, jumlah lapisan, dimensi spesimen, dan proses fabrikasi dijaga tetap sehingga hasil pengujian yang diperoleh dapat dibandingkan secara objektif.

Konfigurasi laminasi FRP pada seluruh spesimen dibuat seragam untuk menjaga konsistensi proses pengujian. Pada penelitian ini, laminasi FRP terdiri atas

1 lapis Woven Roving (WR) dan 1 lapis Chopped Strand Mat (CSM) sehingga total laminasi yang digunakan adalah 2 lapis. Penggunaan konfigurasi tersebut bertujuan agar setiap spesimen memiliki susunan laminasi yang sama sehingga perbedaan hasil pengujian peel strength hanya dipengaruhi oleh variasi perlakuan resin dan kadar air kayu. Konfigurasi lapisan laminasi FRP yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Konfigurasi lapisan laminasi FRP

No.	Material Laminasi	Jumlah Lapisan	Keterangan
1	Woven Roving (WR)	1 lapis	Lapisan pertama
2	Chopped Strand Mat (CSM)	1 lapis	Lapisan kedua
	Total Lapisan	2 lapis	Konfigurasi WR–CSM

4.1.1 Pembuatan Spesimen Laminasi Langsung

Pada penelitian ini, bentuk dan dimensi spesimen uji dirancang mengacu pada standar ASTM D903 tentang *Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds*. Spesimen terdiri atas substrat kayu jati Belanda sebagai material kaku (*rigid adherend*) dan laminasi FRP sebagai material fleksibel (*flexible adherend*) yang diuji menggunakan metode *180° peel test*. Dimensi spesimen dibuat dengan lebar 25 mm dan panjang 152 mm sehingga memenuhi ketentuan dasar pengujian peel strength sesuai ASTM D903. Setelah bentuk dan dimensi spesimen ditentukan, kayu jati Belanda dipotong sesuai ukuran yang telah ditetapkan. Permukaan kayu kemudian diampelas hingga halus untuk menghilangkan kotoran dan ketidakrataan permukaan sehingga diharapkan dapat meningkatkan kualitas ikatan antara kayu dan lapisan FRP selama proses laminasi.



Gambar 4.1 Proses pengamplasan permukaan kayu
Sumber: Data diolah oleh peneliti

Setelah proses pengamplasan selesai, dilakukan pengukuran kadar air kayu menggunakan moisture meter untuk memastikan kadar air spesimen sesuai dengan variasi yang telah ditentukan dalam penelitian. Variasi kadar air yang digunakan terdiri atas 10%, 15%, dan 20% sebagai variabel penelitian. Setelah kadar air sesuai dengan variasi yang ditetapkan, dilakukan persiapan resin dengan mencampurkan resin polyester dan katalis menggunakan perbandingan 10:1 (resin:katalis) hingga campuran homogen sebelum diaplikasikan pada permukaan kayu.



Gambar 4.2 Pengukuran kadar air pada kayu
Sumber: Data diolah oleh peneliti

Laminasi FRP pada penelitian ini menggunakan dua lapisan *fiberglass* yang terdiri atas satu lapisan *Woven Roving* (WR) (type O Wens Composite) sebagai lapisan pertama dan satu lapisan *Chopped Strand Mat* (CSM/MAT) (type Peedem

Composite) sebagai lapisan kedua. Masing-masing lapisan fiberglass dipotong dengan ukuran 50 mm × 300 mm sehingga menutupi area laminasi pada permukaan spesimen kayu. Sebagai matriks digunakan resin *polyester* (type G 3253 T) yang dicampurkan dengan katalis (*type Amine-based hardener*) sesuai perbandingan campuran yang telah ditentukan pada metode penelitian.

Proses laminasi dilakukan menggunakan metode *hand lay-up*. Sebelum fiberglass dipasang, permukaan kayu jati Belanda (type BKI kelas kayu III) terlebih dahulu diolesi campuran resin *polyester* secara merata menggunakan kuas. Selanjutnya, lapisan *Woven Roving* (WR) ditempatkan pada permukaan kayu dan diimpregnasi menggunakan resin hingga seluruh serat terbasahi secara merata. Setelah itu, lapisan *Chopped Strand Mat* (CSM/MAT) dipasang di atas lapisan WR, kemudian kembali diimpregnasi menggunakan resin dan diratakan menggunakan roller laminasi untuk memastikan seluruh lapisan terbasahi secara homogen serta meminimalkan terbentuknya gelembung udara (*void*) pada hasil laminasi.

Setelah proses laminasi selesai, spesimen dibiarkan mengalami proses *curing* selama kurang lebih 24 jam pada suhu ruang hingga resin mengeras secara sempurna. Spesimen yang telah mengeras kemudian dipersiapkan dan dikelompokkan berdasarkan variasi kadar air untuk selanjutnya dilakukan pengujian *peel test*.

4.1.2 Pembuatan Spesimen Laminasi *Polyester*

Pembuatan spesimen laminasi *polyester* diawali dengan persiapan kayu jati Belanda (type BKI kelas kayu III) yang dipotong menjadi spesimen uji dengan bentuk dan dimensi mengacu pada standar ASTM D903 untuk pengujian *peel strength*. Spesimen dibuat dengan lebar 25 mm dan panjang 152 mm sesuai dimensi yang digunakan pada penelitian ini. Permukaan kayu kemudian diampelas hingga halus untuk menghilangkan kotoran dan ketidakrataan permukaan sehingga dapat meningkatkan kualitas ikatan antara kayu dan lapisan FRP. Setelah proses pengamplasan selesai, dilakukan pengukuran kadar air menggunakan *Wood Moisture Meter Benetech* untuk memastikan kadar air spesimen sesuai dengan variasi penelitian, yaitu 10%, 15%, dan 20%, sebelum proses laminasi dilakukan.



Gambar 4.3 Pengukuran kadar air pada kayu
Sumber: Data diolah oleh peneliti

Selanjutnya, resin *polyester* (type G 3253 T), diaplikasikan secara merata pada permukaan kayu sepanjang 125 mm sebagai area laminasi. Pengaplikasian resin dilakukan menggunakan kuas hingga seluruh permukaan area laminasi tertutup secara merata tanpa pengukuran ketebalan lapisan tertentu. Pelapisan ini bertujuan untuk membentuk lapisan dasar (*coating*) pada permukaan kayu sehingga resin dapat meresap ke dalam pori-pori kayu dan meningkatkan kualitas ikatan antara kayu dan lapisan FRP. Setelah proses pelapisan selesai, spesimen didiamkan selama ± 24 jam pada suhu ruang hingga resin *polyester* mengalami proses curing dan membentuk lapisan yang mengeras sebelum dilakukan proses laminasi fiberglass.



Gambar 4.4 Pengaplikasian resin *polyester*
Sumber: Data diolah oleh peneliti

Setelah lapisan coating resin *polyester* mengeras sempurna, proses laminasi FRP dilakukan menggunakan metode *hand lay-up*. Laminasi terdiri atas dua lapisan *fiberglass*, yaitu satu lapisan *Woven Roving* (WR) (type O Wens Composite) sebagai lapisan pertama dan satu lapisan *Chopped Strand Mat* (CSM/MAT) (type *Peedem Composite*) sebagai lapisan kedua. Masing-masing lapisan *fiberglass* dipotong dengan ukuran 50 mm × 300 mm sesuai area laminasi pada spesimen.

Sebelum pemasangan *fiberglass*, area laminasi kembali diolesi menggunakan campuran resin *polyester* (type G 3253 T) dan katalis (type *Amine-based hardener*) sesuai perbandingan 10:1 (resin:katalis) dicampur hingga menutupi seluruh permukaan secara merata. Selanjutnya, lapisan *Woven Roving* (WR) ditempatkan pada permukaan kayu dan diimpregnasi menggunakan kuas hingga resin meresap secara merata ke dalam serat. Setelah itu, lapisan *Chopped Strand Mat* (CSM/MAT) dipasang di atas lapisan WR dan kembali diimpregnasi menggunakan resin hingga seluruh lapisan *fiberglass* terbasahi secara homogen. Ketebalan hasil laminasi dikendalikan agar tidak melebihi 3 mm sesuai ketentuan ASTM D903 sehingga spesimen memenuhi persyaratan untuk pengujian *peel strength*.

Panjang area laminasi yang direkatkan pada permukaan kayu ditetapkan sebesar 125 mm sesuai konfigurasi spesimen yang mengacu pada ASTM D903, sedangkan sisa bagian FRP dibiarkan tidak direkatkan dan ditekuk ke arah belakang membentuk sudut 180° sebagai bagian yang dijepit pada grip mesin uji saat pelaksanaan *peel test*. Untuk mempertahankan bentuk lipatan selama proses curing, digunakan tumpuan kayu yang telah dilapisi plastik sehingga lapisan FRP tidak menempel pada tumpuan dan tetap membentuk daerah awal pengelupasan (*starter tab*) sesuai kebutuhan pengujian. Setelah proses laminasi selesai, spesimen didiamkan selama ±24 jam pada suhu ruang hingga resin *polyester* mengalami proses curing dan lapisan laminasi mengeras sempurna. Pada setiap variasi kadar air (10%, 15%, dan 20%) dibuat masing-masing tiga spesimen, sehingga total spesimen laminasi *polyester* yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah sembilan spesimen.

4.1.3 Pembuatan Spesimen Laminasi Epoxy

Pembuatan spesimen laminasi epoxy diawali dengan persiapan kayu jati Belanda (type BKI kelas kayu III) yang dipotong menjadi spesimen uji dengan bentuk dan dimensi mengacu pada standar ASTM D903 untuk pengujian *peel strength*. Spesimen dibuat dengan lebar 25 mm dan panjang 152 mm sesuai dimensi yang digunakan dalam penelitian ini. Permukaan kayu kemudian diampelas hingga halus untuk menghilangkan kotoran dan ketidakrataan permukaan sehingga dapat meningkatkan kualitas ikatan antara kayu dan lapisan FRP. Setelah proses pengamplasan selesai, dilakukan pengukuran kadar air menggunakan Wood Moisture Meter Benetech untuk memastikan kadar air spesimen sesuai dengan variasi penelitian, yaitu 10%, 15%, dan 20%, sebelum proses pelapisan resin epoxy dilakukan.



Gambar 4.5 Proses pengamplasan kayu
Sumber: Data diolah oleh peneliti

Selanjutnya, resin epoxy tipe *Marine Epoxy* dicampurkan dengan *Amine-based hardener* sesuai perbandingan yang telah ditentukan pada metode penelitian hingga campuran homogen. Campuran resin kemudian diaplikasikan secara merata pada permukaan kayu sepanjang 125 mm sebagai area laminasi menggunakan kuas tanpa pengukuran ketebalan lapisan tertentu. Pelapisan ini bertujuan untuk membentuk lapisan dasar (*coating*) pada permukaan kayu sehingga resin dapat meresap ke dalam pori-pori kayu dan meningkatkan kualitas ikatan antara kayu dan lapisan FRP. Setelah proses pelapisan selesai, spesimen didiamkan selama ± 24 jam pada suhu ruang hingga resin epoxy mengalami proses curing dan membentuk lapisan yang mengeras sebelum dilakukan proses laminasi *fiberglass*.



Gambar 4.6 Pengaplikasian resin *Epoxy*
Sumber: Data diolah oleh peneliti

Setelah lapisan coating resin *epoxy* mengeras sempurna, proses laminasi FRP dilakukan menggunakan metode *hand lay-up*. Laminasi terdiri atas dua lapisan *fiberglass*, yaitu satu lapisan *Woven Roving (WR)* (*type O Wens Composite*) sebagai lapisan pertama dan satu lapisan *Chopped Strand Mat (CSM/MAT)* (*type Peedem Composite*) sebagai lapisan kedua. Masing-masing lapisan *fiberglass* dipotong dengan ukuran 50 mm × 300 mm sesuai area laminasi pada spesimen.

Sebelum pemasangan *fiberglass*, area laminasi kembali diolesi menggunakan campuran resin *epoxy* (*type Marine Epoxy*) dan *Amine-based* hardener sesuai perbandingan yang telah ditentukan hingga menutupi seluruh permukaan secara merata. Selanjutnya, lapisan *Woven Roving (WR)* ditempatkan pada permukaan kayu dan diimpregnasi menggunakan kuas hingga resin meresap secara merata ke dalam serat. Setelah itu, lapisan *Chopped Strand Mat (CSM/MAT)* dipasang di atas lapisan *WR* dan kembali diimpregnasi menggunakan resin hingga seluruh lapisan *fiberglass* terbasahi secara homogen. Selama proses laminasi dilakukan pemerataan resin dan pengeluaran gelembung udara (*void*) menggunakan roller laminasi untuk memperoleh ikatan yang baik antara kayu dan FRP. Ketebalan hasil laminasi dikendalikan agar tidak melebihi 3 mm sesuai ketentuan ASTM D903 sehingga spesimen memenuhi persyaratan untuk pengujian *peel strength*.

Panjang area laminasi yang direkatkan pada permukaan kayu ditetapkan sebesar 125 mm sesuai konfigurasi spesimen yang mengacu pada ASTM D903, sedangkan sisa bagian FRP dibiarkan tidak direkatkan dan ditekuk ke arah belakang membentuk sudut 180° sebagai bagian yang dijepit pada grip mesin uji saat pelaksanaan *peel test*.

Untuk mempertahankan bentuk lipatan selama proses curing, digunakan tumpuan kayu yang telah dilapisi plastik sehingga lapisan FRP tidak menempel pada tumpuan dan tetap membentuk daerah awal pengelupasan (*starter tab*). Setelah proses laminasi selesai, spesimen didiamkan selama ± 24 jam pada suhu ruang hingga resin *epoxy* mengalami proses *curing* dan lapisan laminasi mengeras sempurna. Pada setiap variasi kadar air (10%, 15%, dan 20%) dibuat masing-masing tiga spesimen, sehingga total spesimen laminasi resin *epoxy* yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah sembilan spesimen.

4.1.4 Dokumentasi Pengujian



Gambar 4.7 Spesimen Sebelum dilakukan pengujian
Sumber: Data diolah oleh peneliti

Gambar 4.7 menunjukkan kondisi spesimen sebelum dilakukan pengujian peel test. Pada tahap ini seluruh spesimen telah selesai melalui proses laminasi dan curing sehingga lapisan FRP telah melekat pada permukaan kayu. Permukaan spesimen tampak rata dan tidak mengalami kerusakan yang dapat memengaruhi hasil pengujian. Sebelum pengujian dilakukan, setiap spesimen diberi kode identifikasi sesuai dengan variasi kadar air kayu dan metode perlakuan resin. Pemberian kode bertujuan untuk memudahkan proses identifikasi selama pengujian serta menghindari kesalahan dalam pencatatan data. Selain itu, kondisi fisik spesimen diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan tidak terdapat cacat seperti retak, delaminasi awal, atau gelembung udara yang berlebihan pada lapisan laminasi.



Gambar 4.8 Spesimen Sesudah dilakukan pengujian
Sumber: Data diolah oleh peneliti

Gambar 4.8 menunjukkan kondisi spesimen setelah dilakukan pengujian peel test menggunakan Universal Testing Machine (UTM). Setelah pengujian berlangsung, lapisan FRP mengalami pengelupasan akibat gaya tarik yang diberikan secara terus-menerus hingga mencapai batas kegagalan ikatan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap spesimen mengalami pola pengelupasan yang berbeda-beda, bergantung pada kekuatan ikatan antara laminasi FRP dan permukaan kayu. Pada beberapa spesimen, lapisan FRP terlepas secara bertahap sepanjang area laminasi, sedangkan pada spesimen lainnya masih terdapat sebagian lapisan yang tetap melekat pada permukaan kayu. Kondisi tersebut menjadi indikator perbedaan daya rekat yang dihasilkan oleh variasi kadar air kayu dan metode perlakuan resin yang diterapkan pada penelitian ini. Dokumentasi spesimen setelah pengujian digunakan sebagai bukti visual untuk mendukung hasil pengujian peel strength serta mempermudah proses analisis terhadap mekanisme kegagalan ikatan yang terjadi selama pengujian.

4.2 Hasil Pengujian *Peel Test*

4.2.1 Pengujian Laminasi Langsung

Pengujian *peel test* pada spesimen laminasi langsung dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar air kayu terhadap kekuatan ikatan antara FRP dan kayu. Pengujian dilakukan pada tiga variasi kadar air, yaitu 10%, 15%, dan 20%. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai gaya maksimum (*max force*) dan *peel strength* yang berbeda pada setiap variasi kadar air. Nilai hasil pengujian laminasi langsung dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Laminasi Langsung

Kode Spesimen	Kadar Air (%)	<i>Max Force (kgf)</i>	<i>Peel Strenght (kgf/mm)</i>
A1	10%	23,17	0,18536
A2	10%	20,38	0,16304
A3	10%	12,58	0,10064
B1	15%	20,92	0,16736
B2	15%	15,56	0,12448
B3	15%	17,36	0,13888
C1	20%	4,02	0,03216
C2	20%	11,89	0,09512
C3	20%	7,15	0,05720

1. Rata – rata setiap variasi :

a. Variasi kadar air 10% (Spesimen A1-A3)

a). Rata – rata *Max Force* (kgf) :

$$\bar{F} = \frac{23.17+20.38+12.58}{3} = 18,71 \text{ kgf}$$

b). Rata rata *Peel Strenght* (kgf/mm) :

$$\bar{F} = \frac{0.18536+0.16304+0.10064}{3} = 0,14968 \text{ kgf/mm}$$

b. Variasi kadar air 15% (Spesimen B1-B3)

a). Rata – rata *Max Force* (kgf) :

$$\bar{F} = \frac{20.92+15.56+17.36}{3} = 17,95 \text{ kgf}$$

b). Rata rata *Peel Strenght* (kgf/mm) :

$$\bar{F} = \frac{0.16736+0.12448+0.13888}{3} = 0,14357 \text{ kgf/mm}$$

c. Variasi kadar air 20% (Spesimen C1-C3)

a). Rata – rata *Max Force* (kgf) :

$$\bar{F} = \frac{4.02+11.89+7.15}{3} = 7,68 \text{ kgf}$$

b). Rata rata *Peel Strenght* (kgf/mm) :

$$\bar{F} = \frac{0.03216+0.09512+0.05720}{3} = 0,06149 \text{ kgf/mm}$$

Tabel 4.5 Hasil rata-rata pengujian laminasi langsung

Kadar Air (%)	Rata-rata <i>Max Force</i> (kgf)	Rata-rata <i>Peel Strenght</i> (kgf/mm)
10%	18,71	0,14968
15%	17,95	0,14357
20%	7,68	0,06149

Berdasarkan hasil pengujian peel test sesuai ASTM D903, diperoleh nilai rata-rata peel strength sebesar 0,14968 *kgf/mm* pada kadar air 10%, 0,14357 *kgf/mm* pada kadar air 15%, dan 0,06149 *kgf/mm* pada kadar air 20%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar air kayu dari 10% hingga 20% cenderung menyebabkan penurunan kekuatan ikatan antara FRP dan kayu pada metode laminasi langsung. Nilai peel strength tertinggi diperoleh pada kadar air 10%, yaitu sebesar 0,14968 *kgf/mm*. Kondisi ini menunjukkan bahwa kadar air yang relatif rendah memberikan kondisi permukaan kayu yang lebih baik untuk proses laminasi. Pada kadar air tersebut, kandungan air di dalam pori-pori kayu masih relatif sedikit sehingga resin polyester yang digunakan pada proses laminasi langsung dapat membasahi (*wetting*) permukaan kayu secara lebih optimal. Proses pembasahan yang baik memungkinkan resin meresap ke dalam pori-pori dan ketidakrataan permukaan kayu sehingga membentuk ikatan mekanis (*mechanical interlocking*) yang lebih kuat antara lapisan FRP dan substrat kayu. Akibatnya, gaya yang diperlukan untuk mengelupaskan lapisan FRP menjadi lebih besar sehingga nilai peel strength yang dihasilkan lebih tinggi.

Sebaliknya, pada kadar air 20% diperoleh nilai *peel strength* terendah, yaitu sebesar 0,06149 *kgf/mm*. Penurunan nilai tersebut diduga terjadi karena meningkatnya kandungan air di dalam struktur kayu menyebabkan sebagian pori-pori kayu terisi oleh air sehingga menghambat penetrasi resin ke dalam permukaan kayu. Selain itu, keberadaan air pada permukaan kayu dapat

mengurangi kontak langsung antara resin dan substrat kayu sehingga ikatan *adhesi* yang terbentuk menjadi lebih lemah. Kondisi tersebut menyebabkan lapisan FRP lebih mudah terkelupas selama proses pengujian *peel test*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pada metode laminasi langsung, kadar air kayu yang lebih rendah memberikan kualitas ikatan laminasi yang lebih baik dibandingkan kadar air yang lebih tinggi.



Gambar 4.9 Proses *Peel Test* Variasi Laminasi Langsung
Sumber: Data diolah oleh peneliti

4.2.2 Pengujian Laminasi Resin *Polyester*

Pengujian *peel test* pada spesimen laminasi resin *polyester* dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar air kayu terhadap kekuatan ikatan antara FRP dan kayu. Pengujian dilakukan pada tiga variasi kadar air, yaitu 10%, 15%, dan 20%, dengan masing-masing variasi terdiri dari tiga spesimen uji. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai gaya maksimum (*max force*) dan *peel strength* yang berbeda pada setiap variasi kadar air. Nilai hasil pengujian laminasi resin *polyester* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Laminasi Resin *Polyester*

Kode Spesimen	Kadar Air (%)	Max Force (kgf)	Peel Strenght (kgf/mm)
D1	10%	20,61	0,16488
D2	10%	18,09	0,14472
D3	10%	21,07	0,16856
E1	15%	14,61	0,11688
E2	15%	19,23	0,15384
E3	15%	15,14	0,12112
F1	20%	20,57	0,16456
F2	20%	10,90	0,08720
F3	20%	25,31	0,20248

1. Rata – rata setiap variasi :

a. Variasi kadar air 10% (Spesimen D1-D3)

a). Rata – rata *Max Force* (kgf) :

$$\bar{F} = \frac{20,61+18,09+21,07}{3} = 19,92 \text{ kgf}$$

b). Rata rata Peel Strenght (kgf/mm) :

$$\bar{F} = \frac{0,16488+0,14472+0,16856}{3} = 0,15939 \text{ kgf/mm}$$

b. Variasi kadar air 15% (Spesimen E1-E3)

a). Rata – rata *Max Force* (kgf) :

$$\bar{F} = \frac{14.61+19.23+15.14}{3} = 16,33 \text{ kgf}$$

b). Rata rata *Peel Strenght* (kgf/mm) :

$$\bar{F} = \frac{0.11688+0.15384+0.12112}{3} = 0,13061 \text{ kgf/mm}$$

c. Variasi kadar air 20% (Spesimen F1-F3)

a). Rata – rata *Max Force* (kgf) :

$$\bar{F} = \frac{20.57+10.90+25.31}{3} = 18,92 \text{ kgf}$$

b). Rata rata *Peel Strenght* (kgf/mm) :

$$\bar{F} = \frac{0.16456+0.08720+0.20248}{3} = 0,15141 \text{ kgf/mm}$$

Tabel 4.7 Hasil Rata-Rata Pengujian Laminasi Resin *Polyester*

Kadar Air (%)	Rata-rata <i>Max Force</i> (Kgf)	Rata-rata <i>Peel Strenght</i> (Kgf/mm)
10%	19,92	0,15939
15%	16,33	0,13061
20%	18,92	0,15141

Berdasarkan hasil pengujian peel test sesuai ASTM D903, diperoleh nilai rata-rata peel strength sebesar 0,15939 kgf/mm pada kadar air 10%, 0,13061 kgf/mm pada kadar air 15%, dan 0,15141 kgf/mm pada kadar air 20%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi kadar air memberikan pengaruh terhadap kekuatan ikatan antara FRP dan kayu pada metode laminasi resin *polyester*.

Nilai peel strength tertinggi diperoleh pada kadar air 10%, yaitu sebesar 0,15939 kgf/mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar air yang lebih rendah memberikan kondisi permukaan kayu yang lebih baik untuk proses perekatan laminasi FRP. Pada metode ini, permukaan kayu terlebih dahulu dilapisi menggunakan resin polyester (*coating*) dan dibiarkan mengalami proses *curing* sebelum dilakukan laminasi FRP. Lapisan *coating* tersebut berfungsi sebagai lapisan dasar yang membantu menutup sebagian pori-pori kayu sehingga menghasilkan permukaan yang lebih seragam. Kondisi tersebut memungkinkan resin laminasi yang diaplikasikan pada tahap berikutnya dapat membentuk ikatan yang lebih merata dengan serat kayu, sehingga menghasilkan nilai *peel strength* yang lebih tinggi.

Sementara itu, nilai *peel strength* terendah diperoleh pada kadar air 15%, yaitu sebesar 0,13061 kgf/mm. Penurunan nilai tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar air pada kayu dapat memengaruhi kualitas ikatan antara FRP dan substrat kayu. Kandungan air yang lebih tinggi berpotensi mengurangi kemampuan resin untuk berpenetrasi dan berikatan secara optimal pada permukaan kayu, sehingga kekuatan adhesi yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Pada kadar air 20%, nilai *peel strength* yang diperoleh sebesar 0,15141 kgf/mm, sedikit lebih tinggi dibandingkan kadar air 15%, namun masih lebih rendah dibandingkan kadar air 10%. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa kualitas ikatan laminasi tidak hanya dipengaruhi oleh kadar air kayu, tetapi juga oleh distribusi resin pada permukaan, tingkat penetrasi resin ke dalam pori-pori kayu, serta kondisi selama proses *curing*. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan variasi hasil pengujian meskipun spesimen dibuat dengan metode yang sama.



Gambar 4.10 Proses *Peel Test* Variasi Laminasi Resin *Polyester*
Sumber: Data diolah Oleh Peneliti

4.2.3 Pengujian Laminasi Resin *Epoxy*

Pengujian *peel test* pada spesimen laminasi resin *epoxy* dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar air kayu terhadap kekuatan ikatan antara FRP dan kayu. Pengujian dilakukan pada tiga variasi kadar air, yaitu 10%, 15%, dan 20%, dengan masing-masing variasi terdiri dari tiga spesimen uji. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai gaya maksimum (*max force*) dan *peel strength* yang berbeda pada setiap variasi kadar air. Nilai hasil pengujian laminasi resin *polyester* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Laminasi Resin *Epoxy*

Kode Spesimen	Kadar Air (%)	<i>Max Force (kgf)</i>	<i>Peel Strenght (kgf/mm)</i>
G1	10%	31,17	0,24936
G2	10%	25,28	0,20224
G3	10%	27,46	0,21968

H1	15%	34,07	0,27256
H2	15%	21,68	0,17344
H3	15%	45,31	0,36248
J1	20%	24,74	0,19792
J2	20%	37,82	0,30256
J3	20%	47,53	0,38024

1. Rata – rata setiap variasi :

a. Variasi kadar air 10% (Spesimen G1-G3)

a). Rata rata *Max Force* (kgf) :

$$\bar{F} = \frac{31,17+25,28+27,46}{3} = 27,97 \text{ kgf}$$

b). Rata rata *Peel Strenght* (kgf/mm) :

$$\bar{F} = \frac{0,24936+0,20224+0,21968}{3} = 0,22376 \text{ kgf/mm}$$

b. Variasi kadar air 15% (Spesimen H1-H3)

a). Rata – rata *Max Force* (kgf) :

$$\bar{F} = \frac{34,07+21,68+45,31}{3} = 33,68 \text{ kgf}$$

b). Rata rata *Peel Strenght* (kgf/mm) :

$$\bar{F} = \frac{0,27256+0,17344+0,36248}{3} = 0,26949 \text{ kgf/mm}$$

c. Variasi kadar air 20% (Spesimen J1-J3)

a). Rata – rata *Max Force* (kgf) :

$$\bar{F} = \frac{24,74+37,82+47,53}{3} = 36,69 \text{ kgf}$$

b). Rata rata Peel Strenght (*kgf/mm*) :

$$\bar{F} = \frac{0,19792+0,30256+0,38024}{3} = 0,29357 \text{ kgf/mm}$$

Tabel 4.9 Hasil Rata-Rata Pengujian Laminasi Resin Epoxy

Kadar Air (%)	Rata-rata <i>Max Force</i> (Kgf)	Rata-rata <i>Peel Strenght</i> (Kgf/mm)
10%	27,97	0,22376
15%	33,68	0,26949
20%	36,69	0,29357

Berdasarkan hasil pengujian *peel test* sesuai ASTM D903, diperoleh nilai rata-rata *peel strength* sebesar 0,22376 *kgf/mm* pada kadar air 10%, 0,26949 *kgf/mm* pada kadar air 15%, dan 0,29357 *kgf/mm* pada kadar air 20%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar air kayu dari 10% hingga 20% cenderung meningkatkan kekuatan ikatan antara FRP dan kayu pada metode laminasi resin epoxy.

Nilai *peel strength* tertinggi diperoleh pada kadar air 20%, yaitu sebesar 0,29357 *kgf/mm*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan resin epoxy sebagai lapisan *coating* sebelum proses laminasi memberikan kemampuan *adhesi* yang sangat baik terhadap permukaan kayu. Resin epoxy memiliki sifat *adhesif* yang tinggi serta mampu membentuk ikatan yang kuat dengan substrat kayu sehingga menghasilkan daya rekat yang lebih baik dibandingkan metode laminasi lainnya. Setelah lapisan epoxy mengalami proses *curing*, permukaan kayu menjadi lebih stabil sehingga proses laminasi FRP berikutnya dapat berlangsung dengan

lebih optimal. Selain itu, resin epoxy memiliki kemampuan penetrasi yang baik ke dalam pori-pori kayu sehingga mampu membentuk ikatan mekanis (*mechanical interlocking*) yang lebih kuat. Ikatan tersebut menyebabkan lapisan FRP memerlukan gaya yang lebih besar untuk terkelupas selama pengujian peel test, sehingga menghasilkan nilai peel strength yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa metode laminasi resin *epoxy* mampu mempertahankan bahkan meningkatkan kualitas ikatan meskipun kadar air kayu mencapai 20%.

Sebaliknya, nilai *peel strength* terendah diperoleh pada kadar air 10%, yaitu sebesar 0,22376 *kgf/mm*. Meskipun merupakan nilai terendah pada metode *epoxy*, nilai tersebut masih lebih tinggi dibandingkan nilai tertinggi yang diperoleh pada metode laminasi langsung maupun laminasi resin *polyester*. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa metode laminasi resin *epoxy* menghasilkan kualitas ikatan terbaik pada seluruh variasi kadar air karena memiliki kemampuan adhesi dan pembentukan ikatan yang lebih baik antara FRP dan kayu.



Gambar 4.11 Proses peel test variasi laminasi *epoxy*

Sumber: Data diolah Oleh Peneliti

4.2.4 Acuan Penilaian Hasil Pengujian ASTM D903

Pengujian peel strength pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D903 yang merupakan standar metode pengujian (Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds). Standar ini digunakan sebagai pedoman dalam proses persiapan spesimen, prosedur pengujian, serta cara memperoleh nilai gaya pengelupasan (peel strength). Namun demikian, ASTM D903 tidak menetapkan nilai batas minimum maupun maksimum yang harus dicapai oleh suatu material agar dinyatakan memenuhi atau tidak memenuhi standar. Dengan kata lain, standar ini hanya mengatur tata cara pelaksanaan pengujian dan bukan sebagai standar penerimaan (acceptance standard) terhadap hasil

Oleh karena itu, penilaian terhadap hasil pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan nilai Max Force dan Peel Strength yang diperoleh dari masing-masing variasi spesimen. Nilai peel strength yang lebih tinggi menunjukkan bahwa gaya yang dibutuhkan untuk mengelupaskan lapisan FRP dari permukaan kayu semakin besar, sehingga mengindikasikan kekuatan ikatan adhesi yang lebih baik. Sebaliknya, nilai peel strength yang lebih rendah menunjukkan bahwa ikatan antara laminasi FRP dan permukaan kayu relatif lebih lemah

Berdasarkan prinsip tersebut, analisis hasil penelitian difokuskan pada perbandingan pengaruh variasi kadar air kayu serta metode perlakuan resin terhadap nilai peel strength yang dihasilkan. Dengan demikian, kesimpulan penelitian tidak didasarkan pada terpenuhi atau tidaknya suatu nilai standar tertentu, melainkan pada perbedaan performa daya rekat antar variasi spesimen yang diuji sesuai dengan prosedur pengujian ASTM D903

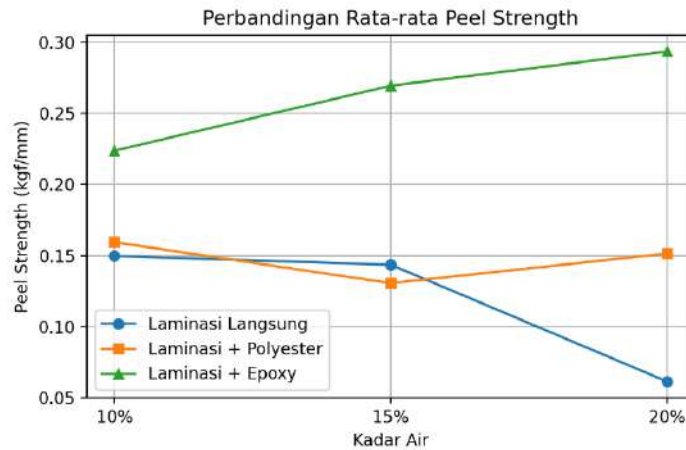
4.3 Analisis Perbandingan Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian peel test terhadap spesimen dengan tiga metode laminasi, yaitu laminasi langsung, laminasi resin *polyester*, dan laminasi resin *epoxy*, selanjutnya dilakukan analisis perbandingan hasil pengujian untuk mengetahui pengaruh metode laminasi terhadap kekuatan ikatan antara FRP dan kayu jati Belanda pada setiap variasi kadar air. Analisis dilakukan berdasarkan nilai rata-rata *peel strength* dan *max force* yang diperoleh dari setiap variasi kadar air.

4.3.1 Perbandingan Nilai *Peel Strength*

Tabel 4.10 Perbandingan rata – rata nilai *peel strength* pada semua metode laminasi

Metode Laminasi	10%	15%	20%
Laminasi Langsung	0,14968	0,14357	0,06149
Laminasi + Polyester	0,15939	0,13061	0,15141
Laminasi + Epoxy	0,22376	0,26949	0,29357



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan peel strength

Sumber: Data diolah Oleh Peneliti

Berdasarkan Tabel 4.10 dan Gambar 4.12, terlihat bahwa metode laminasi memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai *peel strength* pada setiap variasi kadar air kayu. Metode laminasi resin *epoxy* menghasilkan nilai *peel strength* tertinggi pada seluruh variasi kadar air, sedangkan metode laminasi langsung menghasilkan nilai yang paling rendah, terutama pada kadar air 20%. Pada metode laminasi langsung terjadi kecenderungan penurunan nilai *peel strength* seiring meningkatnya kadar air kayu. Nilai rata-rata *peel strength* menurun dari 0,14968 *kgf/mm* pada kadar air 10% menjadi 0,06149 *kgf/mm* pada kadar air 20%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar air memberikan pengaruh negatif terhadap kualitas ikatan pada metode laminasi langsung. Semakin tinggi kadar air, semakin besar kemungkinan pori-pori kayu terisi oleh air sehingga penetrasi resin ke dalam permukaan kayu menjadi kurang optimal. Akibatnya, ikatan adhesi maupun ikatan mekanis yang terbentuk antara resin dan kayu menjadi lebih lemah.

Berbeda dengan laminasi langsung, metode laminasi resin *polyester* menunjukkan kecenderungan hasil yang lebih stabil. Nilai *peel strength* mengalami sedikit penurunan pada kadar air 15%, kemudian meningkat sedikit menjadi 0,15141 *kgf/mm* pada kadar air 20%. Meskipun terjadi peningkatan pada kadar air 20%, selisih nilai tersebut relatif kecil sehingga belum menunjukkan peningkatan yang signifikan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa lapisan *coating* polyester yang diaplikasikan sebelum proses laminasi mampu membantu menjaga kualitas ikatan antara FRP dan kayu pada berbagai variasi kadar air. Selain kadar air, variasi nilai *peel strength* juga dapat dipengaruhi oleh distribusi resin pada permukaan kayu, tingkat penetrasi resin ke dalam pori-pori kayu, serta kondisi selama proses *curing*. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode laminasi dengan *coating* polyester menghasilkan kualitas ikatan yang relatif konsisten dibandingkan metode laminasi langsung.

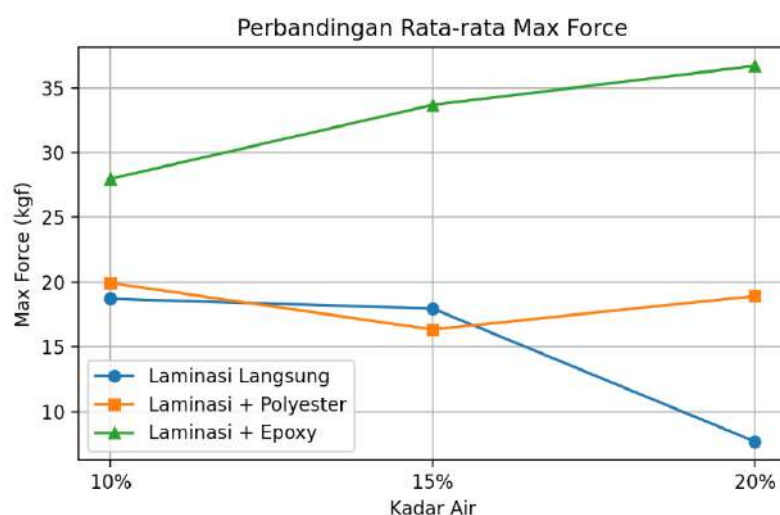
Sementara itu, metode laminasi resin epoxy menghasilkan nilai *peel strength* tertinggi pada seluruh variasi kadar air. Nilai rata-rata meningkat dari 0,22376 *kgf/mm* pada kadar air 10% menjadi 0,29357 *kgf/mm* pada kadar air 20%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa resin epoxy memiliki kemampuan adhesi yang lebih baik terhadap permukaan kayu dibandingkan resin polyester maupun metode laminasi langsung. Selain mampu membentuk ikatan yang kuat pada permukaan kayu, resin epoxy juga memiliki kemampuan penetrasi yang baik sehingga menghasilkan *mechanical interlocking* yang lebih efektif antara FRP dan substrat kayu.

Secara umum, variasi kadar air kayu memberikan pengaruh terhadap nilai daya rekat laminasi FRP. Pada metode laminasi langsung, peningkatan kadar air menyebabkan penurunan nilai *peel strength* karena kandungan air menghambat penetrasi resin ke dalam pori-pori kayu. Sebaliknya, pada metode laminasi resin polyester dan terutama resin epoxy, keberadaan lapisan *coating* mampu mempertahankan bahkan meningkatkan kualitas ikatan meskipun kadar air meningkat hingga 20%. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh kadar air terhadap daya rekat laminasi sangat dipengaruhi oleh metode perlakuan permukaan kayu sebelum proses laminasi.

4.3.2 Perbandingan Nilai Max Force

Tabel 4.11 Perbandingan rata – rata nilai max force pada semua metode laminasi

Metode Laminasi	10%	15%	20%
Laminasi Langsung	18,71	17,95	7,68
Laminasi + Polyester	19,92	16,33	18,92
Laminasi + Epoxy	27,97	33,68	36,69



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Max Force

Sumber: Data diolah Oleh Peneliti

Berdasarkan Tabel 4.11 dan Gambar 4.13, terlihat bahwa pola perubahan nilai max force memiliki kecenderungan yang serupa dengan nilai peel strength. Metode laminasi resin epoxy menghasilkan nilai max force tertinggi pada seluruh variasi kadar air, sedangkan metode laminasi langsung menghasilkan nilai terendah pada kadar air 20%. Pada metode laminasi langsung, nilai max force mengalami penurunan yang cukup signifikan dari 18,71 *kgf* pada kadar air 10%

menjadi 7,68 *kgf* pada kadar air 20%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar air kayu, semakin kecil gaya maksimum yang diperlukan untuk melepaskan lapisan FRP dari permukaan kayu. Hal ini mengindikasikan bahwa ikatan laminasi menjadi semakin lemah akibat berkurangnya kualitas adhesi antara resin dan substrat kayu.

Metode laminasi resin polyester menunjukkan perubahan nilai yang lebih fluktuatif. Nilai *max force* sedikit menurun pada kadar air 15%, kemudian meningkat menjadi 18,92 *kgf* pada kadar air 20%. Hasil ini menunjukkan bahwa lapisan coating polyester masih mampu mempertahankan kekuatan ikatan meskipun kadar air kayu meningkat. Sementara itu, metode laminasi resin epoxy menunjukkan peningkatan nilai *max force* secara bertahap pada setiap kenaikan kadar air. Nilai rata-rata meningkat dari 27,97 *kgf* pada kadar air 10% menjadi 36,69 *kgf* pada kadar air 20%. Hal tersebut menunjukkan bahwa resin *epoxy* mampu menghasilkan ikatan laminasi yang lebih kuat sehingga diperlukan gaya yang lebih besar untuk mengelupaskan lapisan FRP dari permukaan kayu selama pengujian.

Berdasarkan hasil perbandingan nilai *peel strength* dan *max force* pada ketiga metode laminasi, dapat diketahui bahwa metode laminasi dengan coating resin epoxy menghasilkan kekuatan ikatan terbaik pada seluruh variasi kadar air. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai rata-rata *peel strength* dan *max force* yang selalu lebih tinggi dibandingkan metode laminasi langsung maupun laminasi resin polyester. Dengan demikian, metode laminasi resin epoxy dapat dinyatakan sebagai metode perlakuan yang menghasilkan kekuatan laminasi FRP paling baik berdasarkan hasil pengujian mekanik *peel test*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perbandingan nilai peel strength dan max force pada ketiga metode laminasi, dapat diketahui bahwa metode laminasi dengan coating resin epoxy menghasilkan kekuatan ikatan terbaik pada seluruh variasi kadar air. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai rata-rata peel strength dan max force yang selalu lebih tinggi dibandingkan metode laminasi langsung maupun laminasi resin polyester. Dengan demikian, metode laminasi resin epoxy dapat dinyatakan sebagai metode perlakuan yang menghasilkan kekuatan laminasi FRP paling baik berdasarkan hasil pengujian mekanik peel test.

1. Variasi metode perlakuan permukaan kayu sebelum proses laminasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai daya rekat laminasi FRP. Metode laminasi langsung menghasilkan nilai daya rekat yang cenderung lebih rendah dibandingkan metode laminasi dengan coating resin polyester maupun coating resin epoxy. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian lapisan coating sebelum proses laminasi mampu meningkatkan kualitas ikatan antara FRP dan permukaan kayu sehingga menghasilkan nilai *peel strength* dan *max force* yang lebih tinggi.
2. Berdasarkan hasil pengujian mekanik *peel test*, metode laminasi dengan coating resin epoxy merupakan metode yang menghasilkan kekuatan laminasi FRP paling baik. Nilai rata-rata *peel strength* tertinggi diperoleh sebesar 0,29357 kgf/mm pada kadar air kayu 20%, sedangkan nilai rata-rata *max force* tertinggi mencapai 36,69 kgf pada variasi kadar air yang sama. Selain itu, pada seluruh variasi kadar air, metode coating resin epoxy selalu menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan metode laminasi langsung maupun coating resin polyester. Hasil tersebut menunjukkan bahwa resin epoxy memiliki kemampuan adhesi dan

penetrasi yang lebih baik ke dalam pori-pori kayu sehingga menghasilkan ikatan mekanis dan ikatan adhesi yang lebih kuat.

3. Variasi kadar air kayu sebesar 10%, 15%, dan 20% memberikan pengaruh terhadap nilai daya rekat laminasi FRP, namun pengaruh tersebut berbeda pada setiap metode laminasi. Pada metode laminasi langsung, peningkatan kadar air menyebabkan penurunan nilai *peel strength* karena kandungan air menghambat penetrasi resin ke dalam permukaan kayu. Pada metode coating resin polyester, perubahan nilai *peel strength* cenderung lebih stabil dan mencapai nilai tertinggi pada kadar air 20%. Sementara itu, pada metode coating resin epoxy, peningkatan kadar air justru diikuti oleh peningkatan nilai *peel strength* dan *max force*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh kadar air terhadap daya rekat laminasi sangat dipengaruhi oleh metode perlakuan permukaan kayu yang digunakan sebelum proses laminasi FRP.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut :

1. Disarankan untuk melakukan pengujian mekanik lainnya, seperti *lap shear test*, uji lentur, atau uji impak sehingga karakteristik kekuatan laminasi FRP pada kapal kayu dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.
2. Penelitian selanjutnya juga dapat mengkaji pengaruh jenis resin, jenis serat fiberglass, ketebalan lapisan laminasi, maupun perlakuan permukaan kayu lainnya terhadap kualitas daya rekat laminasi FRP.
3. Berdasarkan hasil penelitian ini, metode laminasi dengan coating resin epoxy dapat dipertimbangkan sebagai metode yang lebih efektif dalam proses laminasi FRP pada konstruksi kapal kayu karena menghasilkan

nilai daya rekat yang paling tinggi dibandingkan metode laminasi langsung maupun coating resin polyester.

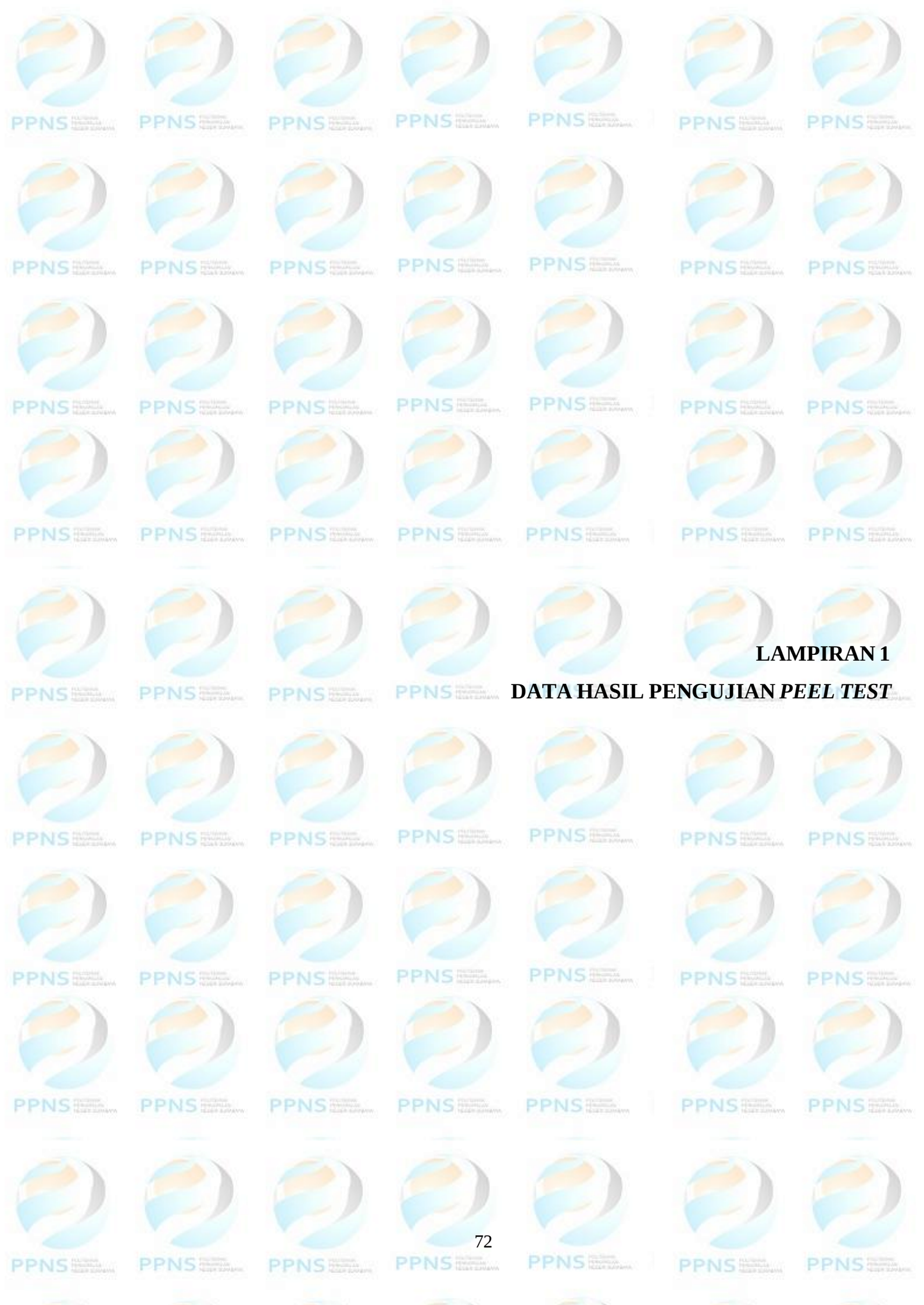
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, A., Ikhwan, R. J., Hidayat, T., & Suardi. (2021). KEKUATAN FIBERGLASS REINFORCED PLASTIC (FRP) SEBAGAI BAHAN GADING KAPAL KAYU. *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 15(1), 1–10. <https://doi.org/10.29122/jurnalwave.v15i1.4719>
- Arianto, P. Y., Fasya, N. S., Yasim, A., & Puspita, H. I. D. (2024). *STUDI PROSES PEMBUATAN DAN PEMASANGAN LADDER PADA PEMBANGUNAN KAPAL LA LUMIERE* 9. 2(2).
- Asri, S., Fachruddin, F., Firmansyah, M. R., Mustafa, W., Yusuf, Z., Bochar, L., Clausthaldi, F. R., & Azis, M. A. (2024). *Desiminasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) bagi Pengrajin Perahu Nelayan Fiberglass Dusun Pattontongan Kecamatan Binamu Kabupaten Jeneponto*. 7.
- Diniță, A., Ripeanu, R. G., Ilincă, C. N., Cursaru, D., Matei, D., Naim, R. I., Tănase, M., & Portoacă, A. I. (2023). Advancements in Fiber-Reinforced Polymer Composites: A Comprehensive Analysis. *Polymers*, 16(1), 2. <https://doi.org/10.3390/polym16010002>
- EL-Wazeri. (2017). [No title found]. *International Journal of Applied Science and Engineering*.
- Feng, J.-W., Yang, C., Li, Y., & Zhang, Z. (2025). Delamination between wood and externally bonded FRP due to swelling and shrinkage. *Journal of Wood Science*, 71(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s10086-025-02177-1>
- Gunarti, M. R., Prawoto, A., Fauzi, W. N., & Wirawan, W. A. (2024). Mechanical behavior of glass fiber-epoxy composite laminates for ship hull structures. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 4(2), 156–166. <https://doi.org/10.31603/mesi.11589>
- Hairi, M., Nasution, P., & Yani, A. H. (2022). Karakteristik Fisik dan Mekanis Penggunaan Kayu Non Kelas Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) pada Konstruksi Kapal Kayu Tradisional. *Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 10(2), 98. <https://doi.org/10.31258/jipas.10.2.p.98-103>
- Imron, M., Soeboer, D. A., & Ramadhoni, R. (2018). ANALISIS TEKNO-EKONOMI LAMINASI KAPAL PSP 01 DI PALABUHAN RATU, JAWA BARAT. *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 2(3), 315–332. <https://doi.org/10.29244/core.2.3.315-332>
- Kiratli, S. (t.t.). *Marine Applications of Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composites*.
- Layang, S. (2021). FIBER REINFORCED POLYMER AS A REINFORCING MATERIAL FOR CONCRETE STRUCTURES. *BALANGA: Jurnal*

- Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 9(1), 41–48.
<https://doi.org/10.37304/balanga.v9i1.3276>
- Nugroho, C., Wulandari, D., Sakti, A. M., & Ganda, A. N. F. (t.t.). Analisis Material Komposit Berbasis Serat Tebu Dan Matriks Polyester Sebagai Bahan Pembuatan Helm. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 09(01).
- Oh, D., Jang, J., Jee, J., Kwon, Y., Im, S., & Han, Z. (2022). Effects of fabric combinations on the quality of glass fiber reinforced polymer hull structures. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 14, 100462. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2022.100462>
- Rachman, A., Misbah, M. N., & Hakim, J. A. R. (t.t.). *Kesesuaian Ukuran Konstruksi Kapal Kayu Nelayan di Pelabuhan Nelayan (PN) Gresik Menggunakan Aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)*.
- Rahman, T. (t.t.). *Pengaruh Penggunaan Fiber Reinforced Polymer (Frp) terhadap Kuat Lentur Kayu*.
- Rodian, A., Paundra, F., Afisna, L. P., Nurullah, F. P., & Pujiyulianto, E. (t.t.). *THE EFFECT OF VARIATIONS IN PVC FOAM CORE THICKNESS ON THE FAILURE ANALYSIS OF BENDING TEST IN SANDWICH COMPOSITE*. 26(1).
- Skalková, P., Krmelová, V., Krmela, J., Ondrušová, D., Crkoň, A., & Benčíková, E. (2021). Composite Materials with Epoxy Matrix and Their Properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1199(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1199/1/012030>
- Sunardi, S., & Maizar, A. (2016). APPLIED LAMINATION FIBERGLASS TO PROTECT AND MAINTENANCE WOOD FISHING VESSEL. *Journal of Innovation and Applied Technology*, 2(1), 246–250. <https://doi.org/10.21776/ub.jiat.2016.002.01.12>
- Suprayogi, A., Permana, I., & Setiajit, S. B. (2025). *GAYA TARIK MAKSIMAL KOMPOSIT GFRP DENGAN METODE HAND LAY-UP PADA VARIASI KETEBALAN*. 1(1).
- Trimulyono, A., Amiruddin, W., Purwanto, E. D., & Sasmito, B. (2015a). KAJIAN PENGGUNAAN PROGRAM APLIKASI DESAIN KAPAL TRADISIONAL PADA GALANGAN KAPAL KAYU DI KABUPATEN BATANG. *Kapal*, 12(3), 139–144. <https://doi.org/10.12777/kpl.12.3.139-144>
- Trimulyono, A., Amiruddin, W., Purwanto, E. D., & Sasmito, B. (2015b). KAJIAN PENGGUNAAN PROGRAM APLIKASI DESAIN KAPAL TRADISIONAL PADA GALANGAN KAPAL KAYU DI KABUPATEN BATANG. *Kapal*, 12(3), 139–144. <https://doi.org/10.12777/kpl.12.3.139-144>
- Tuninetti, V., & Mariqueo, M. (2024). Performance of Combined Woven Roving and Mat Glass-Fiber Reinforced Polymer Composites Under Absorption

- Tower Lifting Loads. *Polymers*, 16(20), 2937. <https://doi.org/10.3390/polym16202937>
- Wang, Z., Li, H., Lorenzo, R., Corbi, I., Corbi, O., & Fang, C. (2020). Review on Bond Properties between Wood and Fiber Reinforced Polymer. *Journal of Renewable Materials*, 8(8), 993–1018. <https://doi.org/10.32604/jrm.2020.012488>
- Wicaksono, B. P., Hermawan, M., Soeboer, D. A., & Idnillah, M. (2024). FIBERGLASS REINFORCED PLASTIC DENGAN FLAME RETARDANT ATH SEBAGAI MATERIAL LAMINASI KAPAL PERIKANAN BERBAHAN KAYU. *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 8(4), 361–368. <https://doi.org/10.29244/core.8.4.361-368>
- Wicaksono, B. P., Hermawan, M., Soeboer, D. A., & Idnillah, M. (2024b). FIBERGLASS REINFORCED PLASTIC DENGAN FLAME RETARDANT ATH SEBAGAI MATERIAL LAMINASI KAPAL PERIKANAN BERBAHAN KAYU. *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 8(4), 361–368. <https://doi.org/10.29244/core.8.4.361-368>
- Zakariya, A., Nastiti, Y. A., & Rokhim, I. N. (2024). *PERBANDINGAN KEKUATAN LAMINASI PADA KAPAL FIBERGLASS*.



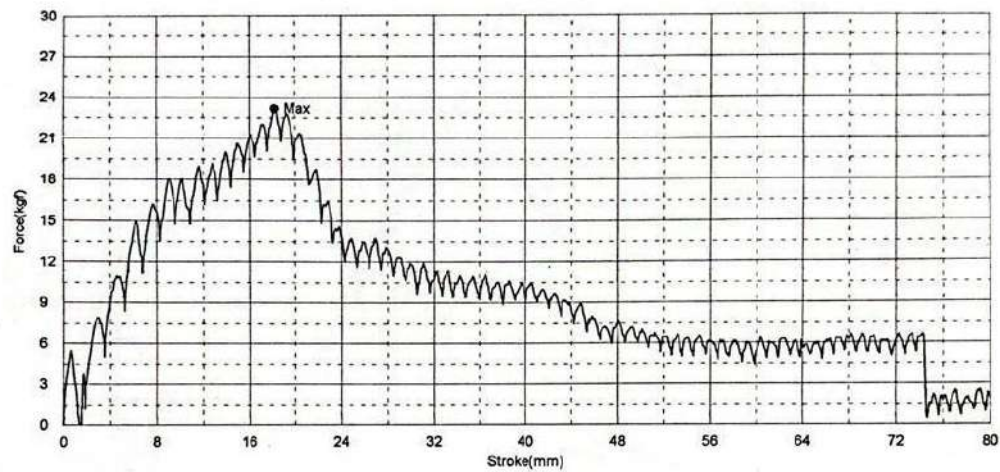
LAMPIRAN 1
DATA HASIL PENGUJIAN *PEEL TEST*

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A1	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
A1	23,17	,18536



Comment

Kadar air 10%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

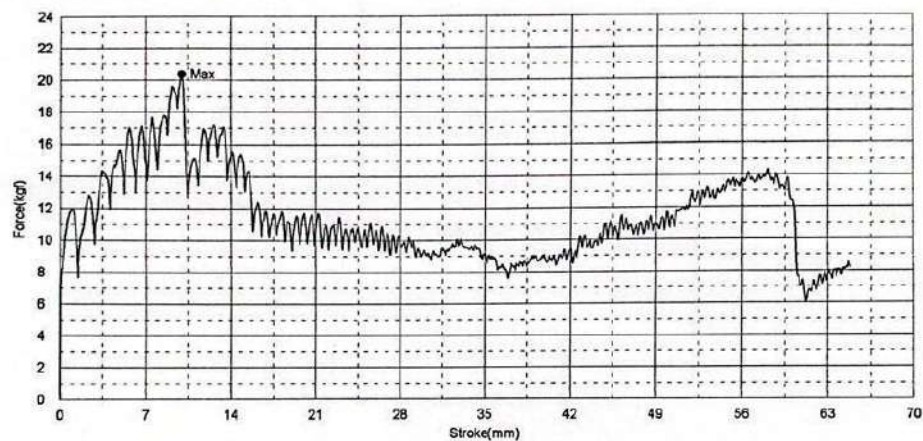

 (.....M. Putra Wibi Nasrullah.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A2	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
A2	20,38	,16304



Comment

Kadar air 10%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
 Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
 Project : Tugas Akhir
 Specimen: Peel-Off Test
 Material : Wood & FRP
 Weld process / Position / Welder : -
 Test Method : ASTM D903
 Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

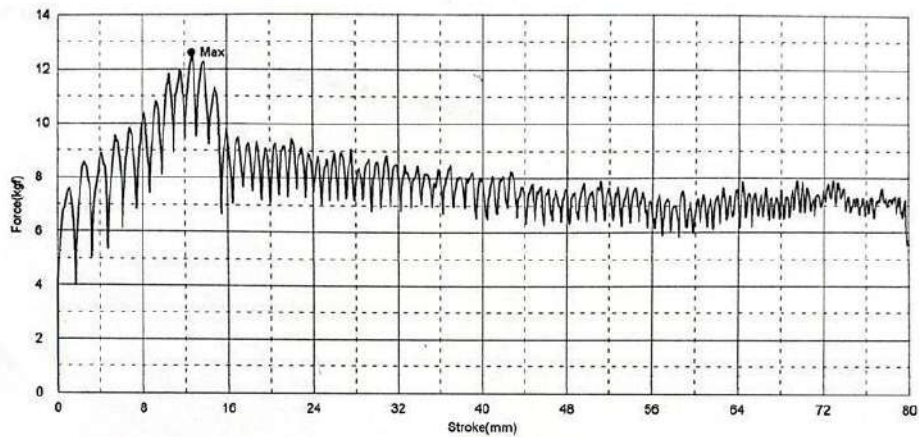

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A3	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
A3	12,58	10064



Comment

Kadar air 10%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
Project : Tugas Akhir
Specimen: Peel-Off Test
Material : Wood & FRP
Weld process / Pcsition / Welder : -
Test Method : ASTM D903
Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

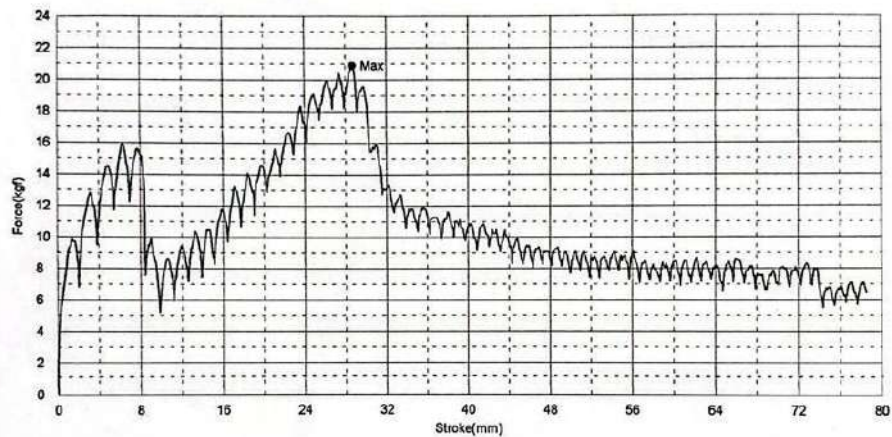
(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B1	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
B1	20,92	,16735



Comment

Kadar air 15%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

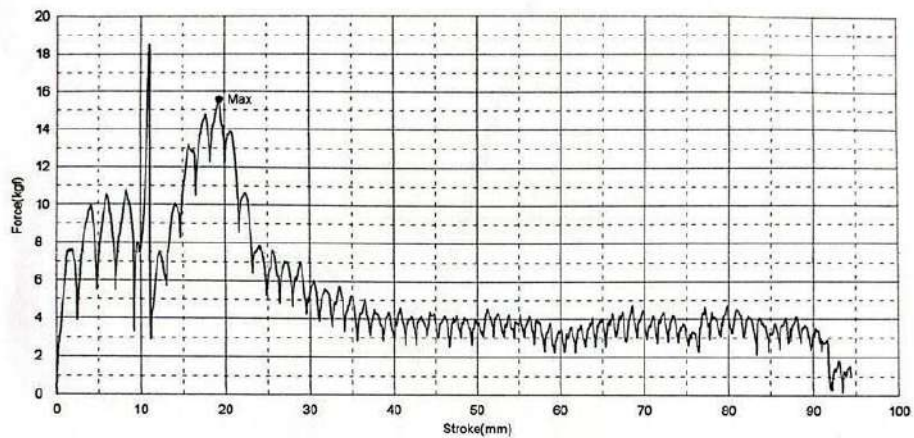

(.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B2	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
B2	15,56	,12448



Comment

Kadar air 15%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
 Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
 Project : Tugas Akhir
 Specimen: Peel-Off Test
 Material : Wood & FRP
 Weld process / Position / Welder : -
 Test Method : ASTM D903
 Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

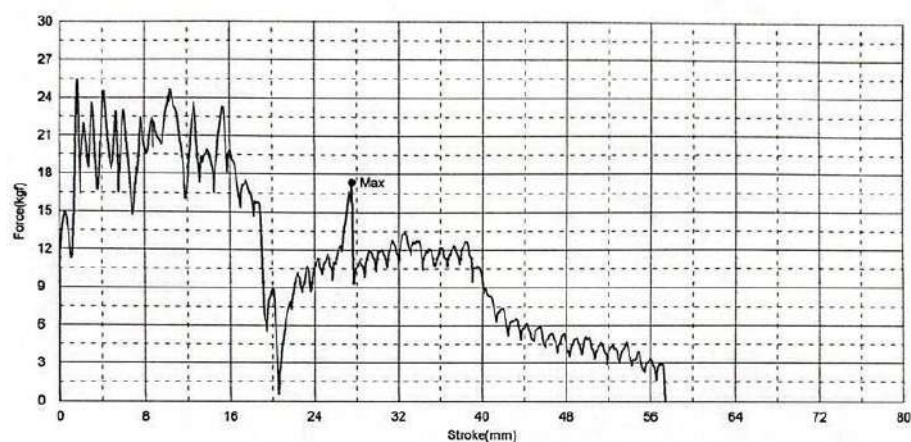

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B3	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
B3	17,36	,13888



Comment

Kadar air 15%

SPK No : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

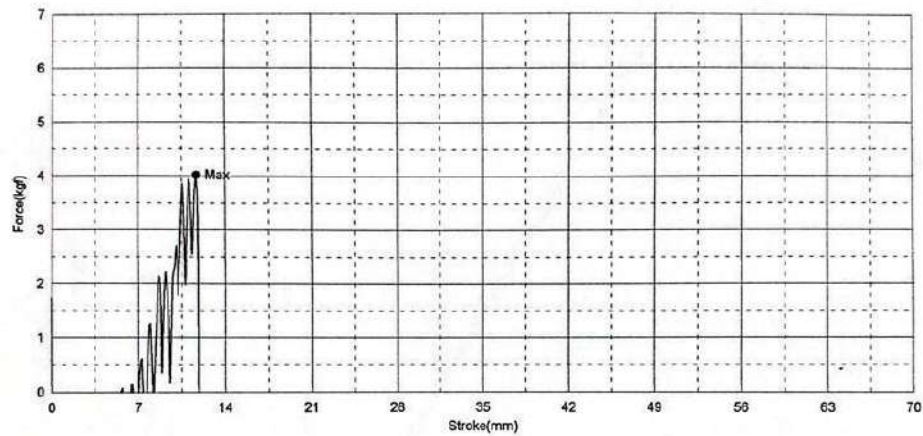
(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
C1	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
C1	4,02	,03216



Comment

Kadar air 10%
20

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

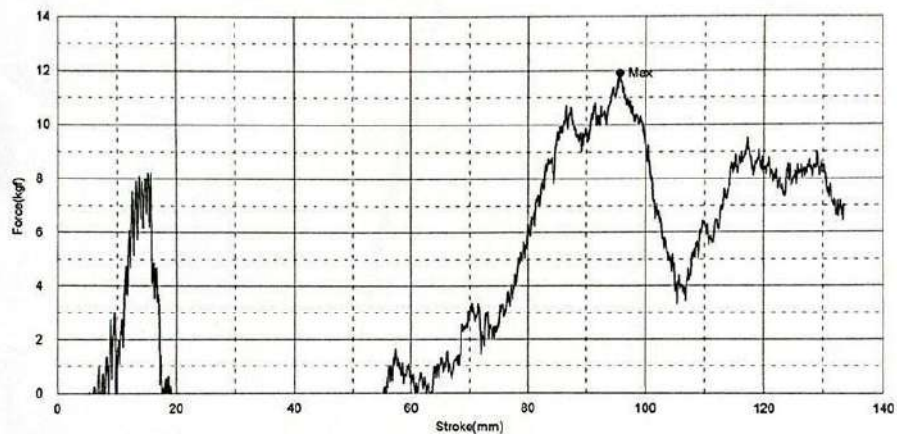
(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
C2	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
C2	11,89	,09512



Comment

Kadar air 20%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

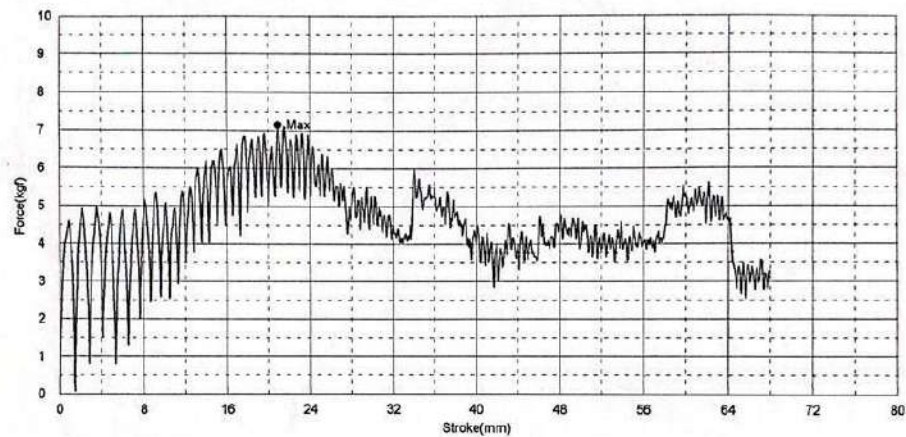

 (.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
C3	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
C3	7,15	,05720



Comment

Kadar air 20%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

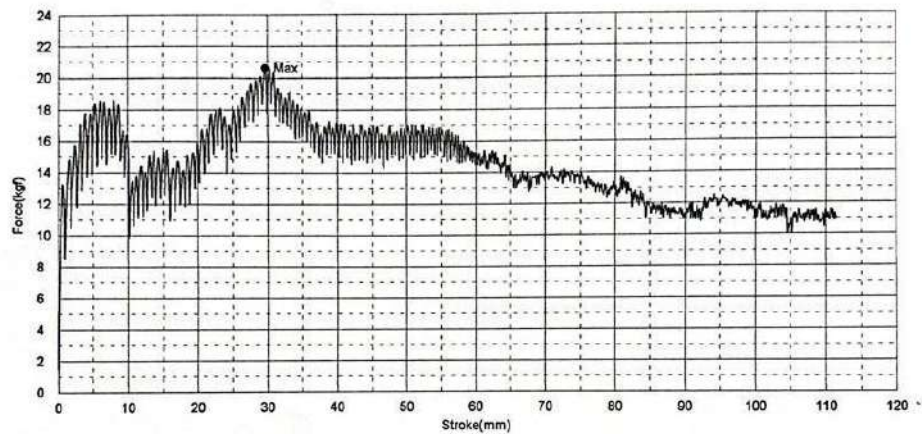

(.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
D1	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
D1	20,61	,16488



Comment

Kadar air 10%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
Project : Tugas Akhir
Specimen: Peel-Off Test
Material : Wood & FRP
Weld process / Position / Welder : -
Test Method : ASTM D903
Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

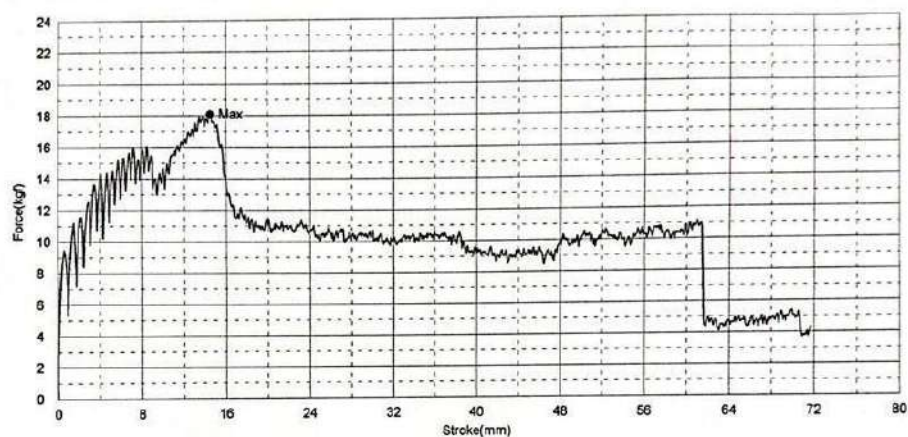

 (.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
D2	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
D2	18,09	,14472



Comment

Kadar air 10%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

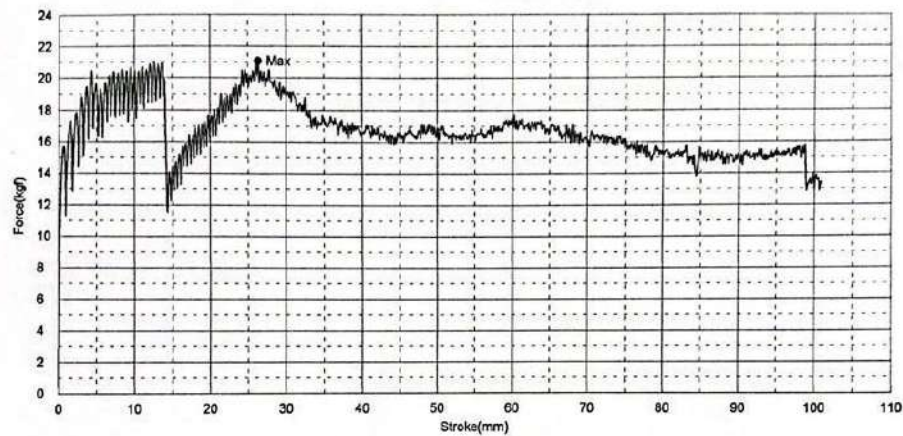
(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
D3	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
D3	21,07	,16856



Comment
Kadar air 10%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
Project : Tugas Akhir
Specimen: Peel-Off Test
Material : Wood & FRP
Weld process / Position / Welder : -
Test Method : ASTM D903
Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

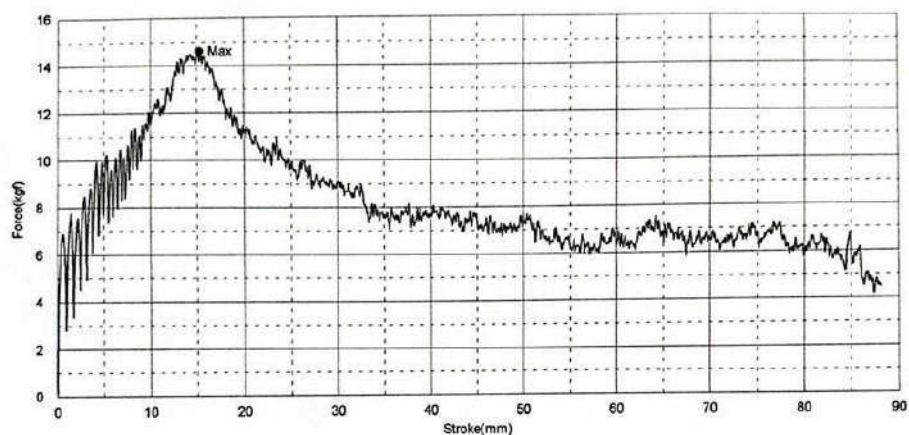

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
E1	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
E1	14,61	,11688



Comment

Kadar air 15%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen : Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code : -

Surabaya, June 08, 2026

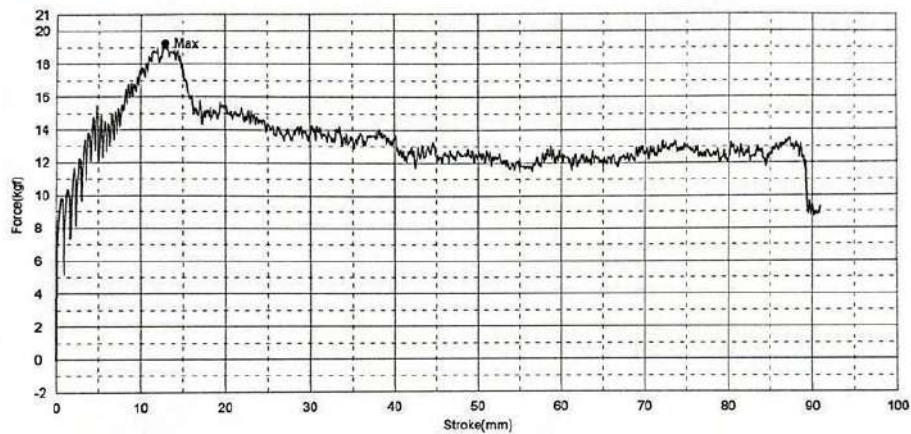
(.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
E2	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
E2	19,23	,15384



Comment

Kadar air 15%

SPK No : 27-V/PL19/BJP/2026
Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
Project : Tugas Akhir
Specimen: Peel-Off Test
Material : Wood & FRP
Weld process / Position / Welder : -
Test Method : ASTM D903
Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

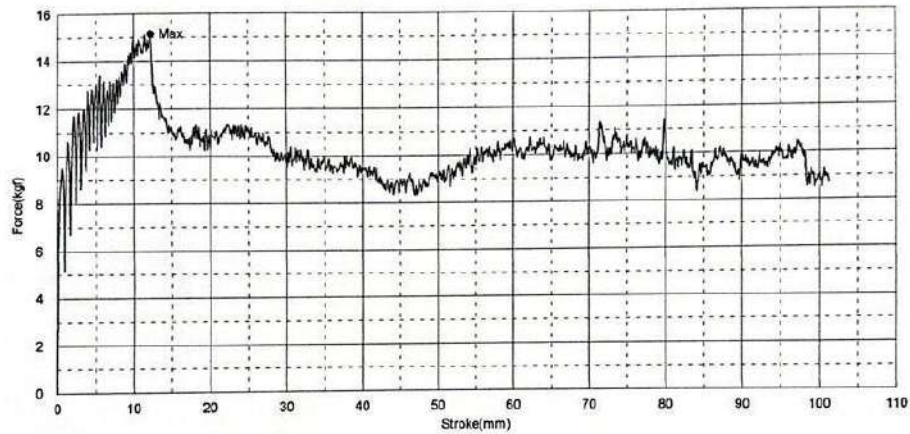

(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
E3	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
E3	15,14	12112



Comment

Kadar air 15%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

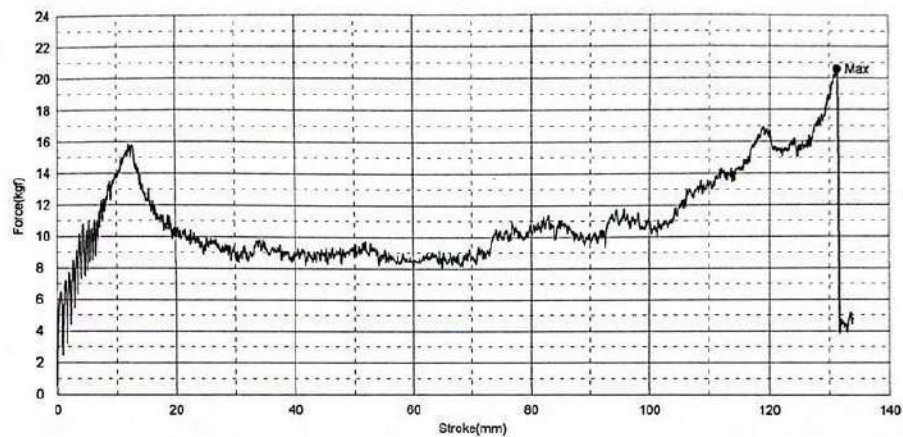
(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
F1	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
F1	20,57	,16456



Comment

Kadar air 20%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

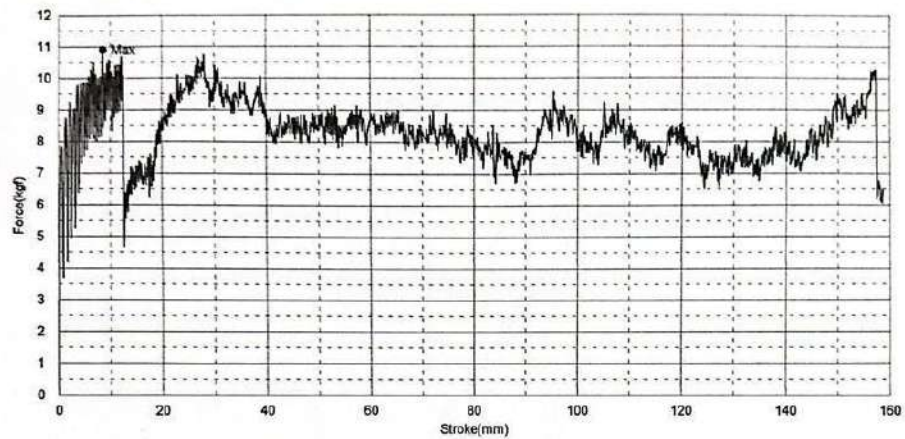

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
F2	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
F2	10,90	,08720



Comment

Kadar air 20%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 08, 2026

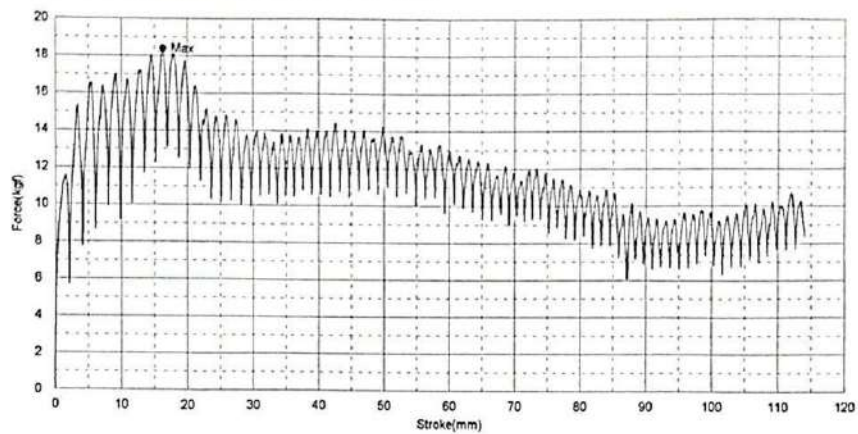

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
F#	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
F#	18,39	,14712



Comment
Kadar air 20%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
Project : Tugas Akhir
Specimen: Peel-Off Test
Material : Wood & FRP
Weld process / Position / Welder : -
Test Method : ASTM D903
Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

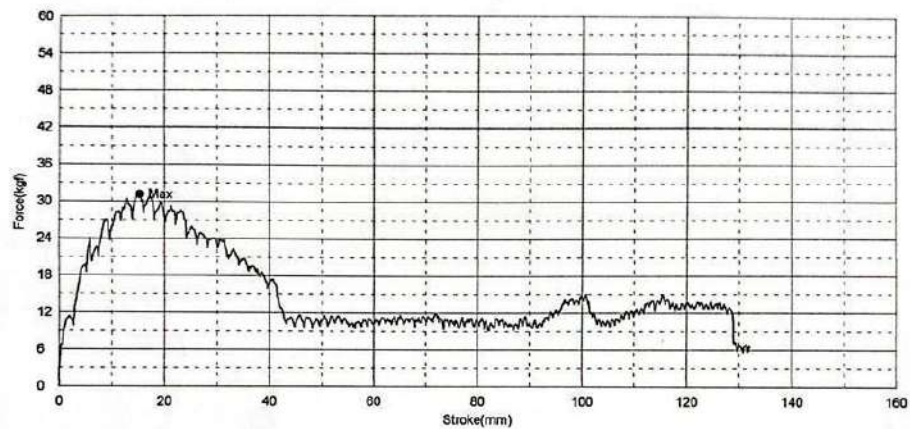

(.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
G1	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
G1	31,17	24936



Comment

Kadar air 10%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

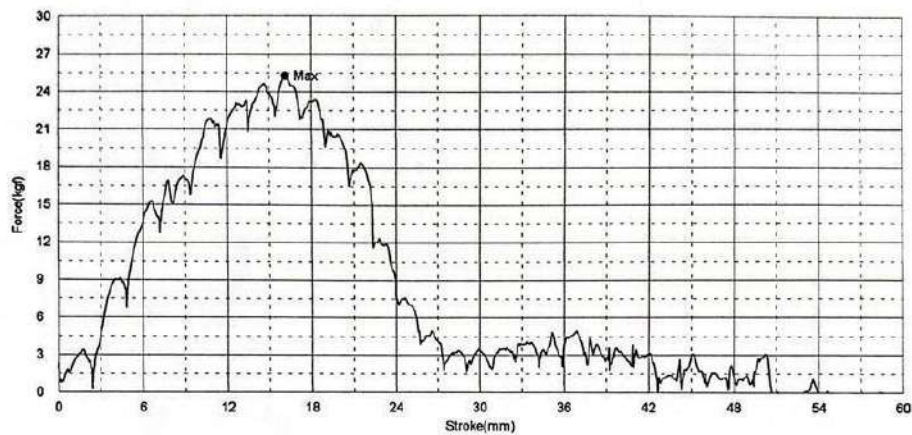

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
G2	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
G2	25,28	,20224



Comment

Kadar air 10%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
 Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
 Project : Tugas Akhir
 Specimen : Peel-Off Test
 Material : Wood & FRP
 Weld process / Position / Welder : -
 Test Method : ASTM D903
 Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

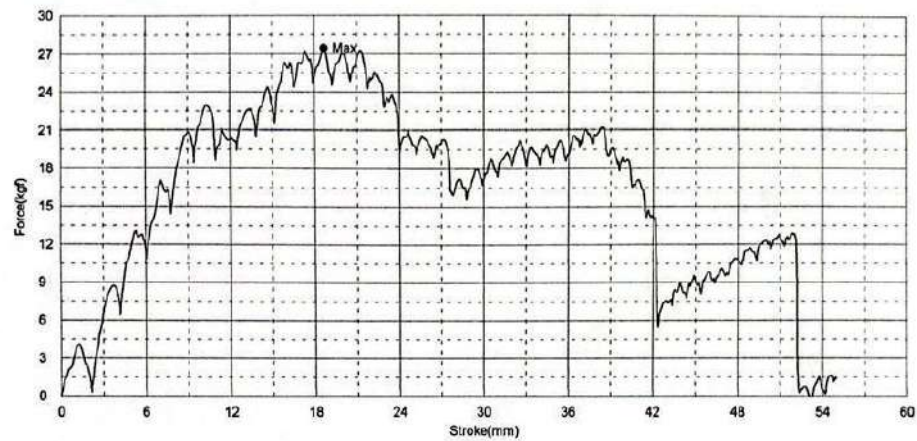

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
G3	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
G3	27,46	,21968



Comment

Kadar air 10%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
 Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
 Project : Tugas Akhir
 Specimen: Peel-Off Test
 Material : Wood & FRP
 Weld process / Position / Welder : -
 Test Method : ASTM D903
 Ref. Code : -

Surabaya, June 26, 2023

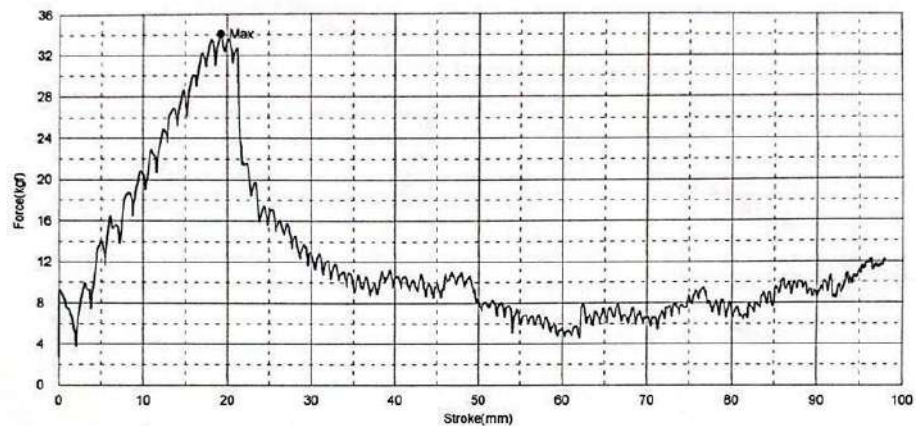

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
H1	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
H1	34,07	,27256



Comment

Kadar air 15%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

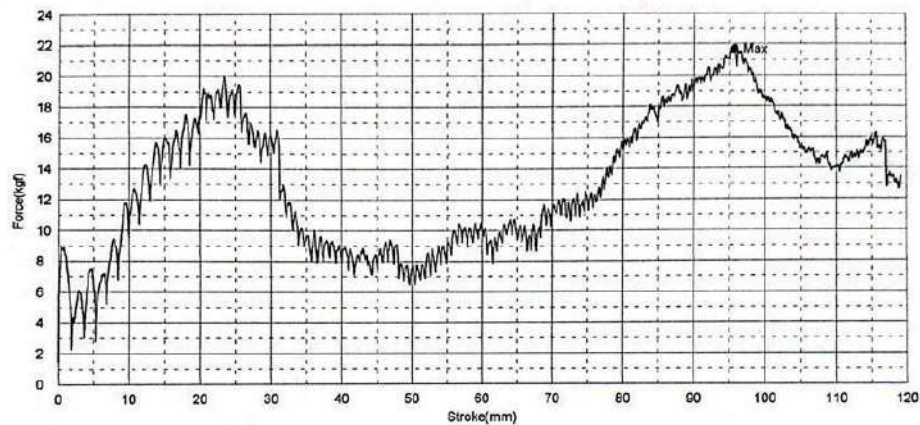

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
H2	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
H2	21,68	,17344



Comment

Kadar air 15%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
 Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
 Project : Tugas Akhir
 Specimen: Peel-Off Test
 Material : Wood & FRP
 Weld process / Position / Welder : -
 Test Method : ASTM D903
 Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

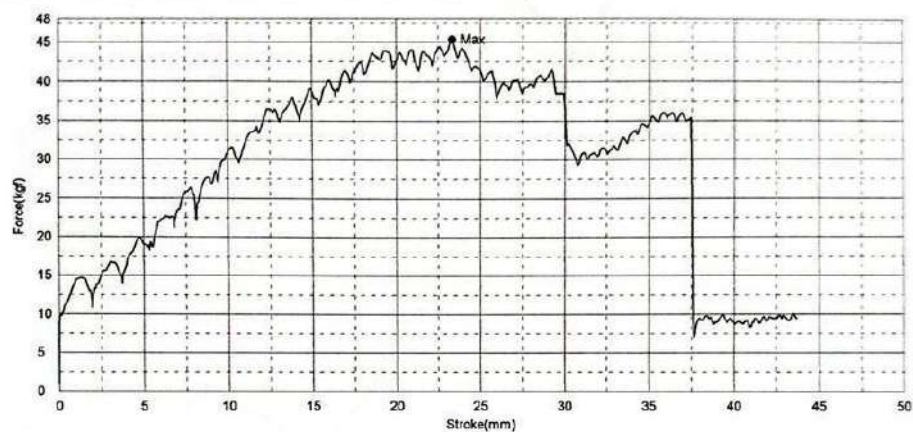
(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
H3	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
H3	45,31	,36248



Comment

Kadar air 15%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
 Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
 Project : Tugas Akhir
 Specimen: Peel-Off Test
 Material : Wood & FRP
 Weld process / Position / Welder : -
 Test Method : ASTM D903
 Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

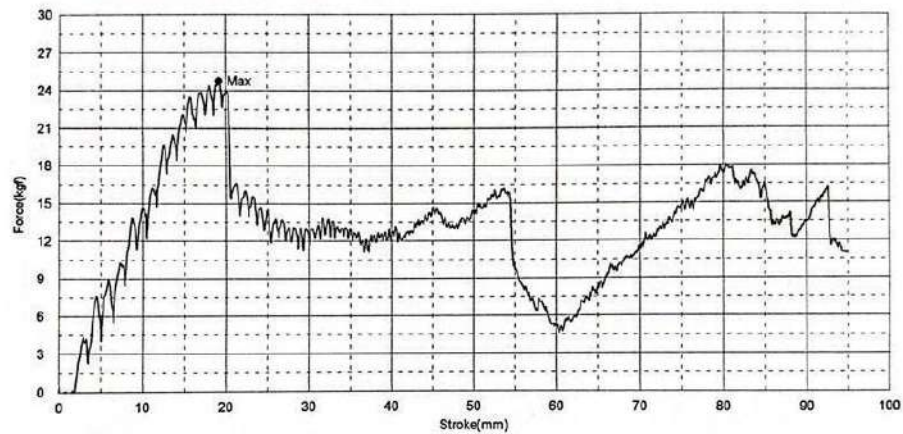

 (.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
J1	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
J1	24,74	,19792



Comment

Kadar air 20%

SPK No. : 27-VIPL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

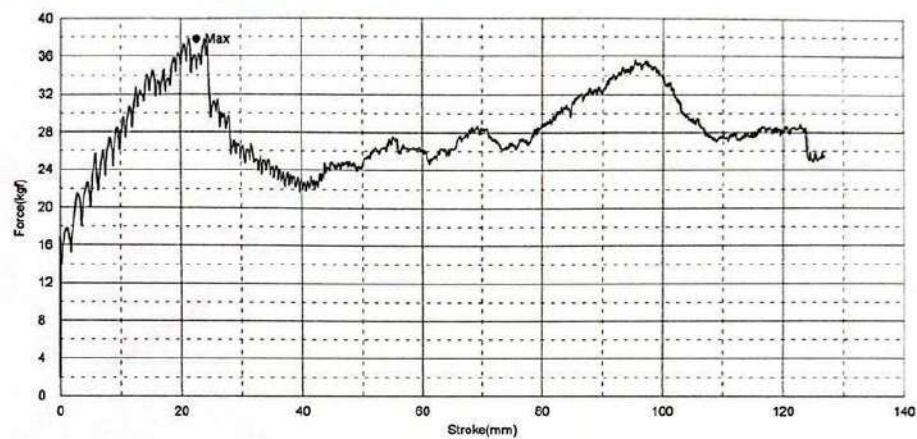

 (.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
J2	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
J2	37,82	,30256



Comment

Kadar air 20%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026
Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010
Project : Tugas Akhir
Specimen: Peel-Off Test
Material : Wood & FRP
Weld process / Position / Welder : -
Test Method : ASTM D903
Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026

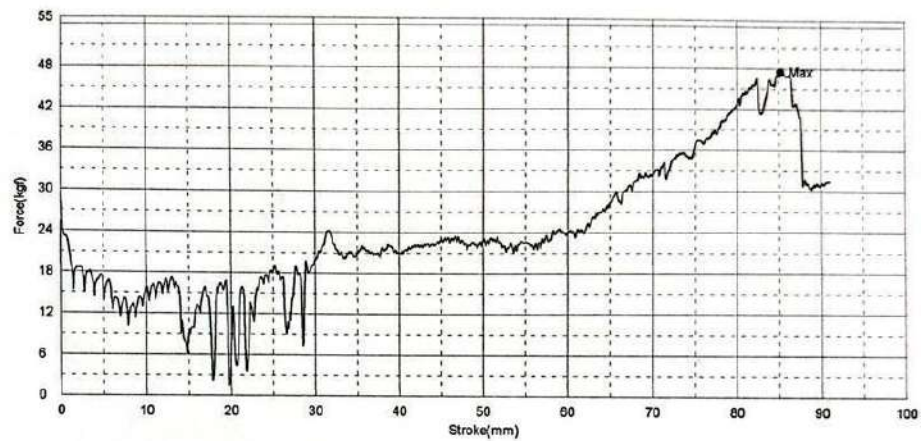
(.....)

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
J3	1,5000	25,0000	125,0000

Name	Max. Force	Peel Strength
Units	kgf	kgf/mm
J3	47,53	,38024



Comment

Kadar air 20%

SPK No. : 27-V/PL19/BJP/2026

Customer : M. Putra Wibi Nasrullah / 0223030010

Project : Tugas Akhir

Specimen: Peel-Off Test

Material : Wood & FRP

Weld process / Position / Welder : -

Test Method : ASTM D903

Ref. Code: -

Surabaya, June 26, 2026


 (.....)



LAMPIRAN 2
STANDARD ASTM D903



Designation: D903 – 98 (Reapproved 2010)

Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds¹

This standard is issued under the fixed designation D903; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the comparative peel or stripping characteristics of adhesive bonds when tested on standard-sized specimens and under defined conditions of pretreatment, temperature, and testing machine speed.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D907 Terminology of Adhesives

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Many terms used in this test method are defined in Terminology D907.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *flexible, n*—in this test method, indicates a material of the proper flexural strength and thickness to permit a turn back at an approximate 180° angle in the expected loading range of the test without failure. In order to fulfill all terms of the definition, at least one of the adhered materials must be flexible.

3.2.2 *peel or stripping strength, n*—the average load per unit width of bond line required to separate progressively one member from the other over the adhered surfaces at a separa-

tion angle of approximately 180° and at a separation rate of 152 mm (6 in.)/min. It is expressed in kilograms per millimetre (pounds per inch) of width.

4. Apparatus

4.1 *Testing Machine*—A power-driven machine, with a constant rate-of-jaw separation or of the inclination balance or pendulum type, which fulfills the following requirements:

4.1.1 The applied tension as measured and recorded is accurate within $\pm 1\%$.

4.1.2 Hold specimens in the testing machine by grips which clamp firmly and prevent slipping at all times.

4.1.3 The rate of travel of the power-actuated grip is 305 mm (12 in.)/min. This rate which provides a separation of 152 mm (6 in.)/min is to be uniform throughout the tests.

4.1.4 Operate the machine without any device for maintaining maximum load indication. In pendulum-type machines, the weight lever swings as a free pendulum without engagement of pawls.

4.1.5 The machine is autographic giving a chart having the inches of separation as one axis and applied tension as the other axis of coordinates.

4.1.6 The capacity of the machine is such that the maximum applied tension during test does not exceed 85 % nor be less than 15 % of the rated capacity.

4.2 *Conditioning Room or Desiccators*—A conditioning room capable of maintaining a relative humidity of $50 \pm 2\%$ at $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 2^\circ\text{F}$), or desiccators filled with a saturated salt solution (Note 1) to give a relative humidity of $50 \pm 2\%$ at $23 \pm 1^\circ\text{C}$ are required for the conditioning of some specimens.

NOTE 1—A saturated salt solution of calcium nitrate gives approximately 51 % relative humidity at the testing temperature.

5. Test Specimen

5.1 The test specimen, shown in Fig. 1(a), consists of one piece of flexible material, 25 by 304.8 mm (1 by 12 in.), bonded for 152.4 mm (6 in.) at one end to one piece of flexible or rigid material, 25 by 203.2 mm (1 by 8 in.), with the unbonded portions of each member being face to face.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D14 on Adhesives and is the direct responsibility of Subcommittee D14.80 on Metal Bonding Adhesives.

Current edition approved Oct. 1, 2010. Published October 2010. Originally approved in 1946. Last previous edition approved in 2004 as D903 – 98 (2004). DOI: 10.1520/D0903-98R10.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

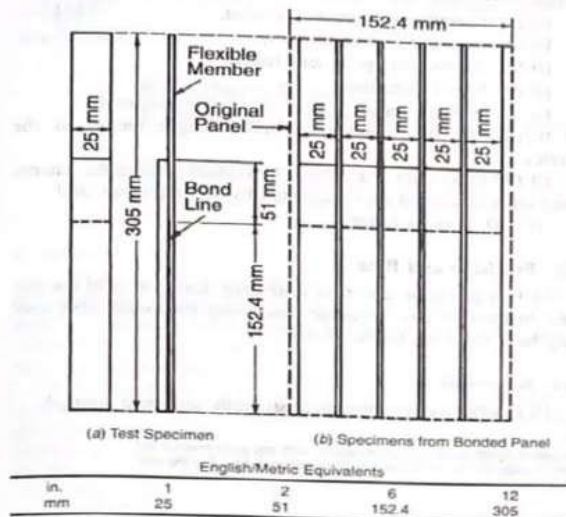


FIG. 1 Test Specimen

5.2 In order to maintain a separation rate of 152.4 mm (6 in.)/min the specimen is to be relatively nonextensible in the expected loading range. Where a material is sufficiently extensible to lessen radically the separation rate, back it up with a suitable nonextensible material. In reporting such a test, completely identify the backing material and method.

5.3 Test materials are to be thick enough to withstand the expected tensile pull but not over 3 mm ($\frac{1}{8}$ in.) in thickness. Wherever possible, the standard thickness of specimens is: metals, 1.6 mm ($\frac{1}{16}$ in.); plastics, $\frac{1}{16}$ in.; woods, $\frac{1}{8}$ in.; rubber compounds, 1.9 mm (0.075 in.); and cotton duck, 627.4 gm/m² (30 oz/yd²). Other special materials, as well as the standard materials, are to be completely identified in the test report as specified in Section 10.

5.4 Test at least ten test specimens for each adhesive.

5.5 Discard any specimen whose test result is out of line due to some obvious flaw and retest.

6. Preparation of Test Specimen

6.1 Precondition or prepare the surface of the area to be bonded in accordance with the recommendations of the manufacturer of the adhesive.

6.2 Bond the specimens in accordance with the procedure and recommendations as outlined by the manufacturer of the adhesive.

6.3 While individual specimens may be prepared, it is recommended that specimens be cut from bonded panels approximately 152.4 mm (6 in.) in width as shown in Fig. 1(b), so that five standard 25-mm (1-in.) wide specimens are obtained from each panel.

7. Conditioning

7.1 Condition all specimens for 7 days by exposure to a relative humidity of $50 \pm 2\%$ at $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 2^\circ\text{F}$) or until equilibrium is reached, except where the adhesive manufacturer may specify such an aging period to be unnecessary or a shorter period to be adequate.

7.2 Special conditioning procedures may be used by agreement between the purchaser and the manufacturer.

8. Procedure

8.1 Conduct the test as soon as possible after removing the test specimens from the conditioning atmosphere and preferably under the same conditions.

8.2 Separate the free end of the 25-mm (1-in.) wide flexible member by hand from the other member for a distance of about 1 in. Place the specimen in the testing machine by clamping the free end of the 8-in. long member in one grip, turning back the free end of the flexible member and clamping it in the other grip as shown in Fig. 2. Attach the separated end of the specimen, with all separate parts except the one under test securely gripped, to the recording head by means of a clamp using care to adjust it symmetrically in order that the tension is distributed uniformly. Maintain the specimen during the test approximately in the plane of the clamps. This may be done either by attaching the minimum weight required to the free end of the specimen or by holding the specimen against an alignment plate (Fig. 2) attached to the stationary clamp. In either case, take into account the added weight in determining the load causing separation. Grip the 1-in. wide flexible member symmetrically and firmly without twisting in the power-actuated clamp. Adjust the autographic mechanism and chart to zero and start the machine. Strip the separating member from the specimen approximately at an angle of 180° and continue the separation for a sufficient distance to indicate the peel or stripping value. Peel at least one half of the bonded area, even though a peel or stripping value may be indicated before this point.

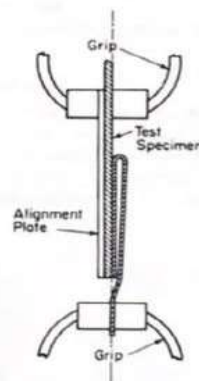


FIG. 2 Specimen Under Test



9. Calculation

9.1 Determine the actual peel or stripping strength by drawing on the autographic chart the best average load line that will accommodate the recorded curve. Report the load so indicated, corrected for any tare weight which may have been used with the specimen as described in 8.2 expressed in kilograms per millimetre (pounds per inch) of width for separation at 152.4 mm (6 in.)/min, as the peel or stripping strength for the particular specimen under test.

9.2 For each series of tests, calculate the arithmetic mean of all the values, obtained and report as the "average value."

10. Report

10.1 Report the following:

10.1.1 Complete identification of the adhesive and specimen tested, including types, source, manufacturer's code numbers, form, etc.,

10.1.2 Method of preparing test specimens, including mixing and dispensing of adhesive,

10.1.3 Conditioning procedure used,

10.1.4 Testing room conditions,

10.1.5 Number of specimens tested,

10.1.6 Speed of testing,

10.1.7 Average value of peel or stripping strength,

10.1.8 Maximum and minimum strength values of the series,

10.1.9 Individual test values, individual autographic charts, and other statistical data requested by the purchaser, and

10.1.10 Type of failure.

11. Precision and Bias

11.1 A precision and bias statement does not exist for this test method because resources necessary for round-robin testing have not been forthcoming.

12. Keywords

12.1 adhesive bonding; peel strength; stripping strength

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT/).

BIOGRAFI PENULIS



DATA DIRI

Nama : Muhammad Putra Wibi Nasrullah
NRP : 0223030010
Program Studi : D3 – Teknik Bangunan Kapal
Tempat, Tanggal Lahir : Surabaya, 13 April 2005
Alamat : Gresik, Jawa Timur
Agama : Islam
Nomor Telepon : +62 895803097152
Email : muhammadputra13@student.ppns.ac.id

RIWAYAT PENDIDIKAN

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (2023-2026)
SMA Negeri 1 Cerme (2020-2023)
SMP Negeri 1 Menganti (2017-2020)
SD Negeri Hendrosari (2011-2017)