

**PERILAKU TARIK DAN LENTUR KOMPOSIT BERMATRIKS
EPOKSI YANG DIPERKUAT DENGAN HIBRIDISASI SERAT
RAMI DAN SERAT KACA**

*TENSILE AND FLEXIBLE BEHAVIOR OF EPOXY MATRIX
REINFORCED COMPOSITES HYBRIDISED BY RAMIE FIBER AND
GLASS FIBER*

Tugas Akhir
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S - 1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

**AHMAD HATAMI
F1A019004**

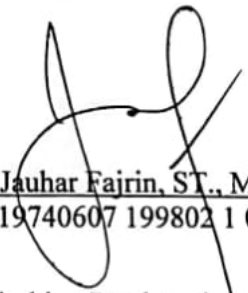
**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM
2023**

Tugas Akhir

**PERILAKU TARIK DAN LENTUR KOMPOSIT BERMATRIKS
EPOKSI YANG DIPERKUAT DENGAN HIBRIDISASI SERAT
RAMI DAN SERAT KACA**

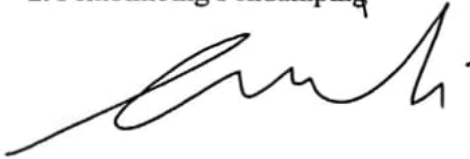
Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing:

1. Pembimbing Utama


Prof. Jauhar Fajrin, ST., MSc (Eng), Ph.D
NIP. 19740607 199802 1 001

Tanggal: 10 November 2023

2. Pembimbing Pendamping


Ir. Miko Eniarti, MT.
NIP. 19650315 199103 2 002

Tanggal: 10 November 2023

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Hariyadi, R. Msc.(Eng)., Dr. Eng.
NIP. 19731027 199802 1 001

Tugas Akhir

**PERILAKU TARIK DAN LENTUR KOMPOSIT BERMATRIKS
EPOKSI YANG DIPERKUAT DENGAN HIBRIDISASI SERAT
RAMI DAN SERAT KACA**

Oleh:

**Ahmad Hatami
(F1A 019 004)**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 8 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat
Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil

Susunan Tim Penguji


1. Penguji I



Prof. Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19760804 200003 2 001

Tanggal: /0 November 2023


2. Penguji II



Aryani Rofaida, ST., MT.
19660729 199403 2 001

Tanggal: /0 November 2023

3. Penguji III



Dr. Ngudiyono, ST., MT.
NIP. 19740505 199903 1 003

Tanggal: /0 November 2023

Mataram, 14 November 2023

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Muhammad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19720222 199903 1 002

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini


Nama : Ahmad Hatami
NIM : F1A 019004
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Mataram

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir yang telah saya buat dengan judul: "Perilaku Tarik dan Lentur Komposit Bermatriks Epoxy yang Diperkuat dengan Hibridisasi Serat Rami dan Serat Kaca" adalah asli (orisinil) atau tidak plagiat (menjiplak) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan di manapun dan dalam bentuk apapun.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun juga. Apabila kemudian hari ternyata saya memberikan keterangan palsu dan atau ada pihak lain yang mengklaim bahwa tugas akhir yang telah saya buat adalah hasil karya milik seseorang atau badan tertentu, saya bersedia diproses baik secara pidana maupun perdata dan kelulusan saya dari Universitas Mataram dicabut/dibatalkan.

Dibuat di : Mataram
Pada Tanggal : /o November 2023

Yang menyatakan,



Ahmad Hatami

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Perilaku Tarik dan Lentur Komposit Bermatriks Epoksi yang Diperkuat dengan Hibridisasi Serat Rami dan Serat Kaca”. Tugas akhir ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Mataram untuk pengujian kuat tarik dan kuat lentur. Dimana tugas akhir ini telah disusun dan selesai untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik pada Universitas Mataram.

Dalam penyusunan penulis menyadari akan kemampuan dan keterbatasan pengetahuan serta pengalaman penulis sehingga di dalam usulan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menyempurnakan isi dari tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembacanya.

Mataram, November 2023

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat rahmat dan karunia Allah SWT serta bantuan dan dorongan baik moril maupun materil berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang setulus-tulusnya terutama kepada:

1. Bapak Muhamad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
2. Bapak Hariyadi, ST., MSc(Eng)., Dr. Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
3. Bapak Agus Suroso, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Jauhar Fajrin, ST., MSc(Eng)., Ph.D., sebagai dosen pembimbing yang dengan bijaksana selalu membimbing serta memberi arahan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Ir. Miko Eniarti, MT. sebagai dosen pembimbing pendamping yang selalu membimbing penulis dan memberikan arahan dalam Tugas Akhir ini.
6. Ibu Prof. Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D., sebagai dosen penguji I.
7. Ibu Aryani Rofaida, ST., MT., sebagai dosen penguji II.
8. Bapak Ngudiyono ST., MT., sebagai dosen penguji III.
9. Orang tua penulis, Bapak Hairun dan Ibu Asnah yang secara langsung maupun tidak langsung sudah memberikan segala bentuk dukungan, kasih sayang, pengertian, pengorbanan, motivasi serta do'a dan menjadi alasan penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Saudari-saudari penulis, Kakak Winda Wati, Adik Putri Amelia Agustin dan Adik Alya Putri Azzahra yang selalu memberikan dukungan serta do'a.
11. Sahabat penulis yang selalu menemani dan selalu ada dalam segala keadaan dari awal perkuliahan hingga berakhirnya perkuliahan di jurusan teknik sipil,
12. Teman-teman seperjuangan angkatan 19. Semoga selalu diperlancar perjalanan menuju kesuksesan.

Semoga Allah *subhanahu wa ta'ala* membalas segala kebaikan, bantuan, dan dukungan yang diberikan kepada penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
PRAKATA.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR PERSAMAAN	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Komposit	6
2.2.2 Kelebihan Bahan Komposit	10
2.2.3 Komposit Hybrid	11
2.2.4 Serat	12
2.2.5 Serat Kaca.....	12
2.2.6 Serat Rami	13
2.2.7 Matrik	14
2.2.8 Resin Epoksi	15
2.2.9 Hand Lay Up	16

2.2.10 Penguian Tarik	17
2.2.11 Pengujian Bending	18
2.2.12 Uji Statistik	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir Pelaksanaan	23
3.2 Lokasi Penelitian.....	24
3.3 Persiapan Penelitian	24
3.4 Benda Uji	24
3.5 Bahan Penelitian.....	26
3.6 Alat Penelitian.....	26
3.6.1 Alat Pembuatan Komposit.....	26
3.6.2 Alat Pengujian	27
3.7 Proses Pembuatan Benda Uji	28
3.7.1 Proses Sebelum Percetakan	28
3.7.2 Proses Percetakan	28
3.7.3 Proses Setelah Percetakan.....	29
3.8 Pengujian Kuat Tarik	29
3.9 Pengujian Kuat lentur.....	30
3.10 Analisa Statistik	32
3.10.1 Analisis Data dengan Metode T-test.....	32
3.10.2 Analisis Data dengan Metode F-test.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Hasil Pengujian Benda Uji	39
4.1.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik	39
4.1.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur	43
4.2 Analisa Statistik Dengan Software Minitab.....	50
4.2.1 Pengaruh Hibridisasi Komposit Berdasarkan Uji T	50
4.2.2 Pengaruh Hibridisasi Komposit Berdasarkan Uji F (ANOVA)	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat –sifat mekanis serat.....	14
Tabel 2.1 Karakteristik Matriks Dengan <i>Polyester</i> dan <i>Epoxy</i>	15
Tabel 3.1 Benda Uji Pada Pengujian Tarik.....	25
Tabel 3.1 Benda Uji Pada Pengujian Lentur.....	25
Tabel 4.1 S Nilai daktilitas	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sifat-sifat komposit	7
Gambar 2.2 Ilustrasi Pembentukan Komposit	8
Gambar 2.3 Ilustrasi Pembentukan Komposit	9
Gambar 2.4 Tipe komposit <i>hybrid</i>	11
Gambar 2.5 Tipe arah serat	12
Gambar 2.6 Struktur dasar resin epoksi	16
Gambar 2.7 Metode hand lay up	16
Gambar 2.8 Ilustrasi gaya yang bekerja pada pengujian tarik	17
Gambar 2.9 Ilustrasi gaya yang bekerja pada pengujian lentur	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2 Benda uji tarik	24
Gambar 3.3 Benda uji lentur	25
Gambar 3.4 <i>Electromechanall Universal Testing Machine</i>	28
Gambar 3.5 Skematik alat pengujian tarik	30
Gambar 3.6 Ilustrasi pembebanan pengujian lentur	31
Gambar 3.7 Skematik alat pengujian lentur	31
Gambar 3.8 Entry Data Minitab	33
Gambar 3.9 Membuka Opsi 2 Sampel t	33
Gambar 3.10 Memasukan Data	34
Gambar 3.11 Mamasukan Taraf Kepercayaan	34
Gambar 3.12 Hasil T-test	35
Gambar 3.13 Entry Data Minitab	36
Gambar 3.14 Membuka Opsi ANOVA One-way	36
Gambar 3.15 Memasukan Data	37
Gambar 3.16 Mamasukan Taraf Kepercayaan	37
Gambar 3.17 Memilih Tukey	38
Gambar 3.18 Hasil T-test	38
Gambar 4.1 Perbandingan beban pengujian tarik	39
Gambar 4.2 Perbandingan elongation pengujian tarik	40
Gambar 4.3 Perbandingan tegangan tarik	40

Gambar 4.4 Perbandingan modulus elastisitas tarik.....	41
Gambar 4.5 Hubungan tegangan dan regangan kuat tarik.....	42
Gambar 4.6 Perbandingan beban pengujian lentur.....	43
Gambar 4.7 Perbandingan defleksi pengujian lentur.....	43
Gambar 4.8 Perbandingan tegangan lentur.....	46
Gambar 4.9 Perbandingan tegangan geser.....	46
Gambar 4.10 Perbandingan modulus elastisitas lentur.....	47
Gambar 4.11 Hubungan antara tegangan dan regangan kuat lentur.....	47
Gambar 4.12 Hubungan antara tegangan dan regangan kuat lentur sampel LA1	49
Gambar 4.12 Nilai T-tabel berdasarkan distribusi T-Statistic	51
Gambar 4.13 Hasil T-test kuat Tarik	52
Gambar 4.14 Hasil T-test kuat lentur.....	52
Gambar 4.15 Nilai F-tabel berdasarkan distribusi F-Statistic.....	53
Gambar 4.16 Hasil F-test kuat Tarik	53
Gambar 4.17 Hasil F-test kuat lentur.....	54
Gambar 4.18 Hasil uji tukey tarik.....	54
Gambar 4.19 Hasil uji tukey lentur.....	55

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Tegangan Tarik.....	17
Persamaan 2.2 Regangan Tarik	17
Persamaan 2.3 Tegangan Lentur.....	18
Persamaan 2.4 Tegangan Geser	18
Persamaan 2.5 Regangan Lentur	19
Persamaan 2.6 Model statistik dari uji T	19
Persamaan 2.7 Hipotesis nol.....	20
Persamaan 2.8 Hipotesis alternatif.....	20
Persamaan 2.9 T hitung	20
Persamaan 2.10 Standar deviasi	20
Persamaan 2.11 Membandingkan T hitung dengan T tabel	21
Persamaan 2.12 Model statistik dari uji F.....	21
Persamaan 2.13 Hipotesis nol.....	21
Persamaan 2.14 Hipotesis alternatif	21
Persamaan 2.15 <i>Total corrected sum of squares</i>	21
Persamaan 2.16 <i>Sum squares due to treatments</i>	21
Persamaan 2.17 <i>Mean square for treatment</i>	22
Persamaan 2.18 <i>Error mean square</i>	22
Persamaan 2.19 F_{hitung}	22
Persamaan 2.20 Membandingkan T hitung dengan T tabel	22

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisa Perhitungan	62
Lampiran 1.1	63
Lampiran 1.2.....	64
Lampiran 1.3.....	65
Lampiran 1.4.....	66
Lampiran 1.5.....	68
Lampiran 2. Tabel Dan Grafik Hasil Analisa	70
Lampiran 2.1. Hasil pengujian kuat tarik komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca.....	71
Lampiran 2.2. Hasil pengujian kuat lentur komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca.....	72
Lampiran 2.3. Grafik hasil pengujian kuat tarik komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca.....	73
Lampiran 2.4. Grafik hasil pengujian kuat lentur komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca	83
Lampiran 3. Dokumentasi	93
Lampiran 3.1 Dokumentasi Pembuatan komposit	94
Lampiran 3.2 Dokumentasi pengujian kuat tarik komposit.....	95
Lampiran 3.3 Dokumentasi pengujian kuat lentur komposit.....	97

ABSTRAK

Seiring dengan kemajuan zaman meningkat pula kesadaran manusia terhadap lingkungan, dengan memanfaatkan material alam untuk membuat produk komponen bangunan dalam bentuk komposit serat. Hal ini dikarenakan komposit dinilai mempunyai keunggulan dibandingkan dengan bahan alternatif lainnya. Beberapa penelitian juga mengkombinasikan material yang digunakan, seperti material serat yang digunakan tidak lagi satu serat melainkan dicoba mengkombinasikan dua atau lebih serat atau disebut hibridisasi serat yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari material komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh hibridisasi komposit serat rami dan serat kaca terhadap sifat mekanik. Benda uji dibuat dengan metode *hand lay up* menggunakan lima jenis variasi proporsi, selanjutnya tiap komposit dipotong menjadi spesimen sesuai standar ASTM D-3039 untuk uji tarik dan ASTM D-790 untuk uji lentur. Kemudian dilakukan analisis data dengan uji statistik menggunakan software minitab, untuk mengetahui tingkat pengaruh atau signifikansi dari komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca. Hasil penelitian pengujian sifat mekanik diperoleh kekuatan tarik untuk sampel TA, TB, TD, dan TE berturut-turut sebesar 21,63 MPa., 39,13 Mpa., 41,54 MPa., 55,98 MPa., dan 94,35 MPa. Sedangkan untuk kuat lentur sampel LA, LB, LD, dan LE berturut-turut sebesar 59, 89 MPa., 119,78 Mpa., 122,89 MPa., 204,08 MPa., dan 256,12 MPa. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan lentur komposit relatif naik seiring dengan bertambahnya volume serat kaca. Kemudian hasil dari uji statistik yang dilakukan didapatkan hasil bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara komposit serat rami dan komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca.

Kata kunci: Komposit, Hibridisasi, Serat, Sifat Mekanik, Uji Statistik

ABSTRACT

As time progresses, human awareness of the environment also increases, by utilizing natural materials to make building component products in the form of fiber composites. This is because composites are considered to have advantages compared to other alternative materials. Some research also combines the materials used, such as the fiber material used is no longer one fiber but tries to combine two or more fibers or what is called fiber hybridization which aims to determine the strength of the composite material. This research aims to determine the effect of hybridization of hemp fiber and glass fiber composites on mechanical properties. Test specimens were made using the hand lay up method using five types of proportion variations, then each composite was cut into specimens according to ASTM D-3039 standards for tensile tests and ASTM D-790 for flexural tests. Then data analysis was carried out using statistical tests using Minitab software, to determine the level of influence or significance of the hybridized composite of hemp fiber and glass fiber. The results of the mechanical properties testing research showed that the tensile strength for TA, TB, TD, and TE samples was 21.63 MPa, 39.13 MPa, 41.54 MPa, 55.98 MPa, and 94.35 respectively. MPa. Meanwhile, the flexural strength of the LA, LB, LD, and LE samples were 59, 89 MPa, 119.78 MPa, 122.89 MPa, 204.08 MPa, and 256.12 MPa, respectively. From the test results it can be concluded that the relative flexural strength value of the composite increases with increasing glass fiber volume. Then the results of the statistical tests carried out showed that there was a significant difference between the hemp fiber composite and the hybridized composite of hemp fiber and glass fiber

Keywords: Hybrid Composite, Fiber, Mechanical Properties, Statistical Testing

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan zaman meningkat pula kesadaran manusia terhadap lingkungan, dengan memanfaatkan material alam untuk membuat produk komponen bangunan dalam bentuk komposit serat. Keuntungan mendasar yang dimiliki serat alam adalah jumlahnya melimpah, memiliki harga yang rendah, dapat diperbaharui (*renewable*) dan didaur ulang serta tidak mencemari lingkungan. Komponen-komponen bangunan yang saat ini sudah dikembangkan dalam bentuk komposit antara lain kusen, penutup atap dan material interior lainnya. Hal ini dikarenakan komposit dinilai mempunyai keunggulan dibandingkan dengan bahan alternatif lainnya. Beberapa keunggulan tersebut diantaranya komposit bersifat kaku, kuat, tahan korosi, ringan dan ekonomis. Sampai saat ini penelitian juga masih dilakukan guna untuk menemukan komposisi terbaik untuk digunakan dalam waktu berkelanjutan. Beberapa penelitian juga kombinasikan material yang digunakan, seperti material serat yang digunakan tidak lagi satu serat melainkan dicoba kombinasikan dua atau lebih serat atau disebut hibridisasi serat yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari material komposit.

Komposit adalah penyusunan atau penggabungan dua material atau lebih yang mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda yang akan menjadi satu material yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda pula. Menurut Matthews dkk. (1993) dalam Widodo (2008), komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda.

Serat secara umum terdiri dari dua jenis, yaitu serat sintesis dan serat alam. Serat sintesis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintesis yang telah banyak digunakan antara lain serat gelas, serat karbon dll. Serat alam adalah serat alami (*natural fiber*) adalah serat yang berasal dari tumbuhan atau hewan yang bersulur-sulur seperti benang. Untuk mendapatkan bentuk serat diperlukan beberapa proses tergantung pada karakter bahan dasarnya. Serat dari tumbuhan antara lain pelepah pisang, enceng gondok, dan rami. Sedangkan serat dari hewan misalnya wool, sutra dan bulu burung.

Serat kaca (*fiberglass*) adalah salah satu jenis bahan fiber komposit yang memiliki keunggulan yaitu kuat dan tetap ringan. Walaupun tidak sekaku dan seringan bahan serat karbon (*fiber carbon*). Fiberglass lebih ulet dan relatif murah di pasaran . Fiberglass biasa digunakan untuk bahan pembuatan pesawat terbang, perahu, bodi atau interior mobil. (Aeroengineeringg, 2017).

Serat rami (*Boehmeria Nivea Gaud*) merupakan salah satu jenis tanaman penghasil serat yang tinggi dan memiliki karakteristik mirip kapas. Rami termasuk tanaman yang bisa tumbuh dengan mudah di berbagai kondisi lahan. Serat ini banyak digunakan untuk tali-temali dan juga untuk pembuatan tali ikan, jala, sapu, keset serta produk kerajinan komersial yang lain karena sifatnya yang kuat, tidak mulur dan tahan terhadap air. Dengan adanya komposit serat, rami dapat di manfaatkan dalam dunia konstruksi.

Beberapa penelitian terkait degan komposit serat alam sudah banyak dilakukan seperti jenis serat yang digunakan, pengaruh fraksi volume, dan penambahan dua jenis serat penguat. Yahaya *et, al.* (2014) melakukan penelitian terhadap Komposit hybrid dengan metode manufaktur hand lay up menawarkan solusi pengurangan material sintetis yang tidak ramah lingkungan tetapi tetap memiliki kekuatan yang baik terhadap beban pada struktur komposit. Alavudeen *et, al.* (2015) meneliti sifat-sifat mekanis dari 2 jenis serat alami yaitu serat pisang dan serat kenaf. Serat dibuat spesimen dengan ukuran 300mm X 300mm X 4mm dengan orientasi acak (*random*) dan orientasi yang terstruktur yaitu anyaman (*plain weave*). Beberapa penelitian terdahulu mengkombinasikan serat alam dengan serat sintetis seperti serat kaca untuk mengurangai serapan air komposit. Proses kombinasi serat dinamakan dengan hibridisasi serat atau *hybrid fiber*. Pada penelitian ini akan menggunakan serat rami dan serat kaca, dimana serat rami memiliki kekuatan yang rendah namun bersifat daktil, sedangkan serat kaca memiliki kekuatan yang besar namun bersifat getas. Dengan melakukan hibridisasi serat rami dan serat kaca ini diharapkan menghasilkan material yang kuat dan bersifat daktil.

Berdasarkan pembahasan di atas, maka penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui perilaku tarik dan lentur komposit bermatriks epoksi yang diperkuat dengan hibridisasi serat rami dan serat kaca. Jenis matrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah polimer yang berjenis epoksi dan diperkuat dengan serat rami yang di kombinasikan dengan serat kaca

1.2 Rumusan Masalah

Untuk memudahkan penelitian maka dirumuskan permasalahan berdasarkan latar belakang di atas sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca terhadap kekuatan tarik dan lentur ?
2. Bagaimana pengaruh komposit hibridisasi serat berdasarkan analisa statistik ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian dirumuskan berdasarkan dari rumusan masalah di atas tersebut adalah

1. Untuk mengetahui perilaku komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca terhadap kekuatan tarik dan lentur.
2. Untuk mengetahui pengaruh komposit hibridisasi serat berdasarkan analisa statistik.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang perumusan masalah di atas maka penelitian ini mengacu pada :

1. Pembuatan benda uji komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca dengan metode hand lay up.
2. Pengujian komposit hybrid serat kaca dan serat rami di lakukan dengan cara uji tarik dan lentur.
3. Serat rami dan serat kaca yang digunakan yaitu dengan cara di acak dan dipotong dengan ukuran 3cm..
4. Ukuran benda uji dan pengujian di lakukan berdasarkan ASTM.
5. Analisis data dengan uji statistik menggunakan softwere Minitab.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tersebut adalah

1. Mengetahui pemanfaatan serat alam yang dapat digunakan sebagai bahan komposit dalam bidang konstruksi.
2. Menambah pengetahuan tentang material komposit dengan konsep yang ramah lingkungan.
3. Menambah nilai pemanfaatan serat alam rami sebagai material komposit ramah lingkungan.
4. Bisa dijadikan acuan dalam pemilihan material konstruksi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Komposit mengalami perkembangan yang sangat pesat di bidang rekayasa dan semakin luas pemanfaatannya dalam pembuatan suatu material komposit di bidang konstruksi seperti kusen, penutup atap, plat lantai bahkan komponen jembatan pra-cetak. Komposit di bedakan menjadi 2 menurut bahan penguatnya yang digunakan yaitu serat alam dan serat sintetis. Pengembangan dan penelitian material yang berbasis komposit serat alam ini terus di lakukan termasuk dalam hal meningkatkan kinerja jangka panjangnya. Sari dkk. (2011) meneliti tentang ketahanan bending komposit hybrid serat batang kelapa/serat gelas dengan matrik urea formaldehide. Hasil penelitian di dapat bahwa kekuatan bending komposit hybrid tertinggi pada variasi fraksi volume serat batang kelapa 10% dan serat gelas 20% yaitu rata-rata sebesar 22,7 N/mm².

Disisi lain Yudhando dkk.,(2016) melakukan penelitian karakterisasi kekuatan tarik komposit hybrid lamina serat anyam sisal (S) dan gelas (FG) di perkuat polyester. Pembuatan produk komposit *hibrid* dengan metode *press mold* dengan menggunakan dua jenis serat yaitu serta gelas (*woven glass fiber* atau *fabric*) dan anyaman serat sisal *hibrid* kemudian dibuat dengan komposisi 3 lapisan material penguat (*3-layer reinforcement*) yang kemudian dibasahi dengan resin alu di press menggunakan dua alat press berkekuatan 2 ton. Panel yang sudah jadi berukuran p x l x t 20 x 10 x 3.5 mm. Kemudian dibentuk menjadi spesimen uji tarik mengacu ke standar ASTM D3039. Setelah dilakukan pengujian tarik dapat diketahui bahwa serat *agave sisalan* yang sudah dianyam bersifat ulet dan tidak getas serta cenderung memiliki regangan yang relatif tinggi. Jenis patahan juga menunjukkan arah keuletan yang tinggi yaitu bentuk patahan di dominasi oleh *fiber full out*.

Wijaya dan Hidayat, (2022) melakukan penelitian tentang pengaruh fraksi volume serat pada komposit hibrid serat tebu dan serat sabut kelapa terhadap kekuatan tarik, dalam penelitiannya mengacu pada ASTM D3039 dengan dimensi spesimen 250 x 25 x 2,5 mm. Pembuatan komposit menggunakan metode *hand layu up* dengan fraksi volume matrik 60% dan dengan perbandingan serat tebu (T) dan serat sabut kelapa (K) adalah T12%:K28%, T20%:K20%, dan T28%:K12%. Setelah dilakukannya pengujian

didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada variasi T20%:K20%, dan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada variasi T12%:K28%.

Paundra dkk., (2022) Melakukan analisis kekuatan tarik komposit hybrid berpenguat serat batang pisang kepok dan serat pinang. Serat alam yang digunakan dalam penelitian adalah serat batang pisang kepok (*Musa Paradisiaca*) dan serat pinang (*Areca Catehulu L*), Sedangkan resin yang digunakan adalah polyester Yukalac C-108B. Serat alam di rendam pada larutan alkali selama 2%, Hal ini bertujuan untuk menghilangkan lighnin dan kotoran pada permukaan serat. Pembuatan komposit menggunakan metode compression molding dengan cetakan berukuran 20 x 25 x 5 mm. Penekanan dilakukan pada tekanan 6 Bar selama 24 jam. Penekanan bertujuan untuk menghilangkan gelembung udara yang terjebak dalam komposit. Hasil pengujian penambahan fraksi volume serat batang pisang kepok (*Musa Paradisiaca*) secara keseluruhan mendapatkan penambahan kekuatan tarik komposit *hybrid* berpenguat serat batang pisang kepok (*Musa Paradisiaca*) dan serat pinang (*Areca Catechu L*). Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada fraksi volume 15% serat batang pisang kepok dan 15% serat pinang sebesar 16,33 Mpa, dan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada fraksi volume 0% serat batang pisang kepok dan 30% serat pinang sebesar 5,81 Mpa.

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Komposit

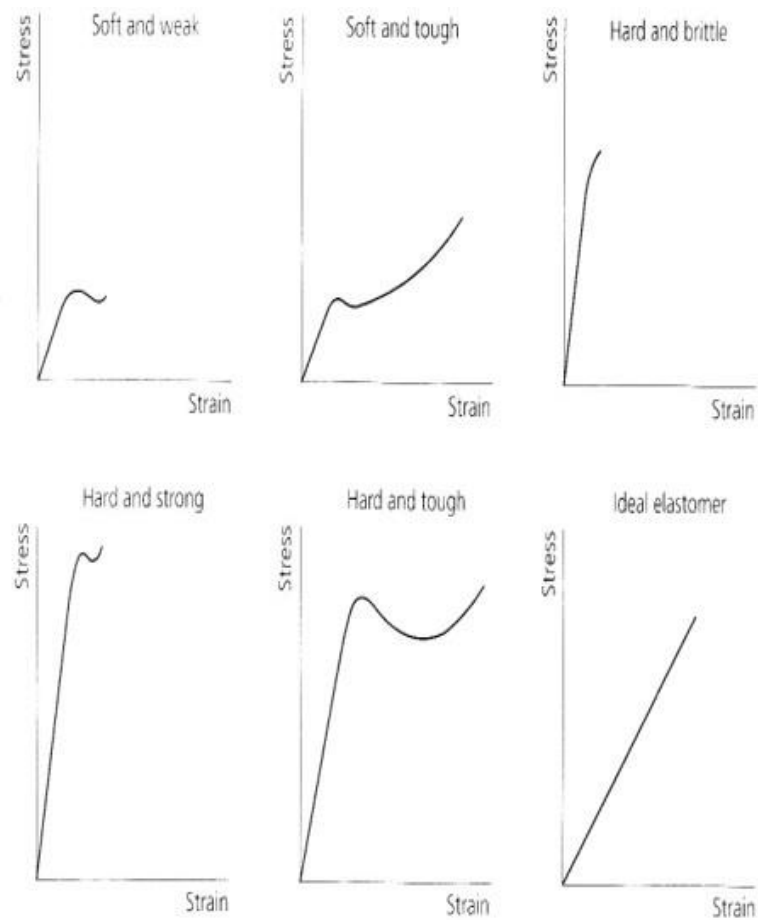
Komposit berasal dari kata “*to compuse*” artinya menggabungkan. Penggabungan dua atau lebih material yang memiliki karakteristik yang berbeda dan membentuk material baru pada skala makroskopis disebut dengan komposit. Penggabungan pada komposit secara makro masih bisa di lihat untur matriknya dan seratnya. Material baru di bentuk oleh dua atau lebih material penyusunnya melalui penggabungan yang berbeda karakteristiknya disebut dengan komposit, kedua material di gabungkan secara tidak homogen dan memiliki sifat mekanik yang berbeda

Komposit merupakan perpaduan dari dua material atau lebih yang memiliki fase yang berbeda menjadi suatu material yang baru dan memiliki properties lebih baik dari keduanya. Komposit menjadi bahan alternatif pengganti bahan logam, hal ini

disebabkan sifat dari komposit yang kuat dan lebih ringan di bandingkan logam. (Fahmi 2011).

Karakteristik komposit sangat kuat di pengaruhi oleh penyusunnya, distribusi dan intraksinya. Lebih spesifik, juga di pengaruhi oleh geometri dari penguatnya, dimana geometri itu merupakan bentuk ukuran dan distribusi ukurannya. Semua hal ini kemudian di kembangkan untuk menaikkan karakteristik mekaniknya seperti kekuatannya, kekakuan, peforma terhadap panas dan lainnya (Sirait, 2010)

Keuntungan dari penggunaan komposit sendiri adalah bobotnya yang ringan serta mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik, biaya produksi lebih murah, umur pemakaian yang lama dan tahan terhadap korosi. Hal demikian harus diperhatikan karena pada komposit yang di perkuat agar dapat membentuk produk yang efektif, disamping itu juga harus ada ikatan permukaan yang lebih kuat antara komponen penguat dan matarik (Djaprie, 1993).



Gambar 2.1 Sifat-Sifat Komposit
Sumber: (Engineering materials RL Timings 1998)

Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material tersebut untuk di arahkan sehingga kekuatannya dapat di atur hanya pada arah tertentu yang kita kehendaki, hal ini dinamakan “*tailoring propertice*” dan ini adalah salah sifat istimewa yang komposit yaitu ringan, kuat, dan tidak terpengaruh korosi. Dan mampu bersaing dengan logam dengan tidak kehilangan karakteristik dan kekuatan mekanisnya

Seperti yang kita ketahui komposit adalah penggabungan antara dua macam jenis material atau lebih dengan fase yang berbeda. Dari penggabungan ini, maka akan menghasilkan suatu bahan untuk kerja (*performance*) yang dapat lebih baik dari fase-fase awal sebagai penyusunnya, dan dapat dilihat pada gambar 2.2

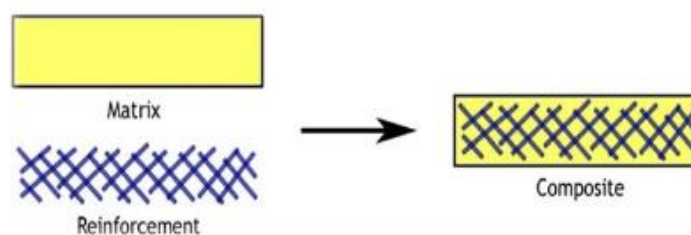
Adapun bahan-bahan penyusun komposit, yaitu:

1. Phase pertama (*Matriks*)

Matrik adalah bahan utama dalam penyusunan komposit yang berfungsi sebagai pengikat secara bersama-sama, selain itu matrik juga berfungsi sebagai pelindung serat dari kerusakan eksternal, pelindung terhadap keausan, goresan dan zat kimia ganas, penerus gaya dari satu serat ke serat lain.

2. Phase kedua (*Reinforcement*)

Pase kedua ini sangat penting dalam penyusunan komposit yaitu sebagai penguat (*reinforcement agent*) fase ini berupa serat, partikel, dan laminat. Serat (*fiber*) adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh



Gambar 2.2 Ilustrasi Pembentukan Komposit
(Sumber:Nurun,2013)

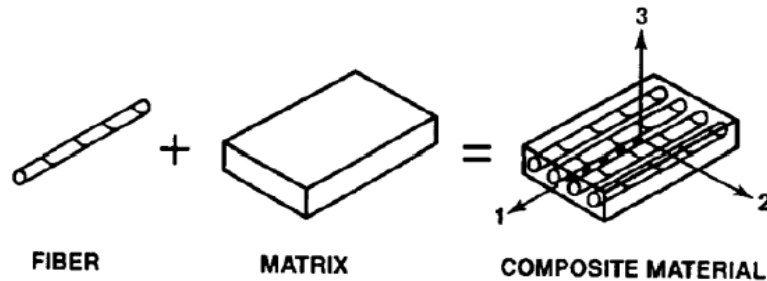
Berdasarkan matriks, komposit dapat diklasifikasikan kedalam tiga kelompok besar, Yaitu:

- a. Komposit Matrik Polimer (KMP), Polimer sebagai matrik
- b. Komposit Matrik Logam, (KML), Logam sebagai matrik
- c. Komposit Matrik Kemamik (KMK), Keramik sebagai matrik

Dalam pembuatan sebuah material komposit dimana sifat dari material komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, material yang digunakan sebagai bentuk komponen dalam komposit, bentuk geometri dari unsur-unsur pokok dan akibat struktur dari sistem komposit, cara dimana bentuk satu mempengaruhi bentuk lainnya. Menurut Agarwal dan Broutman, yaitu dimana bahan komposit mempunyai ciri-ciri yang berbeda dan komposit untuk menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat dan ciri-ciri tertentu yang berbeda dari ciri konstituen asalnya. Dengan kata lain bahan komposit adalah bahan yang heterogen yang terdiri dari fase yang tersebar dan fase yang berterusan, Fase tersebut terdiri dari serat atau bahan pengukuh.

Menurut Masruri *et al.*, (2006) komposit dibentuk oleh dua komponen penyusun, yaitu:

1. Penguat (*reinforcement*) memiliki sifat yang sulit dibentuk tetapi mempunyai kelebihan kaku namun kuat
2. Matrik berfungsi untuk mengikat penguat. Sifat dari matrik cenderung memiliki kekuatan dan tingkat kekakuan yang cukup rendah di bandingkan dengan penguat (*reinforcement*). Gambar 2.3 menunjukkan ilustrasi pembentukan komposit.



Gambar 2.3 Ilustrasi Pembentukan Komposit
(Sumber: Arroyah, 2022)

Pembuatan komposit dilakukan dengan berbagai metode, menurut Savetlana & Met, (2016) berdasarkan cara pembuatan komposit, terdapat dua metode, yaitu:

1. Cetakan terbuka (*Open Mold*)

Proses pada cetakan terbuka (*Open mold Processes*) dibagi menjadi tiga metode *spray lay up*, *hand lay up*, dan *filament winding*.

2. Cetakan Tertutup (*Closed mold*)

Proses pada cetakan tertutup (*Closed mold Processes*) dibagi menjadi empat metode yaitu *vacuum infusion processing* putrusion, *resin transfer molding (RTM)*, *vacuum bag molding*, dan *compression molding*.

2.2.2. Kelebihan Bahan Komposit

Menurut Hendra (2002), Bahan komposit mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut yang penting seperti sifa-sifat mekanikal dan fisikal, keupayaan (*reability*), mudah dalam proses pembentukan dan biaya. Seperti yang diuraikan di bawah ini :

1. Sifat-sifat mekanikal dan fisikal

Pada umumnya pemilihan bahan matrik dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matrik dan serat dapat menghasilkan komposit yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional seperti keluli. Bahan komposit mempunyai *density* yang jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan konvensional. Ini memberikan implikasi yang lebih penting dalam konteks penggunaan karena komposit akan mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi dari bahan konvensional. Implikasi adalah produk komposit akan mempunyai kerut yang lebih rendah dari logam. Pengurangan berat ialah suatu aspek yang penting dalam industri pembuatan seperti *automobile* dan angkasa luar. Ini karena berhubungan dengan penghematan bahan bakar.

Bahan komposit juga mempunyai kelebihan dari segi *versatility* (berdaya guna) yaitu produk yang memiliki gabungan sifat-sifat yang menarik yang dapat dihasilkan dengan mengubah lebih dari satu serat yang digunakan. Contohnya dengan menggabungkan lebih dari satu serat dengan matrik untuk menghasilkan komposit *hybrid*.

2. Mudah dibentuk

Komposisi yang mudah dibentuk merupakan suatu kriteria yang penting dalam penggunaan suatu bahan untuk menghasilkan produk. Ini karena dikaitkan dengan produktivitas dan mutu suatu produk. Perbandingan antara produktivitas dan mutu adalah penting dalam konteks pemasaran produk yang berasal dari pabrik. Selain dari itu kemampuan untuk mudah dibentuk juga dikaitkan dengan berbagai teknik pabrikan yang dapat digunakan untuk memproses suatu produk. Dari hal tersebut jelas bahwa bahan komposit mudah dibentuk dengan berbagai teknik pabrikan yang merupakan daya tarik yang dapat membuka ruang yang lebih luas bagi pengguna

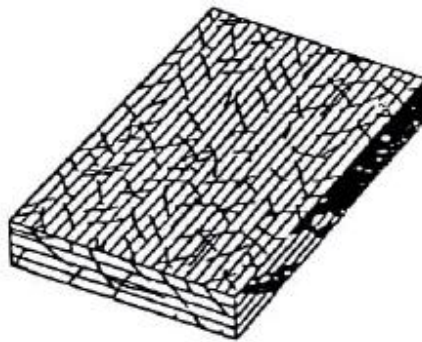
bahan komposit. Contohnya untuk komposit termoplastik yang mempunyai kelebihan dari segi pemerosesan yaitu ia dapat diproses dengan berbagai teknik pabrikan yang umum yang biasa digunakan untuk memproses termoplastik tanpa serat.

3. Biaya

Faktor biaya juga memainkan peranan yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan erat dengan penghasilan suatu produk seharusnya memperhitungkan beberapa aspek seperti biaya, bahan mentah, pemerosesan, tenaga manusia dan sebagainya.

2.2.3. Komposit *Hybrid*

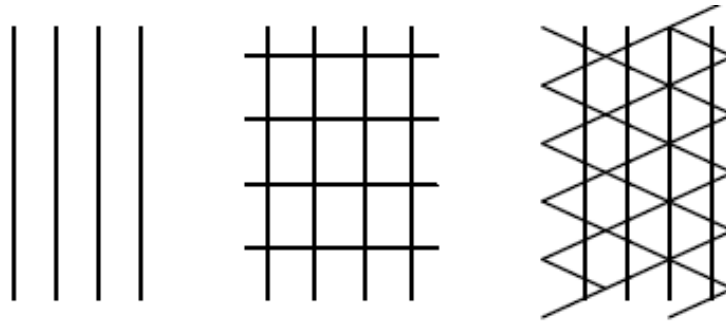
Sari, dkk., (2011), Komposit *hybrid* merupakan Komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan menggabungkan kelebihan keduanya.



Gambar 2.4 Tipe komposit *hybrid*
(Sumber: Sari, dkk., 2011)

Wijaya dan Hidayat, (2022), Komposit *hybrid* merupakan Komposit yang disusun lebih dari satu jenis *reinforcement* atau serat yang berbeda. Penggabungan kedua serat tersebut diharapkan akan mendapatkan nilai kekuatan tarik material komposit yang lebih tinggi.

Bahan penguat yang paling sering dipakai adalah serat kaca (*fiber gelas*). Sifat mekanik dan fisik komponen ditentukan oleh kandungannya. Antar muka serat matriks merupakan daerah transisi anisotropik berkecenderungan stabil (kimia/fisika) antar keduanya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan dan ketegaran adalah fraksi volume serat, arah serat dalam matriks, penampang lintang matriks, dan kuat ikat serat matriks. Arah serat penguat menentukan kekuatan komposit. Arah serat sesuai dengan kekuatan maksimum.



Gambar 2.5 Tipe arah serat
(Sumber: Sari, dkk., 2011)

Arah serat juga mempengaruhi jumlah berat yang dapat diisikan kedalam matriks. Makin cermat penataannya makin banyak pemuat yang dapat di masukan. Bila arah sejajar peluang pengisiannya sampai 99% bila dua arah peluangnya 75% dan tatanan acak atau isotropik peluang pengisiannya 65% (Nasmi, 2010)

2.2.4. Serat (*Fiber*)

Secara umum Serat terdiri dari dua jenis, yaitu serat sintetis dan serat alam. Serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam, biasanya serat yang di peroleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Contohnya yaitu ijuk, sabut kelapa, rami, nanas, wol, (Schwarz, 1984).

Jenis-jenis serat yang banyak tersedia untuk menggunakan komposit dan jumlahnya hampir meningkat. Kekakuan spesifik yang tinggi (kekakuan di bagi oleh berat jenisnya) dan kekuatan spesifik yang tinggi (kekuatan dibagi oleh berat jenisnya) serat-serat tersebut yang disebut *Advanced Composite*. (Rachman, 2022)

2.2.5. Serat Kaca (*Fiberglass*)

Serat *fiberglass* adalah salah satu jenis bahan serat komposit yang memiliki keunggulan yaitu kuat namun tetap ringan. Walaupun tidak sekaku dan seringan bahan *carbon fiber*, *fiberglass* lebih ulet dan relatif lebih murah di pasaran. *Fiberglass* biasa digunakan untuk bahan pembuatan pesawat terbang, perahu, bodi atau interior mobil, (Aeroengineering, 2017).

Fiberglass adalah bahan yang tidak mudah terbakar. Serat jenis ini biasanya digunakan sebagai penguat matrik jenis polimer. Komposisi kimia serat kaca sebagian besar adalah SiO_2 dan sisanya adalah oksida aluminium (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan unsur-unsur lainnya. Berdasarkan bentuknya serat kaca dapat dibedakan menjadi beberapa macam antar lain

1. *Chopped Stran Mat (CSM)*

Jenis serat kaca yang diproduksi secara acak keberbagai arah dan tidak beraturan. Serat kaca ilmiah yang paling banyak digunakan oleh pengerajin *fiberglass* karena harga yang relatif murah dan mudah digunakan. *Chopped stran mat* artinya adalah helaian cincang. Dikarenakan jenis serat kaca ini memang seperti kumpulan serat-serat yang dicincang dan dibentuk menjadi satu helai atau lembaran baru..

2. *Woven Roving Mat (WRM)*

Jenis serat kaca yang diproduksi dengan anyaman yang rapi dari dua arah yaitu horizontal dan vertikal dengan kekuatan beban yang sama. Jenis serat kaca ini sering juga disebut tipe ($0^{\circ}/90^{\circ}$) mengikuti sudut horizontal dan sudut vertikal yang dibentuk anyaman yang berarti kuat menahan beban dari kedua arah tersebut dan lemah ke arah diagonal atau 45° .

3. *Biaxial Mat (BX)*

Di sebut juga biax fiberglass serat ini adalah ibarat perpaduan antara Chopped stran mat dan woven roving mat yang di jahit hingga membentuk kekuatan yang maksimal. Arah untaian serat yang membentuk 45° dan CSM dilapian bawahnya menjadikan serat ini lebih kuat dari kedua jenis sebelumnya.

4. *Carbon Fiber (CF)*

Sejak tahun 70an serat ini sudah mulai populer dan diproduksi seiring meningkatnya kebutuhan pasar yang menuntut kedua karakteristik tersebut yaitu kuat tetapi ringan. Kelebihan dari serat karbon ini adalah sifat kaku lenturnya, ketahanan terhadap suhu panas dingin yang ekstrim dan ketahannya terhadap raksi kimia yang besar.

2.2.6. Serat Rami

Serat rami (*Boehmeria Nivea Gaud*) merupakan salah satu jenis tanaman penghasil serat dari batang, serat yang tinggi dan memiliki karakteristik mirip kapas. Rami termasuk tanaman yang bisa tumbuh dengan mudah di berbagai kondisi lahan. Serat ini banyak digunakan untuk tali-temali dan juga untuk pembuatan tali ikan, jala, sapu, keset serta produk kerajinan komersial yang lain karena sifatnya yang kuat, tidak mulur dan tahan terhadap air. Dengan adanya komposit serat, rami dapat dimanfaatkan dalam dunia konstruksi.

Dengan demikian pengembangan tanaman ini memiliki prospek yang sangat cerah, karena sampai saat ini Indonesia merupakan potensi yang besar untuk menggerakkan ekonomi rakyat melalui perekonomian pedesaan, pendapatan petani dan komoditi ekspor non migas. Tumbuhan rami sangat cocok ditanam di daerah tropis yaitu di ketinggian ideal 400m s/d 1500m di atas permukaan laut, dengan curah hujan 90mm/bln yang merata sepanjang tahun, kondisi tanah datar terbuka berstruktur ringan seperti tanah liat berpasir dengan PH 5,6 s/d 6,5 dengan umur produktif 6 s/d 8 tahun dipanen 5 s/d 6 kali dalam setahun. Pada panen pertama dipangkas kosmetik 6 bulan. Setelah itu tiap dua bulan dapat di panen sampai usia 8 tahun. Batang tanaman rami tumbuh rhizome yang berbentuk ramping dan pertumbuhannya dapat mencapai ketinggian di atas 250cm, diameter batang antara 8 s/d 20 mm, berat batang 60 s/d 40 gram dengan jumlah perumpun 4 s/d 12 batang, warna hijau sampai coklat.

Table 2.1 Sifat –sifat mekanis serat

No.	Fiber	Density (g/cm ³)	Extension (%)	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)
1	Flax	1,40-1,50	2,7-3,2	343-1035	27-80
2	Jute	1,30-1,50	1,4-3,1	187-773	3-55
3	Abaca	1,50	10,0-12,0	980	72
4	Sisal	1,30-1,50	2,0-2,9	507-855	29-8
5	Kenaf	1,22-1,40	3,7-6,9	295-930	22-53
6	Ramie	1,50	3,6-3,8	400-938	44-128
7	Hemp	1,40-1,50	1,3-4,7	580-1110	3-90
8	Cotton	1,50-1,60	2,0-10,0	287-597	5,5-12,6
9	Banana	1,30-1,35	3,0-10,0	430-580	7,7-32
10	Henequen	1,49	3,0-5,0	20-290	10,,1-16,3
11	Sugarcane	0,55-1,25	0,9	170-1627	2,7-17
12	Pineapple	1,52-1,56	0,8-3,0	2000-3500	6,21-82
13	E-glass	2,50-2,55	2,5	3000-3150	73
14	Aramid	1,40-1,45	3,3-3,7	3000-3150	63-67
15	Carbon	1,40-1,75	1,4-1,8	4000	230-240

Sumber: (Arroyah, 2022)

2.2.7. Matrik

Matriks merupakan bagian pengisi ruang komposit yang memiliki fungsi sebagai pengikat *reinforcement* dan melindunginya dari lingkungan serta menjaga permukaan penguat dari material komposit. Umumnya *reinforcement* memiliki kekuatan yang lebih

tinggi dari matriks. *Reinforcement* pada material komposit dapat berupa partikel, whicker, atau serat. (Wijaya & Hidayat, 2022)

Matriks merupakan salah satu komponen utama penyusun komposit yang berfungsi sebagai pengikat dari serat dengan cara mentransfer tegangan ke serat dan berfungsi juga sebagai perlindungan terhadap serat.

Menurut Siagian, (2017) matrik dikelompokan menjadi tiga yaitu:

1. *Metal matrix composit (MMC)* merupakan komposit bermatrik logam. Komposit ini disusun oleh pencampuran logam dan keramik
2. *Ceramic Matrix Composite (CMC)* merupakan komposit bermatrik keramik. Penguat (*reinforcement*) yang digunakan seperti karbida silikon, oksida alumunium dan *fiber* yang bertujuan meningkatkan ketahanan komposit dari temperatur yang tinggi
3. *Polymer Matrix Composite (PMC)* merupakan komposit bermatrik polimer dengan penguatnya serat. Resin *epoxy* dan *polyester* digunakan sebagai matrik pada komposit PMC. Polimer terbagi menjadi *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* merupakan polimer yang bisa didaur ulang dengan perlakuan panas contohnya seperti *polyamide*, *polysulfone*, *polyetherketone*, dan *polypropylene*. Sedangkan *thermosetting* merupakan polimer yang tidak dapat di daur ulang contohnya *epoxy*, *polyester*, *resin amino*, *phenolic*, *phenol*, dan *resin furan*. Tabel 2.2 menunjukkan sifat resin *polyester* dan *epoxy*.

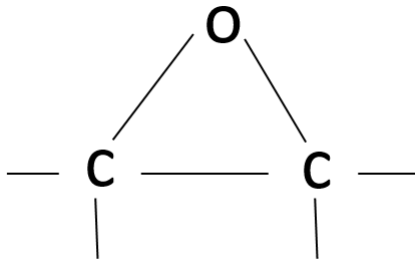
Tabel 2.2 Karakteristik matriks dengan *polyester* dan *epoxy*.

Sifat	<i>Polyester</i>	<i>Epoxy</i>
Kekuatan Tarik (Mpa)	40 - 90	55 - 130
Modulus elastis (Gpa)	2,4 – 4,4	2,8 – 4,2
Kekuatan Impac (J/m)	10,6 – 21,2	5,3 – 53
Kerapatan (g/m ³)	1,10 – 1,46	1,2 – 1,3

Sumber: (Sanjay. and Yogesh. 2016)

2.2.8. Resin Epoxy

Resin epoxy merupakan senyawa molekuler organik yang mengandung sejumlah grup epoxy (Guner, 2001). Epoxy sederhana disusun oleh dua atom karbon dan satu atom oksigen, seperti pada Gambar 2.5. Epoxy termasuk ke dalam material polimer termoset yang dapat mengalami pemutusan rantai polimer apabila mengalami siklus pemanasan berulang.

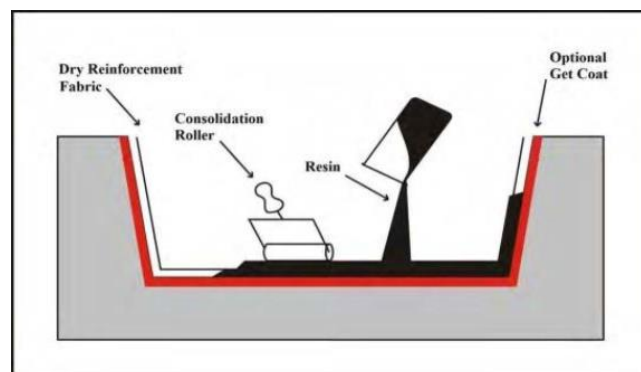


Gambar 2.6 Struktur Dasar Resin Epoksi
(Sumber: Guneri Akovali., 2001)

Secara umum polimer termoset terdiri dari dua penyusun, yaitu resin dan *curing agent (hardener)*. *Hardener* adalah suatu senyawa reaktif *aliphatic amine* yang mempunyai sifat *curing time* yang cepat bila direaksikan pada temperatur ruang. Pencampuran resin epoxy dan *hardener* akan menghasilkan reaksi *curing* sehingga didapatkan *hardened polymer (cross-linged-structure)*.

2.2.9. Hand Lay Up

Metode hand lay-up adalah metode yang paling sederhana dan mudah dilaksanakan, prosesnya dimulai dengan menuangkan resin kedalam wadah berisi serat, kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai, lalu menutup permukaan komposit dengan menggunakan plastik. Adapun untuk cetaknya dapat dibuat dari gips, kayu, kaca, lembaran plat dan sebagainya. Keuntungan utamanya adalah proses yang sangat sederhana sehingga sedikit membutuhkan peralatan. Kelemahan dari metode ini adalah udara sering terperangkap pada komposit yang masih dalam tahap pengeringan. Gambar 2.4 di bawah ini menunjukkan pencetakan dengan metode Hand Lay-up



Gambar 2.7 Metode Hand Lay-up
(Sumber: Arroyah., 2022)

2.2.10. Pengujian Tarik

Pengujian material bertujuan untuk mendapatkan sifat dan kekakuan material tersebut. Uji tarik bertujuan untuk mengetahui besar kekuatan maksimum yang dapat diterima oleh suatu material. Metode ini dilakukan pada posisi beban dan gaya tarik pada sumbu yang sama. Prinsip kerja uji tarik adalah dengan memberikan gaya tarik pada spesimen sampai benda uji mengalami kegagalan (*failure*) dan pembuatan sampel mengacu pada ASTM D3039. Hasil pengujian tarik ini merupakan nilai kekuatan tarik dan grafik beban terhadap elongasi. Nilai uji tarik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

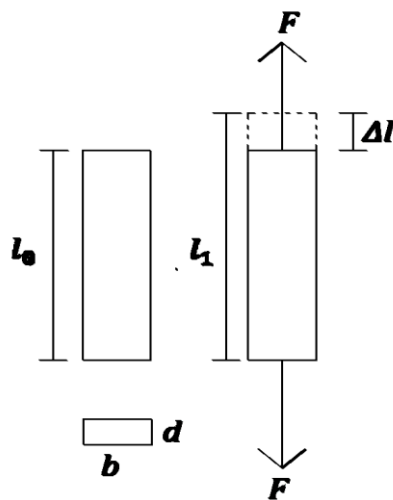
- σ = Tegangan tarik spesimen (Mpa)
- F = Beban (Newton)
- A = Luas penampang spesimen (mm²)

Sedangkan regangan dirumuskan dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan :

- ε = Regangan
- l_0 = Panjang awal sebelum pengujian (mm)
- l_1 = Panjang setelah pengujian (mm)
- Δl = Selisih panjang setelah dan sebelum pengujian (mm)



Gambar 2.8 ilustrasi gaya yang bekerja pada pengujian tarik

2.2.11. Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui karakteristik mekanik pada material. Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material pengujian bending dilakukan dengan cara penekanan dengan gaya dari luar secara bertahap pada material sampai terjadi kegagalan (*failure*). Kekuatan yang dibutuhkan untuk menekan material komposit lebih besar dibandingkan dengan kekuatan yang dibutuhkan pada saat pengujian tarik. Ketidakmampuan suatu material komposit menahan tegangan tarik yang dapat diterima maka material akan mengalami kegagalan.

Adapun kekuatan bending pada sisi bagian atas nilainya sama dengan kekuatan bending pada sisi bawah. Kekuatan yang diberikan merupakan dari suatu metode yang paling mudah, namun banyak memberikan informasi mengenai kualitas material. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM D790 untuk material komposit. Nilai uji lentur dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

Rumus tegangan lentur

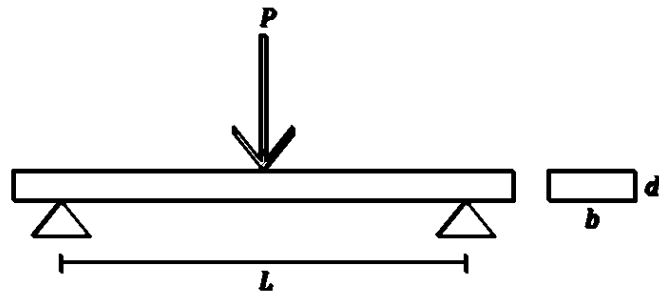
$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots 2.3$$

Rumus tegangan geser

$$\tau = \frac{DS}{Ib} \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan :

- σ = Tegangan lentur (Mpa)
- τ = Tegangan geser (Mpa)
- P = Beban (Newton)
- D = Gaya Geser (Newton)
- L = Panjang span antar tumpuan (mm)
- b = Lebar spesimen (mm)
- d = Tebal spesimen (mm)
- I = Momen inersia (mm⁴)
- S = Statis momen (mm³)



Gambar 2.9 ilustrasi gaya yang bekerja pada pengujian tarik

Rumus regangan lentur (mengacu pada ASTM D790)

$$\varepsilon = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots 2.5$$

Keterangan :

- ε = Regangan lentur
- L = Panjang span antar tumpuan (mm)
- D = Defleksi (mm)
- d = Tebal spesimen (mm)

2.2.12. Uji Statistik

Pada penelitian ini digunakan metode statistik inferensial, statistik inferensial adalah metode statistik yang digunakan untuk mengambil kesimpulan atau inferensi dari pengujian yang dilakukan, bukan hanya menjelaskan perbedaan antara satu set data dengan set data lainnya seperti pada statistik deskriptif. Agar hasil penelitian bisa dianalisis dengan metode statistik inferensial, maka pengujian harus dirancang menggunakan kaidah-kaidah statistik.

Montgomery (2009) menjelaskan bahwa simple comparative experiment digunakan apabila peneliti ingin mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara dua level dari satu buah faktor yang akan diamati. Ada dua metode rancangan eksperimen yang akan digunakan dalam penelitian ini, yakni; untuk menguji apakah terdapat perbedaan signifikan antara dua kelompok atau populasi disebut dengan T-test. Dan untuk menguji hubungan antara dua atau lebih set data, analisis ini disebut dengan ANOVA yang kadang-kadang disebut juga dengan F-test, salah satu dari analisis ragam adalah analisis ragam satu jalur atau juga disebut dengan one way ANOVA.

Model statistik dari uji t dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij} \begin{cases} i=1, 2, \dots, a \\ j=1, 2, \dots, n_i \end{cases} \dots\dots\dots 2.6$$

dimana:

- y_{ij} : Pengamatan ke-j dari level faktor i
- μ_i : Rata-rata respon dari level faktor i
- ϵ_{ij} : Kesalahan acak

Selanjutnya memformulasikan hipotesis. Adapun hipotesis yang diajukan pada uji t adalah sebagai berikut:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad \dots\dots\dots 2.7$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad \dots\dots\dots 2.8$$

dimana:

- H_0 : Hipotesis nol
- H_1 : Hipotesis alternatif
- μ_1 : Rata-rata respon dari level pertama dari faktor yang diamati
- μ_2 : Rata-rata respon dari level kedua dari faktor yang diamati

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai t_0 atau t_{hitung} dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2 - 0}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \dots\dots\dots 2.9$$

dimana:

- \bar{y}_1 and \bar{y}_2 : Rata-rata sampel
- n_1 and n_2 : Jumlah sampel
- t_0 : t-Statistic Test
- S_p : Standar Deviasi

Nilai S_p , diperoleh dari nilai S_p^2 , yang dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$S_p^2 = \frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2} \quad \dots\dots\dots 2.10$$

dimana:

- S_1^2 and S_2^2 : Variasi yang terdapat didalam sampel yang dihitung

Untuk menentukan apakah H_0 diterima atau ditolak adalah dengan membandingkan antara nilai t_0 atau t_{hitung} dengan nilai t yang diperoleh dari tabel (t_{tabel}).

$$|t_0| > t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} \dots\dots\dots 2.11$$

Apabila nilai t_{hitung} lebih besar dari t_{tabel} , maka H_0 diterima, dan sebagai konsekuensi logisnya adalah H_1 ditolak.

Uji-t ini nantinya akan dipergunakan untuk menganalisis apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kualitas komposit serat rami dengan komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca.

Selanjutnya, model statistik dari uji F adalah sebagai berikut:

$$y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij} \begin{cases} i=1, 2, \dots, a \\ j=1, 2, \dots, n_i \end{cases} \dots\dots\dots 2.12$$

dimana:

- y_{ij} : Pengamatan ke-ij
- μ_i : Rata-rata dari level i dari sebuah faktor
- ϵ_{ij} : Kesalahan acak

Formulasi hipotesis pada uji F dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a \dots\dots\dots 2.13$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j, \text{ Setidaknya untuk sepasang } (i,j) \dots\dots\dots 2.14$$

Selanjutnya dihitung *total corrected sum of squares* (SS_t), menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SS_t = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{...})^2 \dots\dots\dots 2.15$$

Tahap berikutnya adalah menghitung *sum squares due to treatments* ($SS_{treatments}$) dengan persamaan berikutini:

$$SS_{treatments} = SS_t - SS_E \dots\dots\dots 2.16$$

dimana:

- SS_t : Total corrected sum squares
- $SS_{treatments}$: Sum squares due to treatments (i.e. between treatments)
- SS_E : Sum squares due to error (i.e. within treatments)

Rasio antara $SS_{\text{treatments}}$ dengan *degree of freedom* disebut dengan *mean square for treatment*, dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$MS_{\text{treatments}} = \frac{SS_{\text{treatments}}}{a-1} \dots\dots\dots 2.17$$

Selanjutnya dihitung *error mean square*:

$$MS_E = \frac{SS_E}{(N - a)} \dots\dots\dots 2.18$$

Berikutnya adalah menghitung nilai F_0 atau F_{hitung} menggunakan persamaan:

$$F_0 = \frac{SS_{\text{treatments}}/(a - 1)}{SS_E/(N - a)} = \frac{MS_{\text{treatments}}}{MS_E} \dots\dots\dots 2.19$$

dimana:

- MS_t : Mean Square for Treatment
- MS_E : Error Mean Square
- F_0 : F-Statistic Test
- a : Jumlah Kelompok Perlakuan
- N : Jumlah Pengamatan

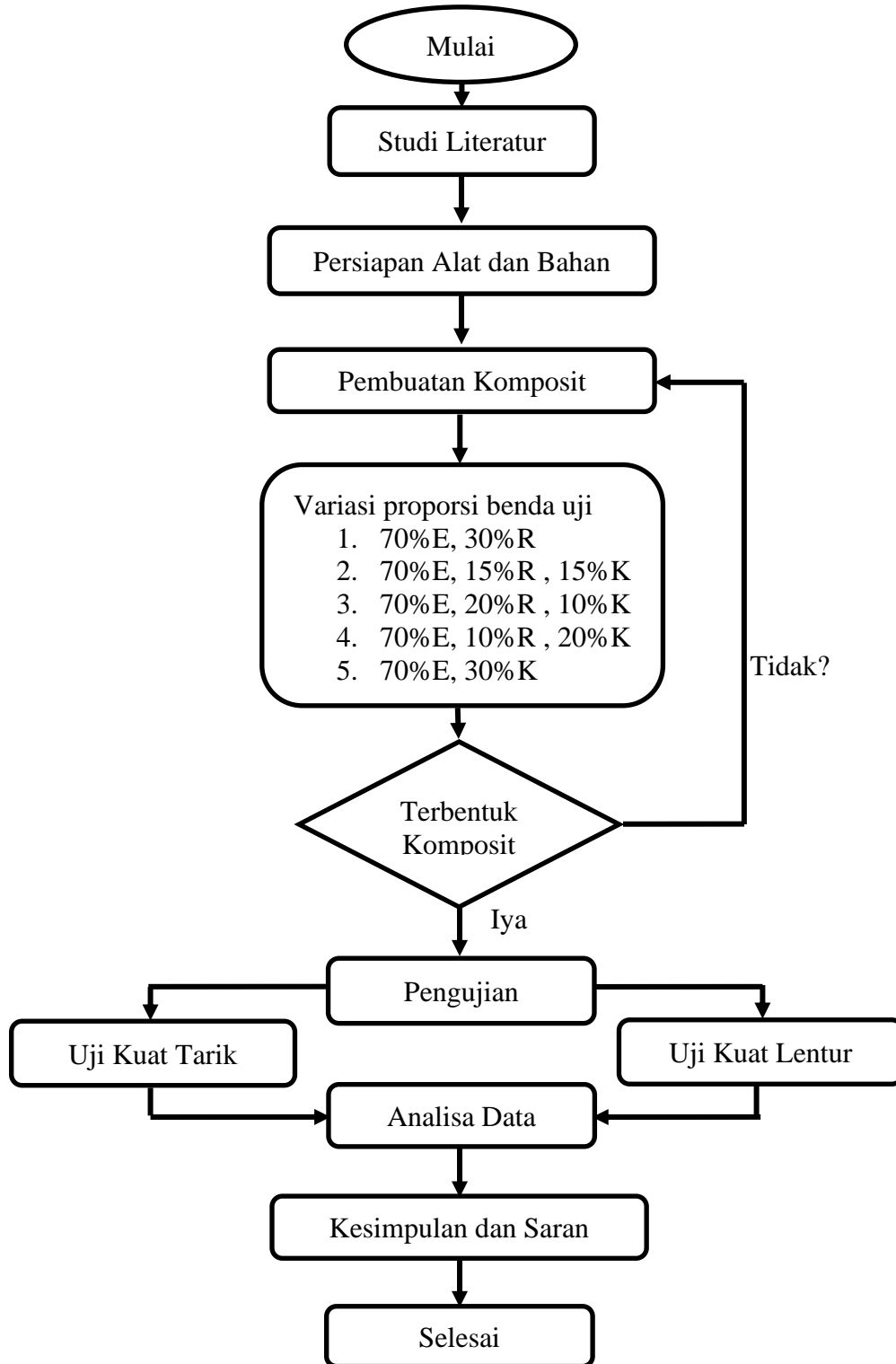
Untuk menentukan apakah H_0 diterima atau ditolak adalah dengan membandingkan antara nilai F_0 atau F_{hitung} dengan nilai F yang diperoleh dari tabel (F_{tabel}).

$$F_0 > F_{\alpha, a-1, n-a} \dots\dots\dots 2.20$$

Uji-F ini akan dipergunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan kualitas yang signifikan dari variasi proporsi yang dihasilkan oleh masing-masing benda uji sehingga diketahui tingkat disparitas kualitasnya selanjutnya dicarikan solusi untuk mengatasi bervariasinya kualitas tersebut.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

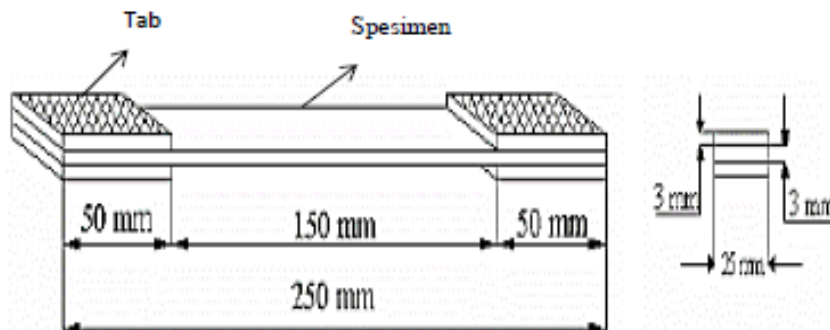
Proses persiapan dan pembuatan sampel pada pengujian akan di lakukan Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Mataram. Dan untuk pengujian sampel akan di lakukan di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Mataram.

3.3 Persiapan Penelitian

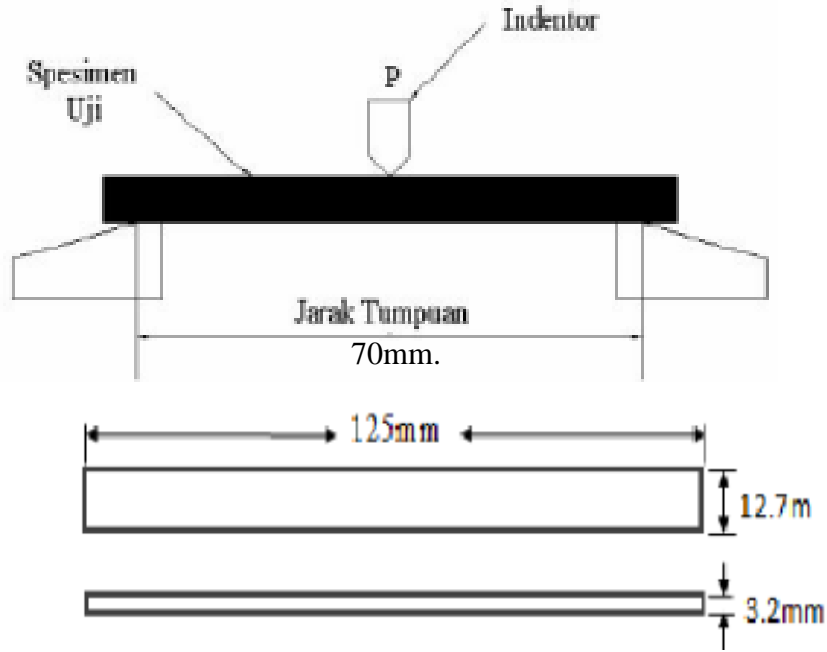
Ada beberapa hal yang harus dipersiapkan sebelum melakukan penelitian, hal pertama yang harus dipersiapkan adalah lokasi, baik lokasi pembuatan sampel maupun lokasi pengujian. Selanjutnya yang harus disiapkan ialah alat dan bahan, dimana alat dan bahan ini sama pentingnya dengan lokasi. Bahan yang harus disiapkan yaitu epoksi, serat rami, serat kaca. Sedangkan alat yang harus disiapkan yaitu cetakan sampel, gunting, Kuas, penggaris, jangka sorong, timbangan, alat pelindung diri dan yang paling penting ialah alat pengujian.

3.4 Benda Uji

Penelitian ini berfokus pada perilaku kuat tarik dan lentur dari komosit hibridisasi serat rami dan serat kaca dengan epoksi menjadi perekat. Dimensi benda uji berdasarkan ASTM dimana benda uji untuk kuat tarik berukuran 25mm x 250mm x 3mm mengacu pada ASTM D3039. Sedangkan benda uji untuk kuat lentur mengacu pada ASTM D790 yang berukuran 12,7mm x 125mm x 3,2mm. Untuk ukuran dari benda uji dapat di lihat pada gambar ini.



Gambar 3.2 Benda uji tarik
(Sumber : ASTM D3039)



Gambar 3.3 Benda uji lentur
(Sumber : ASTM D790)

Tabel 3.1 Benda uji pada pengujian tarik

Kode sampel	Spesifik Benda Uji	Proporsi			Jumlah
		Epoksi (%)	Serat rami (%)	Serat kaca (%)	
TA	TA1, TA2, dan TA3	70%	30%	0%	3
TB	TC1, TC2, dan TC3	70%	20%	10%	3
TC	TD1, TD2, dan TD3	70%	15%	15%	3
TD	TE1, TE2, dan TE3	70%	10%	20%	3
TE	TG1, TG2, dan TG3	70%	0%	30%	3
Jumlah total benda uji tarik					15

Tabel 3.2 Benda uji pada pengujian lentur

Kode sampel	Spesifik Benda Uji	Proporsi			Jumlah
		Epoksi (%)	Serat rami (%)	Serat kaca (%)	
LA	LA1, LA2, dan LA3	70%	30%	0%	3
LB	LC1, LC2, dan LC3	70%	20%	10%	3
LC	LD1, LD2, dan LD3	70%	15%	15%	3
LD	LE1, LE2, dan LE3	70%	10%	20%	3
LE	LG1, LG2, dan LG3	70%	0%	30%	3
Jumlah total benda uji lentur					15

3.5 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

1. Serat rami berperan sebagai bahan penguat dari komposit, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat. Serat rami yang digunakan adalah yang telah dipotong seukuran 3cm. dan diacak.
2. Serat kaca adalah serat kaca dari kaca air yang ditarik agar menjadi serat tipis yang kuat dan digunakan untuk bahan komposit sebagai penguat. Serat kaca yang digunakan yaitu serat yang di potong seukuran 3cm. Dan diacak.
3. Epoksi adalah bahan yang digunakan sebagai pengikat atau matrik pada spesimen sedangkan hardener digunakan dengan cara dicampur pada epoksi menggunakan proporsi 1:2.
4. Realase Agent Adalah bahan yang diguakan untuk mempermudah pelepasan komposit pada cetakan.
5. Amplas digunakan untuk meratakan bagian sisi samping benda uji.

3.6 Alat Penelitian

Alat penelitian dibagi menjadi 2 yaitu yang digunakan untuk pembuatan komposit dan alat pengujian komposit.

3.6.1 Alat Pembuatan Komposit

1. Cetakan

Cetakan terbuat dari kaca dengan ukuran dimana untuk uji tarik berukuran 280mm x 100mm x 3mm. Sedangkan untuk uji lentur berukuran 150mm x 60mm x 3,2mm.

2. Gunting

Gunting digunakan untuk memotong serat dengan ukuran 3 cm sesuai yang dibutuhkan.

3. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang bahan-bahan guna untuk menyesuaikan proporsi sesuai dengan yang di butuhkan.

4. Wadah Plastik

Wadah Plastik Digunakan untuk wadah dari epoksi supaya mempermudah untuk mengoleskan kuas.

5. Kuas Roll Besi

Kuas digunakan untuk meratakan dan memadatkan komposit pada saat pembuatan komposit.

6. Penggaris

Penggaris berguna untuk mengukur bahan yang di gunakan seperti memotong serat sesuai yang dibutuhkan dan untuk mengukur dimensi benda uji.

7. Kapi Besi

Kapi besi digunakan untuk mempermudah melepaskan benda uji dari cetakan.

8. Sarung Tangan

Sarung tangan berfungsi sebagai pelindung tangan dikarenakan pembuatan sampel uji menggunakan metode *hand lay up*. Keutamaan K3 harus tetap di perhatikan pada saat pembuatan benda uji.

9. Masker

Masker berfungsi untuk menghindari bau dari epoksi yang menyengat serta melindungi diri dari serbuk debu maupun serbuk serat.

10. Jangka Sorong

Jangka sorong ini berguna untuk mengukur ketebalan sampel yang memiliki ketelitian 1mm.

3.6.2 Alat Pengujian Komposit

Electromechanical Universal Testing Machine adalah alat yang digunakan dalam pengujian ini yang berada di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Mataram. *Electromechanical Universal Testing Machine* digunakan dalam pengujian tarik dan lentur pada sampel yang telah dibuat sesuai dengan ASTM. Sensor yang akurat serta penggunaan yang mudah merupakan keunggulan dari alat ini. Dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 *Electromechanall Universal Testing Machine*

3.7 Proses Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dibagi menjadi tiga proses yaitu proses sebelum percetakan, proses percetakan, dan proses setelah percetakan.

3.7.1 Proses Sebelum Percetakan

Ada beberapa hal yang harus dipersiapkan sebelum proses percetakan yaitu :

1. Mempersiapkan cetakan dengan ukuran 280mm x 100mm x 3mm untuk uji tarik. Sedangkan untuk uji lentur berukuran 150mm x 60mm x 3,2mm.
2. Mempersiapkan bahan utama yaitu serat rami, serat kaca yang sudah di potong dengan ukuran 3 cm. dan epoksi.
3. Mempersiapkan alat-alat pendukung seperti wadah plastik, timbangan digital, kuas, dan APD.

3.7.2 Proses Percetakan

Ada beberapa hal yang harus dipersiapkan disaat proses percetakan yaitu :

1. Menentukan perbandingan fraksi komposit hibridisasi sesuai yang diinginkan
2. Menimbang berat bahan sesuai yang dibutuhkan
3. Mencampur epoksi dan hardener dengan perbandingan 1:3 lalu diaduk rata
4. Mengoleskan mirror glaze pada cetakan supaya mudah dilepaskan
5. Mengoleskan epoksi yang telah di campur dengan hardener terlebih dahulu menggunakan kuas roll pada permukaan cetakan lalu letakan serat sesuai yang dibutuhkan kemudian oleskan epoksi lagi hingga mencapai tebal yang diinginkan.

Perhatikan disaat mengoleskan epoksi pada serat usahakan tidak ada udara yang tertinggal di dalam sampel.

6. Letakan penutup cetakan lalu tekan tambahkan pemberat agar permukaan diatas merata.
7. Diamkan pada temperatur ruangan untuk proses pengeringan ± 24 jam.

3.7.3 Proses Setelah Percetakan

Ada beberapa hal yang harus dipersiapkan disaat proses setelah percetakan yaitu :

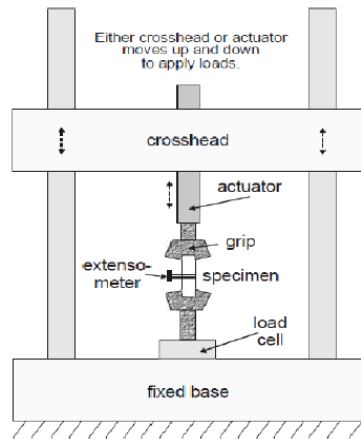
1. Mendinginkan benda uji yang telah dicetak hingga mengering ± 24 jam
2. Setelah ± 24 jam benda uji sudah dapat dilepaskan dari cetakan menggunakan kapi besi.
3. Amplas bagian samping dari benda uji hingga rata, lalu benda uji sudah bisa dilakukan pengujian.

3.8 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian tarik mengacu pada ASTM D3039, Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik (*tensile strength*), regangan patah (*strain-to-failure*). Dan modulus elastis (*lastic modulus*). Prinsip kerja metode uji tarik ini adalah mesin akan menarik material yang diuji hingga putus, kemudian data akan muncul pada layar mesin.

Cara menggunakan *Electromechanical Universal Testing Machine* yaitu:

1. Meletakkan material yang akan diuji pada bagian grid tepatnya di bawah top plate.
2. Kemudian material dikunci dengan cara memutar bagian handwheel sampai material benar-benar terkunci kuat dan tidak akan terlepas.
3. Setelah itu mesin dinyalakan dan mesin akan menarik material hingga terputus
4. Bersamaan dengan penarikan dilakukan pengamatan terhadap pertambahan panjang yang di alami.
5. Menyiapkan alat tulis untuk mencatat hasil pengujian.



Gambar 3.5 Skematik alat pengujian tarik
(Sumber : Arroyah. 2022)

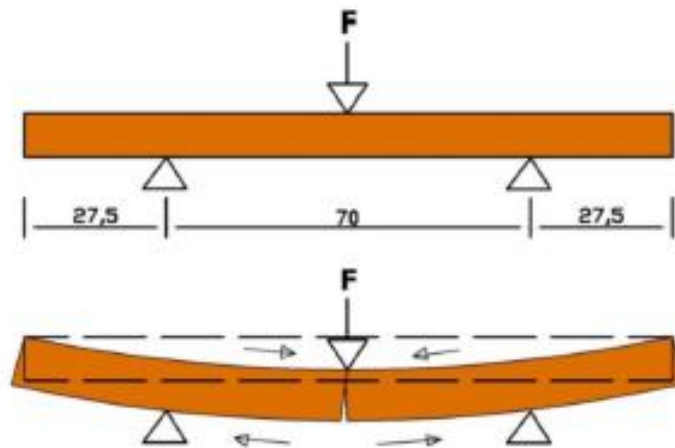
Bagian-bagian dan fungsi alat

1. Crosshead : sebagai pencekam spesimen, yang bisa digerakan keatas kebawah sesuai dengan panjang spesimen.
2. Actuator : penggerak untuk pemasangan spesimen.
3. Grid : sebagai pegangan spesimen
4. Wxensiometer : alat yang dipasang pada specisimen dan hasil dari alat ini akan terbaca di komputer.
5. Load cell : sebagai penahan bagian bawah spesimen yang nantinya akan menarik spesimen ke bawah.

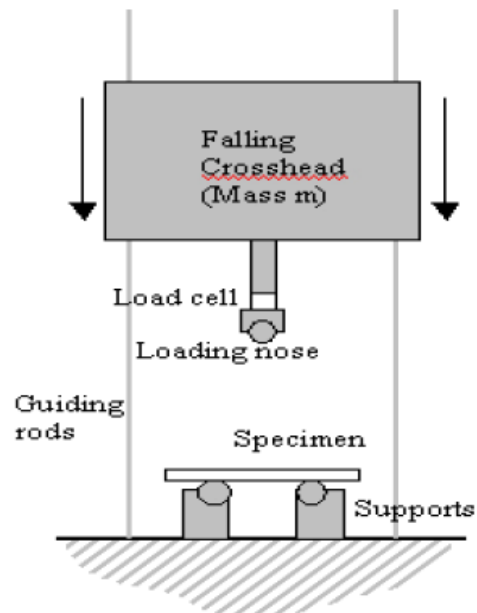
3.9 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian Lentur mengacu pada ASTM D790, Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan lentur. Pengujian menggunakan *flexural testing machine (FTM)* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lapisan pada benda uji. Pengujian lentur dilakukan menggunakan metode *three-point bending* yang menggunakan tiga titik pembebanan, yaitu dua titik tumpuan yang ada di pinggir dan satu ditengah benda uji. Berikut langkah-langkah pengujian dilakukan diantaranya :

1. Letakan benda uji yang telah dibuat pada alat pengujian lentur sesuai dengan standar dan ketentuan yang sudah ada pada mesin
2. Mesin bending akan memberikan pemebebanan maksimal secara perlahan kepada benda uji sampai benda benda uji mengalami patah
3. Kemudian dapat di catat hasil pengujian.



Gambar 3.6 Ilustrasi pembebanan pengujian lentur
(Sumber : Arroyah. 2022)



Gambar 3.7 Skematik alat pengujian lentur
(Sumber : Arroyah. 2022)

Bagian-bagian dan fungsi alat

- a. Crosshead : sebagai Sebagai penahan gaya yang terjadi pada saat uji bending
- b. Load cell : Sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji
- c. Loading nose : Sebagai alat yang menyalurkan gaya tekan pada benda uji
- d. Support : sebagai tumpuan benda uji

3.10 Analisis Data

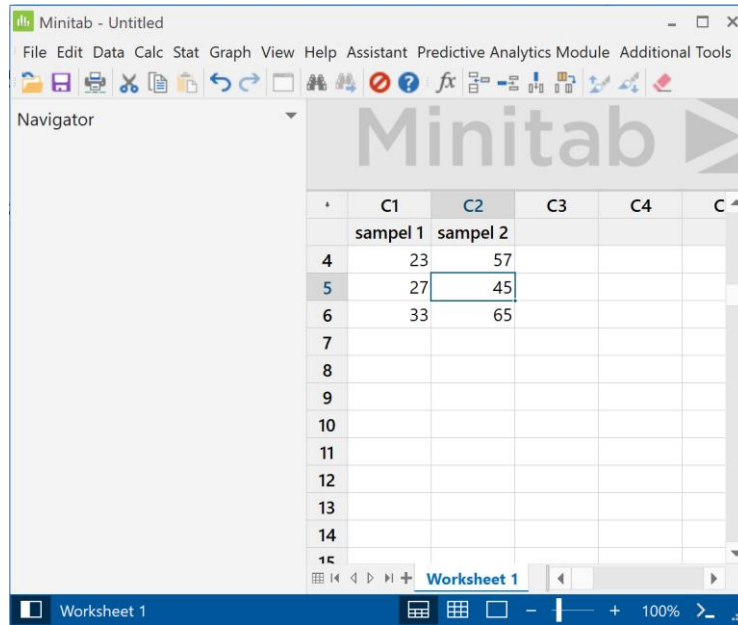
Pada penelitian ini digunakan metode statistik inferensial menggunakan software statistik, Minitab. Statistik adalah ilmu yang berkaitan dengan tata cara (metode) pengumpulan data, analisis data, dan interpretasi hasil untuk mendapatkan informasi guna untuk melakukan penarikan kesimpulan dan pengambilan keputusan. Statistik inferensial adalah metode statistik yang digunakan untuk mengambil kesimpulan atau inferensi dari pengujian yang dilakukan, bukan hanya menjelaskan perbedaan antara satu set data dengan set data lainnya seperti pada statistik deskriptif. Agar hasil penelitian bisa dianalisis dengan metode statistik inferensial, maka pengujian harus dirancang menggunakan kaidah-kaidah statistik. Ada dua metode rancangan eksperimen yang akan digunakan dalam penelitian ini, yakni; untuk menguji apakah terdapat perbedaan signifikan antara dua kelompok atau populasi disebut dengan T-test. Dan untuk menguji hubungan antara dua atau lebih set data, analisis ini disebut dengan ANOVA yang kadang-kadang disebut juga dengan F-test, salah satu dari analisis ragam adalah analisis ragam satu jalur atau juga disebut dengan one way ANOVA.

3.10.1 Analisis Data dengan Metode T-test

T-Test adalah pendekatan statistik yang cocok untuk melakukan analisis untuk jenis tes yang membandingkan dua kelompok sampel, dan percobaan ini dikenal sebagai percobaan komparatif sederhana. Prosedur pengujian hipotesis adalah sebagai berikut; menyusun prosedur untuk mengambil sampel acak, menghitung statistik uji yang sesuai, dan kemudian menolak atau gagal menolak hipotesis nol. Bagian dari prosedur ini adalah menentukan kumpulan nilai yang disebut wilayah kritis atau wilayah penolakan untuk uji statistik yang mengarah ke penolakan H_0 . Untuk menentukan menolak H_0 atau tidak, uji-T akan dibandingkan dengan nilai T yang diperoleh dari tabel distribusi t (t-tabel). Prosedur pengujian ini biasanya disebut uji-T Dua Sampel. H_0 akan ditolak apabila nilai T-test lebih besar dari T-tabel. Cara lain untuk membuat keputusan apakah H_0 dapat ditolak atau tidak adalah dengan menggunakan nilai-P. Penggunaan nilai-P telah diterima secara luas dalam praktik. Nilai-P dapat secara formal didefinisikan sebagai tingkat signifikansi terkecil yang akan mengarah pada penolakan hipotesis nol. Ada dua kelompok sampel yang diuji yaitu komposit yang diperkuat hanya dengan 30% serat rami (TA) dan komposit yang diperkuat dengan kombinasi 15% serat rami dan 15% serat kaca (TC).

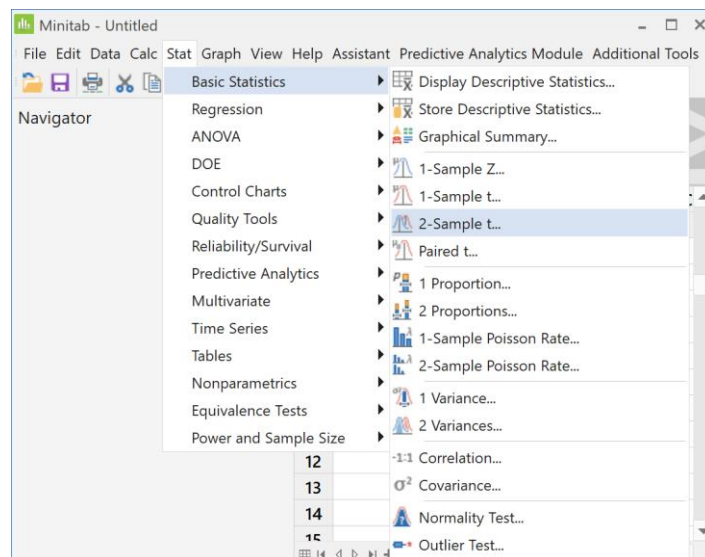
Langkah-langkah pengolahan data dengan metode T-test menggunakan minitab.

- a) Buka minitab
- b) Masukkan data anda kedalam worksheet Minitab. Tempatkan data sampel pertama di kolom pertama (kolom C1) dan data sampel kedua di kolom kedua (kolom C2)



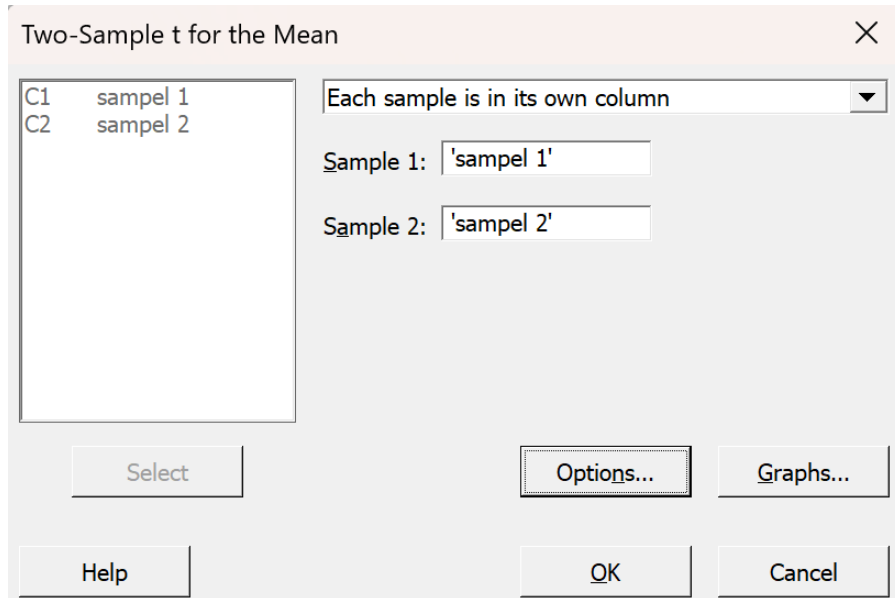
Gambar 3.8 Entry Data Minitab

- c) Klik menu Stat > pilih Basic Statistics > klik 2 Sampel t



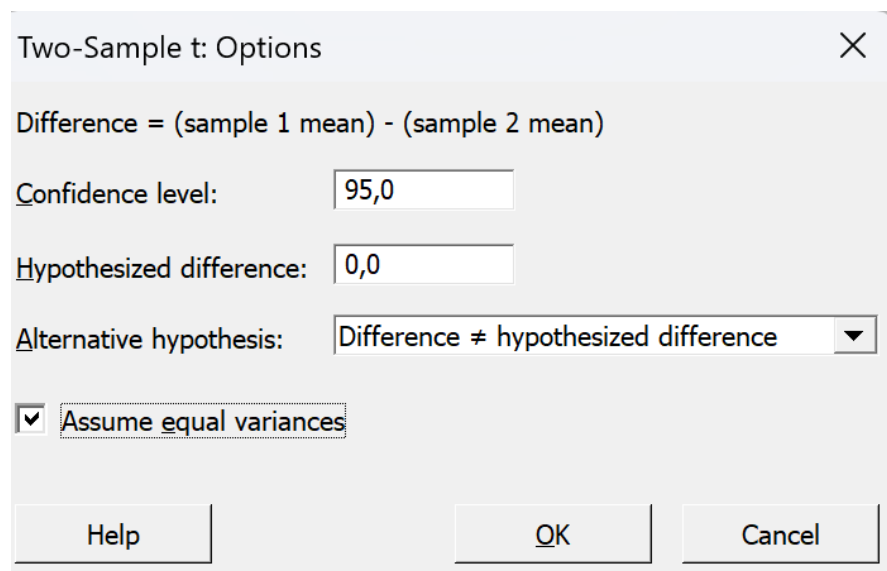
Gambar 3.9 Membuka Opsi 2 Sampel t

- d) Pada kotak dialog 2 sampel t pastikan anda memilih Each sample in its own columns. Klik pada kotak sampel 1 lalu klik ganda C1 di kotak sebelah kiri untuk memasukkan C1 ke dalam kotak sampel 1. Klik ganda C2 untuk memasukkan C2 kedalam kotak sampel 2



Gambar 3.10 Memasukan Data

- e) Klik Options jika anda ingin mengganti taraf kepercayaan dan arah hipotesis alternatif. Masukkan taraf kepercayaan pada kotak Confidence Level. Pilih arah hipotesis alternatif pada kotak Alternative, lalu klik OK



Gambar 3.11 Mamasukan Taraf Kepercayaan

f) Klik OK pada kotak dialog 2 sampel t

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

<u>T-Value</u>	<u>DF</u>	<u>P-Value</u>
-4,31	4	0,013

Gambar 3.12 Hasil T-test

Pada output Minitab diatas diperoleh nilai T hitung = -4,31 dan P-Value = 0,013.

Pengambilan keputusan:

Jika P-Value $\leq \alpha$, maka tolak hipotesis nol

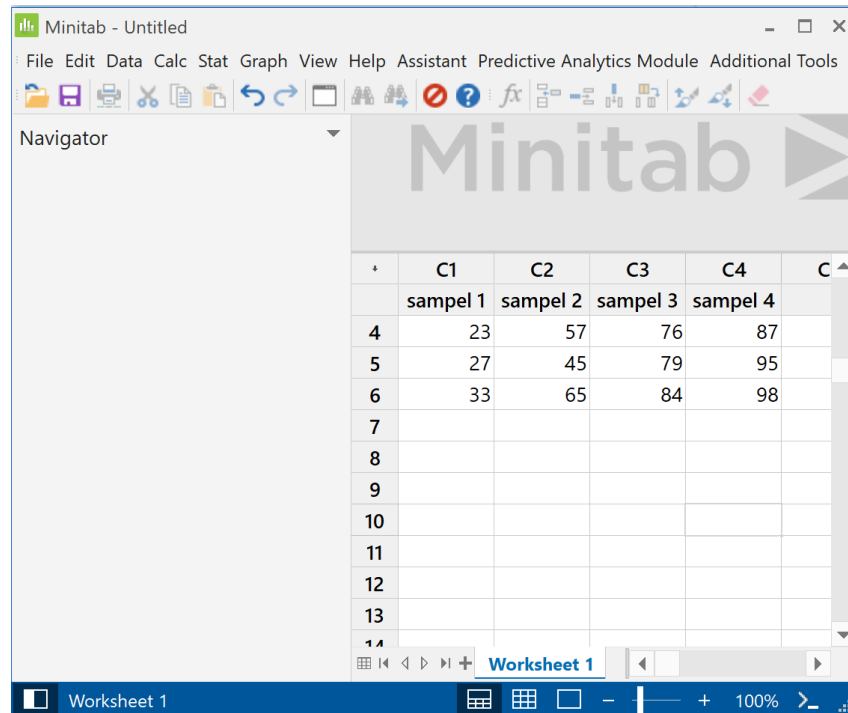
Jika P-Value $> \alpha$, maka terima hipotesis nol

3.10.2 Analisis Data dengan Metode F-test ANOVA

Pendekatan yang tepat untuk memverifikasi persamaan rata-rata yang berbeda, seperti dalam percobaan ini, adalah analisis varians (Anova), atau sering dikenal dengan uji-F. Tujuan utama dari analisis statistik ini adalah untuk menentukan signifikansi perbedaan antara semua rata-rata tingkat faktor. Dalam analisis statistik ini aturan keputusannya adalah apabila nilai F hitung (F_0) melebihi nilai F tabel, maka hipotesis nol harus ditolak dan dapat ditentukan bahwa tingkat berarti berbeda. Cara lain adalah dengan melihat nilai P. Jika nilai P kurang dari 0,05 maka hipotesis nol harus ditolak. Ada lima kelompok sampel yang diuji yaitu TA, TB, TC, TD, dan TE.

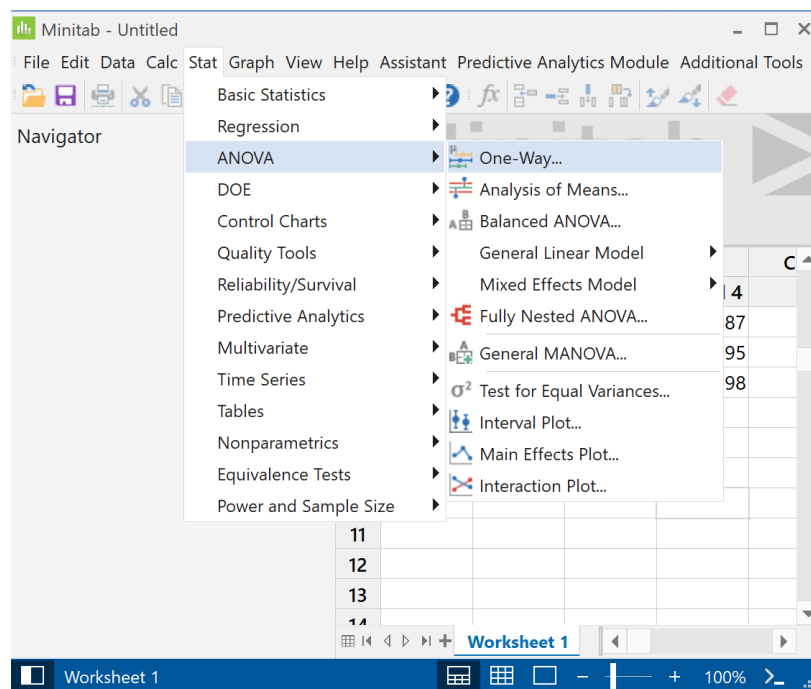
Langkah-langkah pengolahan data dengan metode T-test menggunakan minitab.

- Buka minitab
- Masukkan data anda kedalam worksheet Minitab. Tempatkan data sampel pertama di kolom pertama (kolom C1), data sampel kedua di kolom kedua (kolom C2) dan seterusnya.



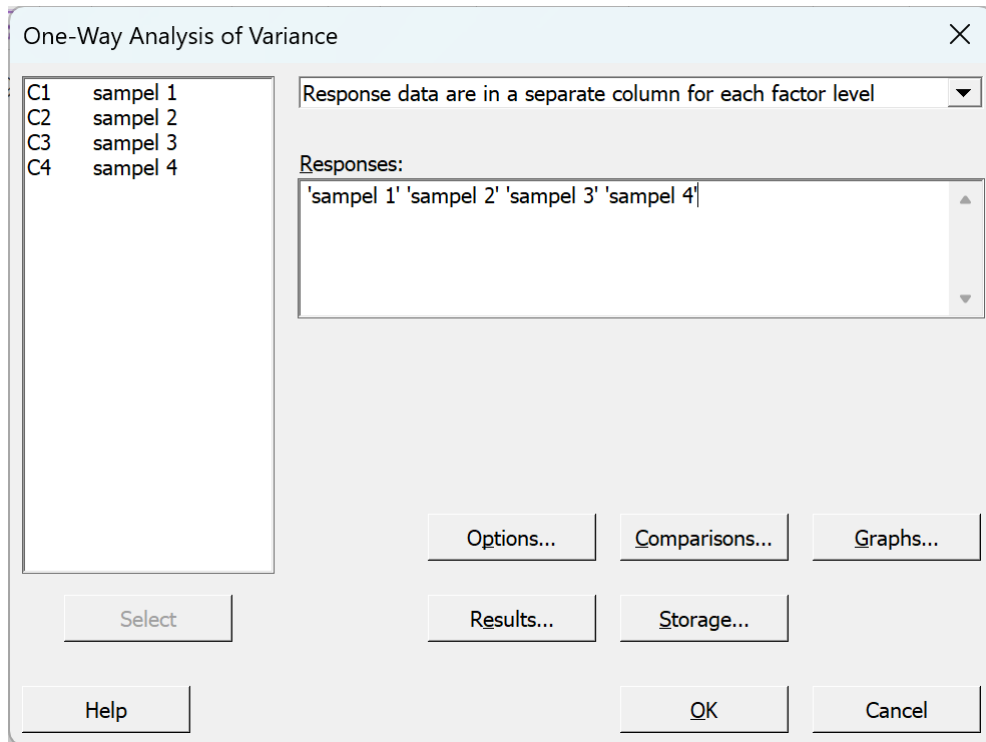
Gambar 3.13 Entry Data Minitab

c) Klik menu Stat > pilih ANOVA > klik One-Way



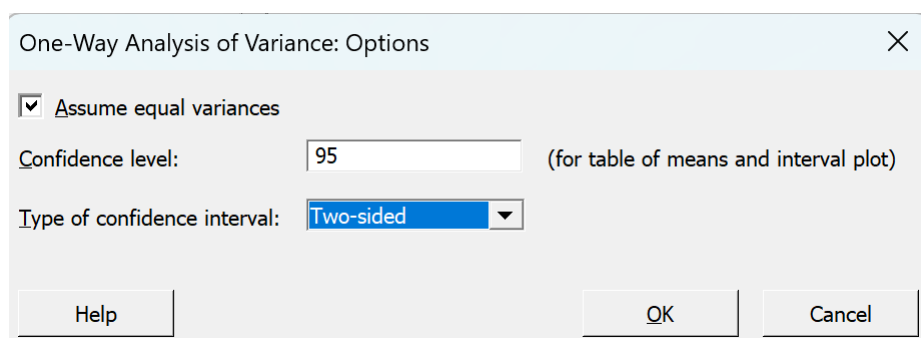
Gambar 3.14 Membuka Opsi ANOVA One-way

- d) Pada kotak dialog ANOVA One Way pastikan anda memilih “Response data are in separate column for each factor level”. Klik pada kotak responses lalu klik ganda semua kolom yang di pilih

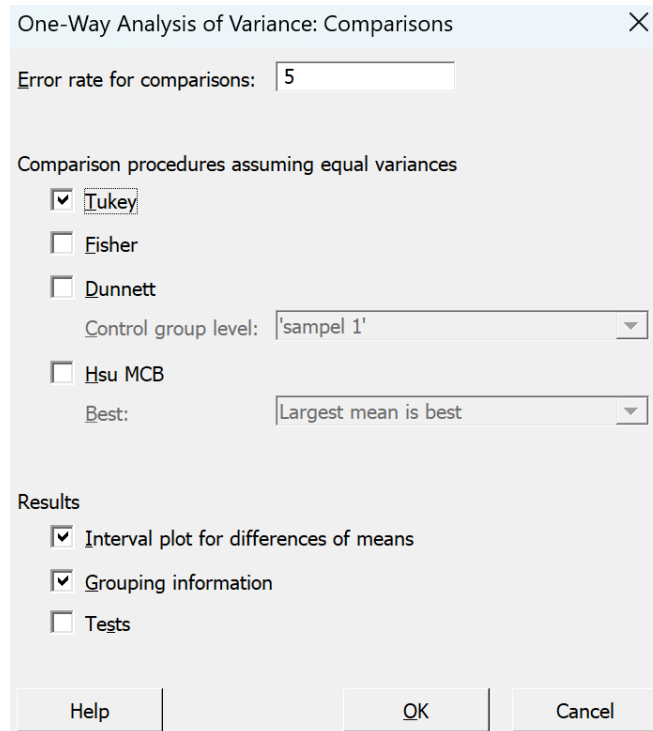


Gambar 3.15 Memasukan Data

- e) Klik Options jika anda ingin mengganti taraf kepercayaan dan arah hipotesis alternatif. Masukkan taraf kepercayaan pada kotak Confidence Level, lalu klik OK, Selanjutnya klik comparisons centang “tukey”



Gambar 3.16 Mamasukan Taraf Kepercayaan



Gambar 3.17 Memilih Tukey

f) Klik OK pada kotak dialog ANOVA One-Way

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	7486,3	2495,42	56,93	0,000
Error	8	350,7	43,83		
Total	11	7836,9			

Gambar 3.18 Hasil T-test

Pada output Minitab diatas didapat nilai F hitung = 43,83 dan P-Value = 0,000.

Pengambilan keputusan:

Jika $P\text{-Value} \leq \alpha$, maka tolak hipotesis nol

Jika $P\text{-Value} > \alpha$, maka terima hipotesis nol

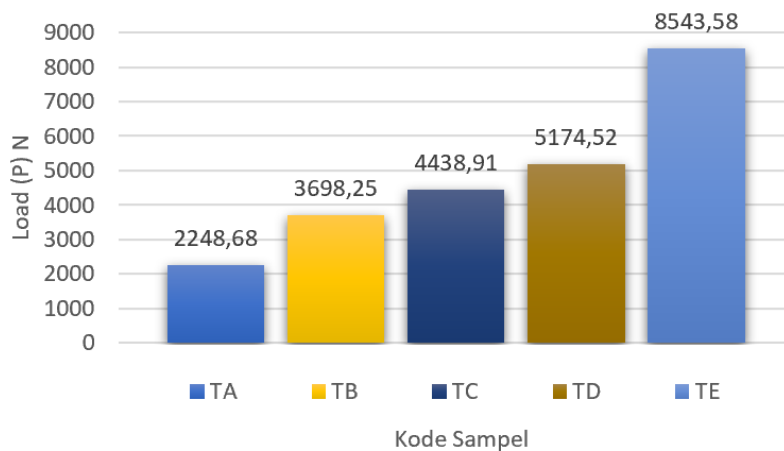
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Benda Uji

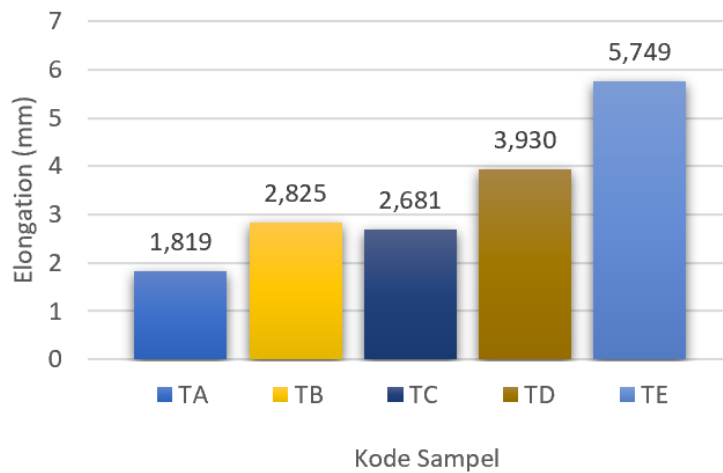
Dalam pengujian ini dilakukan dua jenis pengujian yaitu pengujian kuat tarik dan kuat lentur, dengan jumlah masing-masing benda uji 15 buah. Mengacu pada ASTM 3039 untuk pengujian tarik sedangkan ASTM D790 untuk pengujian lentur. Ada lima jenis atau variasi yang berbeda untuk proporsi benda uji, Hasil dan pembahasan untuk masing-masing pengujian akan dijelaskan berikut ini:

4.1.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan setelah benda uji dibuat sesuai dengan ASTM D-3039, benda uji berbentuk balok dengan ukuran 250 mm × 25 mm × 3 mm dengan 5 jenis variasi dapat dilihat pada Tabel 4.1. Benda uji sebanyak 3 buah untuk masing-masing variasi, benda uji dibuat manual dengan metode hand lay up, kemudian pengujian menggunakan *Electromechanical Universal Testing Machine* (UTM).



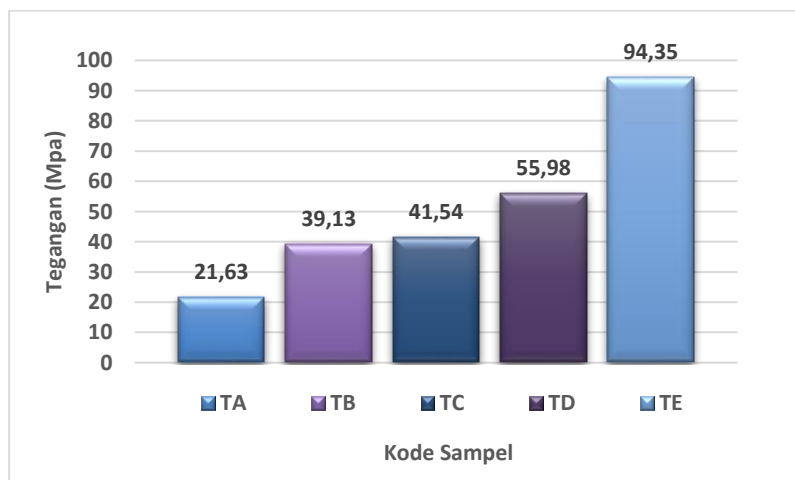
Gambar 4.1 Perbandingan beban pengujian tarik



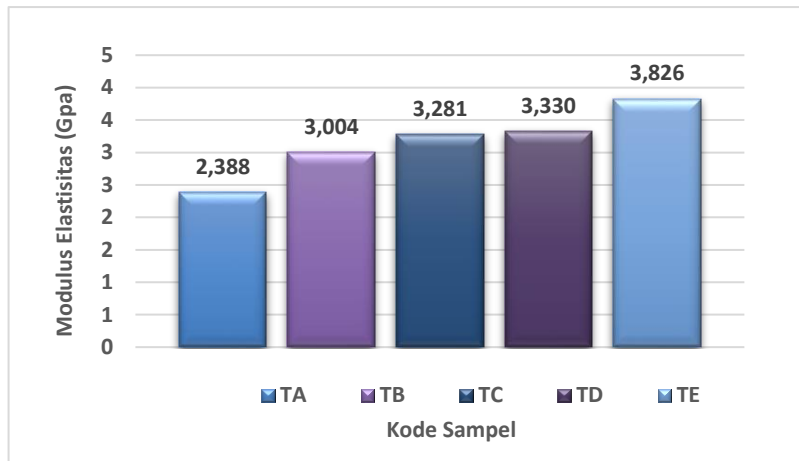
Gambar 4.2 Perbandingan elongation pengujian tarik

Gambar 4.1 menunjukkan data yang di dapatkan setelah dilakukan pengujian tarik, data tersebut terdapat nilai beban maksimum dan pertambahan panjang komposit. Nilai terendah terdapat pada sampel TA dan yang nilai tertinggi terdapat pada sampel TE, dapat dilihat pada gambar tersebut nilai beban maksimum setiap sampel relatif naik seiring dengan bertambahnya volume serat kaca. Selanjutnya dilakukan pengolahan data, data tersebut berupa tegangan, regangan dan modulus elastisitas.

Setelah dilakukannya pengujian dan didapatkan nilai beban dan elongation selanjutnya dilakukan tahap pengolahan data, hasil dari pengolahan data akan didapatkan nilai tegangan dan modulus elastis yang kemudian dimasukkan ke dalam diagram. Dapat dilihat pada Gambar 4.3 yaitu sebagai berikut:

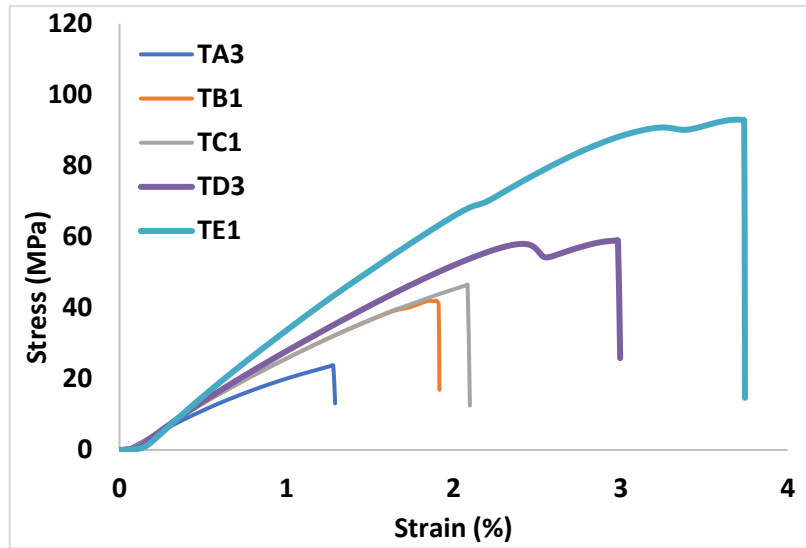


Gambar 4.3 Perbandingan tegangan tarik



Gambar 4.4 Perbandingan modulus elastisitas tarik

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan tegangan tarik semakin meningkat seiring dengan penambahan volume serak kaca, tegangan tarik terbesar terdapat pada sampel TE dengan proporsi serat kaca 30%, selain memiliki tegangan tarik terbesar proporsi serat kaca 30% ini juga memiliki kemampuan menahan beban paling tinggi sebesar 8543,48 N. Sedangkan nilai terendah terdapat pada sampel TA dengan nilai tegangan tarik sebesar 21,63 Mpa, yang digunakan sebagai kontrol dalam penelitian ini. Pada sampel TB terjadi kenaikan nilai tegangan tarik sebesar 80,94% dengan nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 39,13 Mpa. Pada sampel TC terjadi kenaikan nilai tegangan tarik sebesar 92,08% dengan nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 41,54 Mpa. Pada sampel TD terjadi kenaikan nilai tegangan tarik sebesar 158,85% dengan nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 58,98 Mpa. Sedangkan pada sampel TE terjadi peningkatan tegangan tarik yang paling besar yaitu 336,36% dengan nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 94,35 Mpa. Sedangkan pada Gambar 4.4 diatas menunjukkan perbandingan nilai rata-rata modulus elastisitas setiap benda uji. Hasil dari perhitungan modulus elastisitas pengujian tarik komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca cenderung naik, dengan nilai terendah terdapat pada sampel TA yaitu sebesar 2,39 Gpa., dan di ikuti Sampel TB, TC, TD, dan TE, dengan nilai berturut-turut yaitu 3,00 Gpa., 3,28 Gpa., 333, Gpa., dan 3,38 Gpa. Terjadinya peningkatan nilai tegangan maupun modulus elastisitas tarik seiring dengan penambahan volume serat kaca, ini disebabkan karena serat kaca memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 2000-3000 MPa, sedangkan serat rami memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 200-938 MPa.



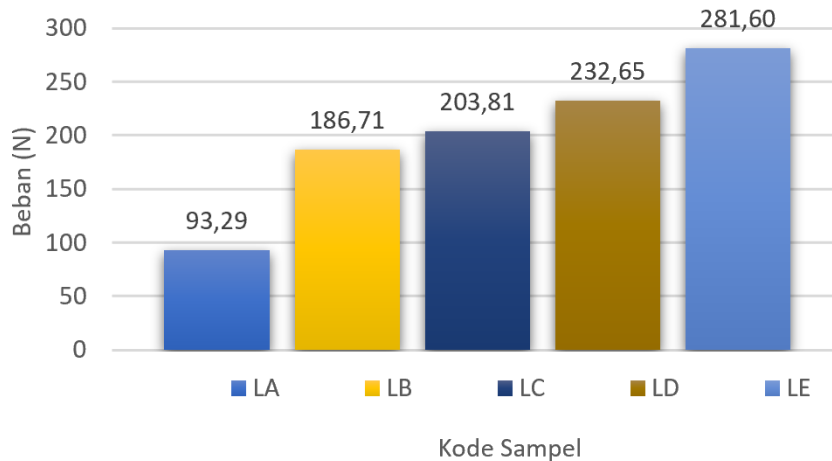
Gambar 4.5 Hubungan tegangan dan regangan kuat tarik

Grafik pada gambar 4.5 menunjukkan tegangan tarik terendah pada sampel TA3 sebesar 21,63 MPa dan tegangan tarik tertinggi pada sampel TE1 sebesar 94,35 MPa., dan untuk nilai sampel TB1, TC1 dan TD3 secara berturut-turut yaitu 39,13 Mpa., 41,54 Mpa., dan 55,98 Mpa. Dari ilustrasi grafik hubungan tegangan-regangan di atas terlihat bahwa sampel TA3 lebih daktile dibandingkan sampel TE1 akibat adanya regangan. Regangan terendah pada TA3 sebesar 1,213%, sedangkan regangan tertinggi pada TE1 sebesar 3,832%. Bentuk grafik di atas menunjukkan bahwa modulus elastisitas TE1 lebih besar dibandingkan dengan modulus elastis TA3, dilakukan perhitungan dengan rumus modulus elastisitas yaitu tegangan dibagi regangan maka diberikan nilai modulus elastis untuk selanjutnya dipastikan bentuknya dari grafik. Dapat dilihat bahwa trend grafiknya meningkat seiring dengan bertambahnya volume serat kaca.

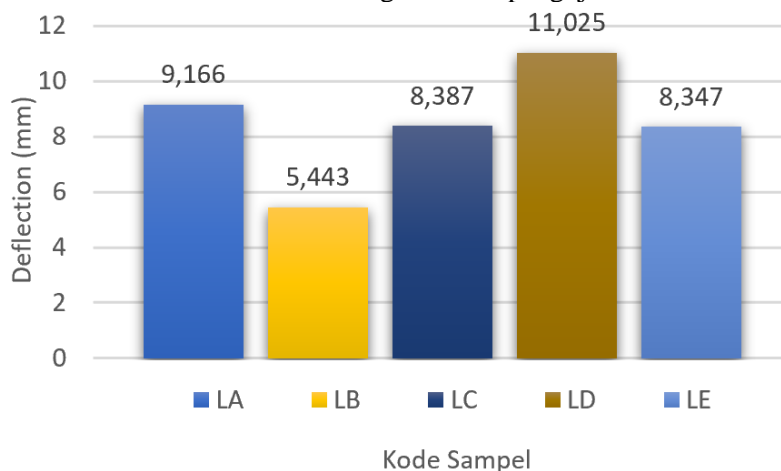
Regangan tarik yang dihasilkan masing-masing sampel menunjukkan tingkat daktilitasnya. Material yang memiliki tingkat daktilitas tertinggi adalah sampel TE1 karena pada kondisi tegangan tarik maksimal sampel TE1 mampu menghasilkan regangan yang paling besar. Sedangkan sampel TA3 merupakan sampel dengan tingkat daktilitas paling rendah karena regangan tarik yang dihasilkan paling kecil. Dari kelima jenis sampel, nilai rata-rata regangan yang dihasilkan masih kurang dari 5%. Hal tersebut menunjukkan bahwa komposit ini merupakan material yang getas. Jika dilihat menurut karakteristik komposit bahwa tren grafik cenderung menunjukkan terjadi patahan tanpa melalui proses mulur sehingga termasuk ke dalam jenis grafik hard and brittle.

4.1.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat tarik dilakukan setelah benda uji dibuat sesuai dengan ASTM D790, benda uji berbentuk balok dengan ukuran 125 mm × 12,5 mm × 3 mm dengan 5 jenis variasi dapat dilihat pada Tabel 4.2. Benda uji sebanyak 3 buah untuk masing-masing variasi, benda uji dibuat manual dengan metode hand lay up, kemudian pengujian menggunakan *Electromechanical Universal Testing Machine* (UTM).



Gambar 4.6 Perbandingan beban pengujian lentur



Gambar 4.7 Perbandingan defleksi pengujian lentur

Gambar 4.6 menunjukkan data setelah dilakukan pengujian lentur, data tersebut terdapat beban maksimum komposit. Beban terendah terdapat pada sampel LA dan yang nilai tertinggi terdapat pada sampel LE, dapat dilihat pada gambar tersebut nilai beban maksimum setiap sampel relatif naik seiring dengan bertambahnya volume serat kaca. Defleksi atau perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat

mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Selanjutnya dilakukan pengolahan data, data tersebut berupa tegangan, regangan dan modulus elastisitas.

Setelah dilakukannya pengujian dan didapatkan nilai beban dan deflection selanjutnya dilakukan tahap pengolahan data, tegangan lentur terjadi akibat adanya gaya momen yang disebabkan oleh beban vertikal yang bekerja pada penampang benda uji, sedangkan tegangan geser terjadi akibat adanya gaya geser yang bekerja pada penampang benda uji. Berikut perhitungan tegangan lentur dan tegangan geser dapat dilihat dibawah ini

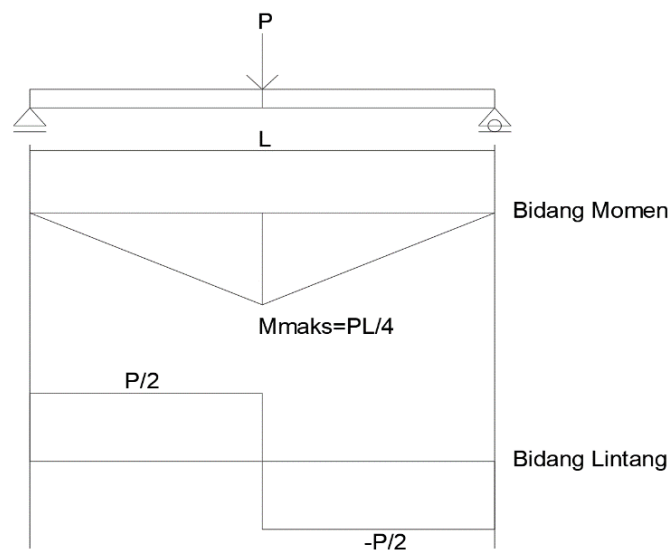
Perhitungan tegangan lentur dan tegangan geser pada sampel LA1

Diketahui :

Beban (P) : 97,14 N Panjang (L) : 70 mm

Lebar (b) : 14,3 mm Tebal (d) : 3,45 mm

Skema beban yang bekerja dapat dilihat pada gambar dibawah



Mencari nilai momen maksimum :

$$M_{maks} = \frac{PL}{4}$$

$$M_{maks} = \frac{97,14 \times 70}{4}$$

$$M_{maks} = 1699,97 \text{ Nmm}$$

Mencari nilai gaya geser maksimum :

$$D = \frac{P}{2}$$

$$D = \frac{97,14}{2}$$

$$D = 48,57 \text{ N}$$

Mencari nilai momen inersia (I) :

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$I = \frac{14,3 \times 3,45^3}{12}$$

$$I = 48,02 \text{ mm}^4$$

➤ Tegangan lentur dapat dihitung dengan rumus : $\sigma = \frac{M_{\text{maks}} Y}{I}$

Dikarenakan penampang berbentuk persegi panjang maka dapat dihitung dengan

$$Y = \frac{d}{2} = \frac{3,45}{2} = 1,73 \text{ mm}$$

Maka tegangan lentur dapat dihitung :

$$\sigma = \frac{M_{\text{maks}} Y}{I}$$

$$\sigma = \frac{1699,97 \times 1,73}{48,02}$$

$$\sigma = 61,07 \text{ MPa}$$

➤ Tegangan geser dapat dihitung dengan rumus : $\tau = \frac{D S}{I b}$

Dikarenakan penampang berbentuk persegi panjang maka dapat dihitung dengan S (Statis momen)

$$= \frac{bd^2}{8} = \frac{14,3 \times 3,45^2}{8}$$

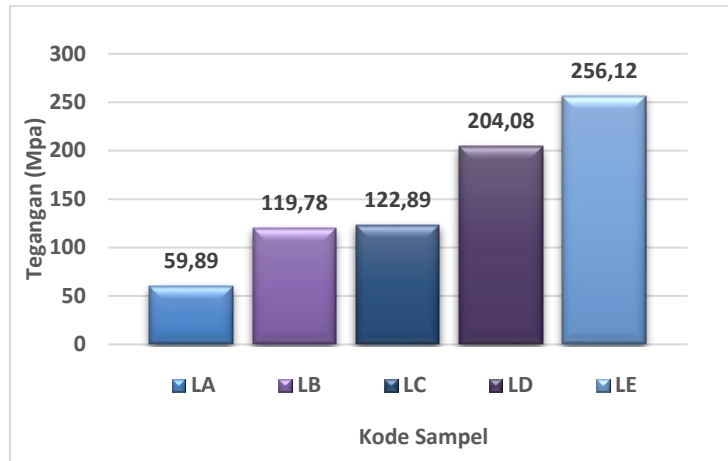
$$= 20,88 \text{ mm}^3$$

Maka tegangan geser dapat dihitung :

$$\tau = \frac{D S}{I b} = \frac{48,57 \times 20,88}{48,02 \times 14,3}$$

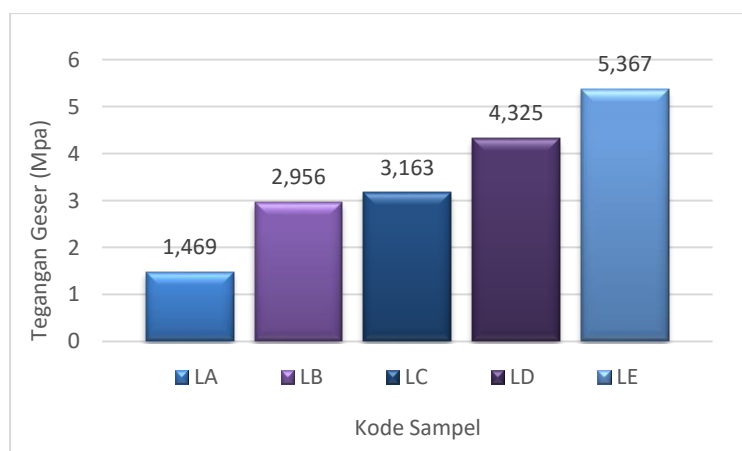
$$= 1,505 \text{ MPa}$$

Perhitungan untuk sampel lainnya dapat di lihat pada tabel lampiran 2.2



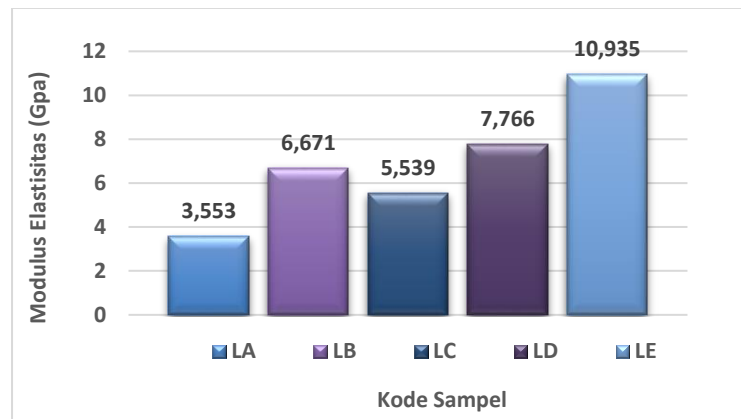
Gambar 4.8 Perbandingan tegangan lentur

Gambar 4.8 menunjukkan tegangan lentur semakin meningkat seiring dengan penambahan volume serat kaca, Tegangan lentur terbesar terdapat pada sampel LE dengan proporsi serat kaca 30%, selain memiliki tegangan lentur terbesar proporsi serat kaca 30% Sedangkan nilai terendah terdapat pada sampel LA dengan nilai tegangan lentur sebesar 59,89 Mpa, yang digunakan sebagai kontrol dalam penelitian ini. Pada sampel LB terjadi kenaikan nilai tegangan lentur sebesar 100% dengan nilai tegangan lentur rata-rata sebesar 119,78 Mpa. Pada sampel LC terjadi kenaikan nilai tegangan lentur sebesar 105,18% dengan nilai tegangan lentur rata-rata sebesar 122,89 Mpa. Pada sampel LD terjadi kenaikan nilai tegangan lentur sebesar 240,74% dengan nilai tegangan lentur rata-rata sebesar 204,08 Mpa. Sedangkan pada sampel LE terjadi peningkatan tegangan lentur yang paling besar yaitu 327,63% dengan nilai tegangan lentur rata-rata sebesar 256,12 Mpa.



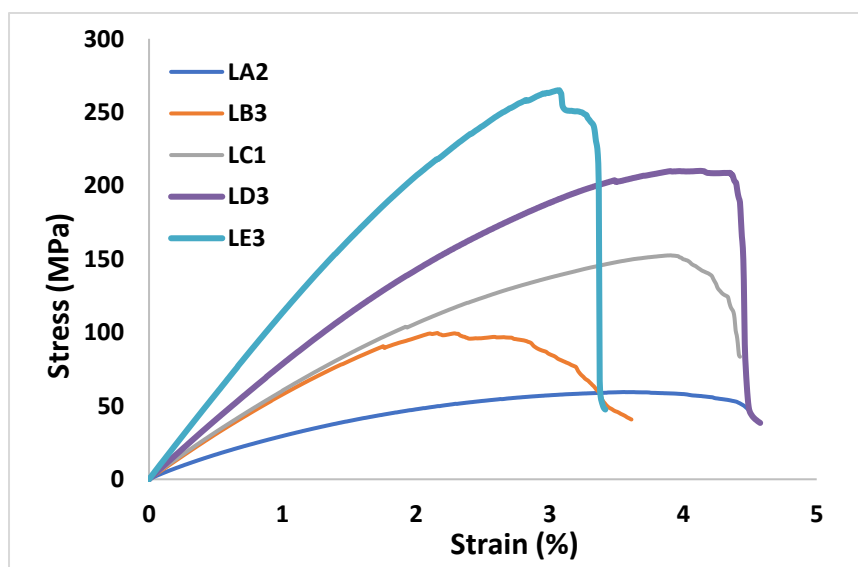
Gambar 4.9 Perbandingan tegangan geser

Gambar 4.9 menunjukkan nilai tegangan geser relatif meningkat seiring dengan penambahan volume serat kaca. Nilai terendah terdapat pada sampel LA sebesar 1,47 Mpa dan nilai tertinggi terdapat pada sampel LE sebesar 5.37 Mpa. Tegangan geser terjadi akibat lentur yang terjadi pada komposit yaitu lentur tak seragam dimana adanya beban yang bekerja, balok akan berubah menjadi suatu lengkungan yang mengakibatkan terjadinya gaya geser pada balok.



Gambar 4.10 Perbandingan modulus elastisitas lentur

Diagram di atas menunjukkan perbandingan nilai modulus elastisitas setiap sampel. Hasil dari perhitungan modulus elastisitas pengujian tarik komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca cenderung naik turun, dengan nilai terendah terdapat pada sampel TA yaitu sebesar 3,27 GPa., dan di ikuti Sampel TB, TC, TD, dan TE, dengan nilai berturut-turut yaitu 6,67 GPa., 5,54 GPa., 7,77 GPa., dan 10,93 GPa.



Gambar 4.11 Hubungan antara tegangan dan regangan kuat lentur

Grafik pada gambar 4.11 menunjukkan tegangan lentur terendah pada sampel LA2 sebesar 59,89 MPa dan tegangan lentur tertinggi pada sampel LE3 sebesar 256,12 MPa., dan untuk nilai sampel LB3, LC1 dan LD3 secara berturut-turut yaitu 119,78 Mpa., 122,89 Mpa., dan 204,08 Mpa. Dari ilustrasi grafik hubungan tegangan-regangan di atas terlihat bahwa sampel LE3 lebih getas dibandingkan sampel LA2 akibat adanya regangan. Regangan terendah pada LE3 sebesar 3,005%, sedangkan regangan tertinggi pada LA2 sebesar 3,861%. Bentuk grafik di atas menunjukkan bahwa modulus elastisitas LE3 lebih besar dibandingkan dengan modulus elastisitas LA2, dilakukan perhitungan dengan rumus modulus elastisitas yaitu tegangan dibagi regangan maka diberikan nilai modulus elastis untuk selanjutnya dipastikan bentuknya dari grafik. Dapat dilihat bahwa nilai tegangan lentur maupun tegangan geser trend grafiknya meningkat seiring dengan bertambahnya volume serat kaca.

Regangan tarik yang dihasilkan masing-masing sampel menunjukkan tingkat daktilitasnya. Material yang memiliki volume serat rami lebih banyak cenderung bersifat daktil karena pada kondisi tegangan lentur maksimal mampu menghasilkan regangan yang besar. Sedangkan sampel yang memiliki volume serat kaca yang lebih banyak cenderung bersifat getas karena pada kondisi tegangan lentur maksimal mampu menghasilkan regangan lentur yang dihasilkan kecil. Jika dilihat menurut karakteristik komposit bahwa pada sampel LD3 dan LE3 yang memiliki volume serat kaca lebih banyak tren grafik cenderung menunjukkan terjadi patahan tanpa melalui proses mulur sehingga termasuk ke dalam jenis grafik hard and brittle, hal ini terjadi karena sedangkan pada sampel LA2, LB3 dan LC1 yang memiliki volume serat rami cenderung menunjukkan terjadi patahan melalui proses mulur sehingga termasuk ke dalam jenis grafik soft and tough.

Pengertian daktilitas adalah kemampuan dari material /struktur untuk menahan tegangan plastis tanpa mengalami penurunan yang drastis dari tegangan. Daktilitas dapat dihitung dengan rumus:

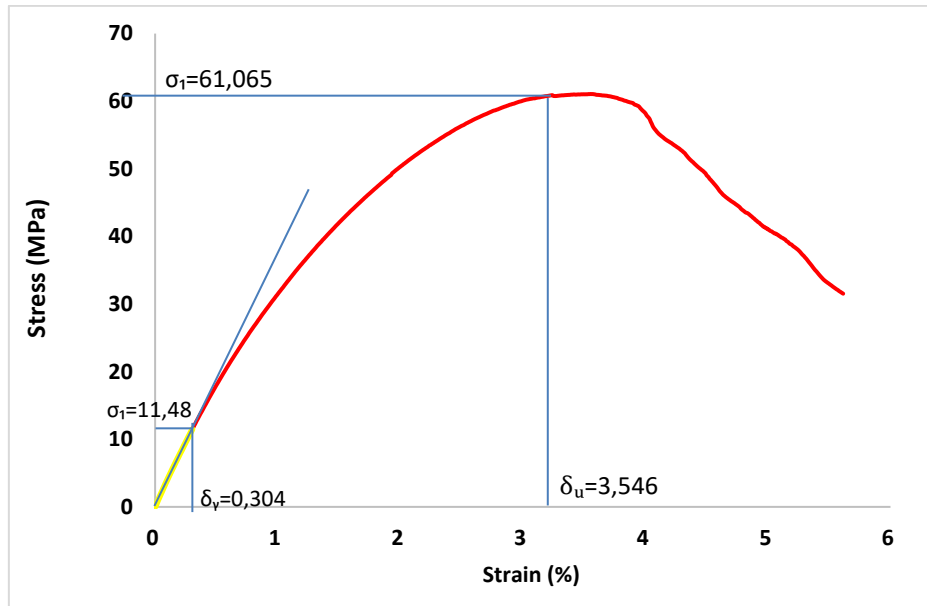
$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

Dimana :

μ = Daktilitas

δ_u = Simpangan ultimit

δ_y = Simpangan leleh



Gambar 4.12 Hubungan antara tegangan dan regangan kuat lentur sampel LA1

Daktilitas dapat dihitung dengan:

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{3,546}{0,304} = 11,66$$

Nilai selanjutnya dapat di lihat pada tabel di bawah ini:

Table 4.1 Nilai daktilitas

Nama Spesimen	Simpangan leleh (δ_y)	Simpangan ultimit (δ_u)	Daktilitas
LA1	0,304	3,546	11,663
LA2	0,187	3,551	18,990
LA3	0,350	4,487	12,820
Rata-rata	0,280	3,861	14,491
LB1	0,704	2,901	4,121
LB2	0,437	1,841	4,212
LB3	0,481	2,154	4,477
Rata-rata	0,541	2,298	4,270
LC1	0,734	3,900	5,314
LC2	0,610	3,175	5,205
LC3	0,630	4,073	6,465
Rata-rata	0,658	3,716	5,661
LD1	0,771	3,972	5,152
LD2	0,809	3,920	4,845
LD3	0,787	4,122	5,238
Rata-rata	0,789	4,005	5,078
LE1	0,720	2,941	4,085
LE2	0,703	3,009	4,281
LE3	0,688	3,066	4,457
Rata-rata	0,704	3,006	4,274

Dapat dilihat pada gambar 4.12 di dapatkan nilai simpangan ultimit, dimana simpangan ultimit merupakan nilai regangan yang saat terjadinya tegangan maksimum. Sedangkan nilai simpangan leleh merupakan nilai regangan saat material mencapai batas elastis. Sehingga di dapatkan nilai daktilitas pada pada Tabel 4.1 nilai daktilitas tertinggi terdapat pada sampel LA yang memiliki proporsi serat rami 30% sedangkan nilai daktilitas sampel LB, LC, LD dan LE secara berturut adalah 4,270, 5,661, 6,078, dan 4,274. Maka dapat diketahui bahwa serat rami memiliki daktilitas lebih besar dari pada serat kaca, sedangkan serat kaca memiliki sifat getas namun kuat.

4.2 Analisa Statistik Dengan Software Minitab

Uji statistik dilakukan dalam penelitian ini untuk menilai apakah hibridisasi serat berpengaruh signifikan terhadap tegangan tarik dan lentur komposit. Eksperimen komparatif dasar adalah pekerjaan eksperimental di mana dua kondisi atau perlakuan dibandingkan untuk melihat apakah mereka menghasilkan hasil yang sama (Montgomery, 2009). Ada dua metode rancangan eksperimen yang akan digunakan dalam penelitian ini, yakni; untuk menguji apakah terdapat perbedaan signifikan antara dua kelompok atau populasi disebut dengan T-test. Dan untuk menguji hubungan antara dua atau lebih set data, analisis ini disebut dengan ANOVA yang kadang-kadang disebut juga dengan F-test, salah satu dari analisis ragam adalah analisis ragam satu jalur atau juga disebut dengan one way ANOVA.

4.2.1 Pengaruh Hibridisasi Komposit Berdasarkan Uji T

Uji T dilakukan untuk menguji apakah terdapat perbedaan signifikan antara dua kelompok atau populasi. Ada dua kelompok sampel yang diuji yaitu komposit yang diperkuat hanya dengan 30% serat rami dan komposit yang diperkuat dengan kombinasi 15% serat rami dan 15% serat kaca. T-Test adalah pendekatan statistik yang cocok untuk melakukan analisis untuk jenis tes yang membandingkan dua kelompok sampel, dan percobaan ini dikenal sebagai percobaan komparatif sederhana. Serangkaian uji coba dilakukan dalam desain eksperimen statistik semacam ini untuk mengevaluasi apakah mengubah satu variabel dari satu kondisi ke kondisi lainnya.

Berdasarkan hasil penelitian komposit hibridisasi serat rami dan serta kaca akan mempengaruhi kuat tarik dan kuat lentur komposit. Selanjutnya dilakukan analisis statistik T-test menggunakan software Minitab untuk mengetahui tingkat signifikansi

pengaruh hibridisasi serat rami dan kaca pada komposit terhadap kuat tarik dan kuat lentur. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan nilai T-tabel. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan tabel distribusi T-Statistics seperti pada Gambar 4.11. Langkah pertama adalah menentukan nilai T-tabel. Nilai ini diperoleh dengan menggunakan tabel distribusi T-Statistics, seperti disajikan pada Gambar 4.12. Ada tiga faktor yang dipertimbangkan dalam menentukan nilai ini, yaitu nilai α (tingkat toleransi kesalahan), jumlah total sampel yang diuji (N) dan jumlah perlakuan atau variasi termasuk kontrol (a). Pada penelitian ini jumlah sampel (N) adalah 6, α sama dengan 0,05 dan (a) sama dengan 2. Selanjutnya dari ketiga faktor tersebut diperoleh nilai T-tabel, dengan menggunakan nilai parameter $(N-a) = 4$. Berdasarkan tabel distribusi T-Statistic seperti pada Gambar 4.13, nilai T-tabel sebesar 2,776.

TABEL NILAI DALAM DISTRIBUSI t

α untuk uji dua pihak (two tail test)						
	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
α untuk uji satu pihak (one tail test)						
dk	0,25	0,10	0,005	0,025	0,01	0,005
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,692	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,691	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,690	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	0,689	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921

Gambar 4.13 Nilai T-tabel berdasarkan distribusi T-Statistic

Two-Sample T-Test and CI: TC; TA

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
TC	3	41,54	4,30	2,5
TA	3	21,63	3,57	2,1

Estimation for Difference

Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference
19,91	3,95	(10,96; 28,87)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
6,17	4	0,003

Gambar 4.14 Hasil T-test kuat Tarik

Two-Sample T-Test and CI: LC; LA

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
LC	3	122,9	25,9	15
LA	3	59,89	1,02	0,59

Estimation for Difference

Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference
63,0	18,3	(21,5; 104,5)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
4,22	4	0,014

Gambar 4.15 Hasil T-test kuat lentur

Hasil pengujian T-test dengan software minitab yang di yang di ditampilkan pada Gambar 4.14 untuk hasil uji tarik dan Gambar 4.15 untuk hasil uji lentur, dua hal penting yang perlu di perhatikan dalam pengambilan keputusan yaitu T-value (T hitung) dan P-value. Terdapat nilai T-value untuk kuat tarik sebesar 6,17 dan T-Value 4,22 untuk kuat lentur, lebih besar daripada T-tabel yang sebesar 2,776 . Sedangkan P-value untuk kuat tarik sebesar 0,003 dan 0,014 untuk kuat lentur dimana lebih kecil daripada 0,05 (tingkat kesalahan 5%), maka hipotesis H_0 ditolak dan sebagai konsekuensinya H_1 diterima. Hal ini bermakna terdapat perbedaan yang signifikan atau terdapat pengaruh yang signifikan antara komposit serat rami dan hibridisasi serat rami dan serat kaca terhadap kuat tarik dan kuat lentur.

4.2.2 Pengaruh Hibridisasi Komposit Berdasarkan Uji F (ANOVA)

Untuk menguji hubungan antara dua atau lebih set data, analisis ini disebut dengan ANOVA yang kadang-kadang disebut juga dengan F-test, salah satu dari analisis ragam adalah analisis ragam satu jalur atau juga disebut dengan one way ANOVA. Tujuan utama dari analisi statistik ini adalah untuk menentukan signifikansi perbedaan antara semua rata-rata tingkat faktor. Dalam analisis statistik ini aturan keputusannya adalah apabila nilai F hitung (F_0) melebihi nilai F tabel, maka hipotesis

nol harus ditolak dan dapat ditentukan bahwa tingkat berarti berbeda. Cara lain adalah dengan melihat nilai P. Jika nilai P kurang dari 0,05 maka hipotesis nol harus ditolak. Ada lima kelompok sampel yang diuji yaitu TA, TB, TC, TD, dan TE.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan nilai F-tabel. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan tabel distribusi F-Statistics seperti pada Gambar 4.15. Terdapat tiga faktor yang diperhitungkan untuk menentukan nilai tersebut, yaitu nilai α (tingkat toleransi kesalahan), jumlah total sampel yang diuji (N) dan jumlah perlakuan atau variasi termasuk kontrol (a). Pada penelitian ini jumlah sampel yang digunakan (N) adalah 15 dan jumlah perlakuan (a) adalah 5. Selanjutnya dari ketiga faktor tersebut diperoleh nilai F-tabel sebesar 3,48, dengan menggunakan nilai parameter N1 (a-1) = 4 dan N2 (N-a) = 10. Dapat dilihat pada Gambar 4.16

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35

Gambar 4.16 Nilai F-tabel berdasarkan distribusi F-Statistic

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	5	TA; TB; TC; TD; TE

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	8987,7	2246,92	42,86	0,000
Error	10	524,2	52,42		
Total	14	9511,9			

Gambar 4.17 Hasil F-test kuat Tarik

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	5	LA; LB; LC; LD; LE

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	71760	17940,0	26,25	0,000
Error	10	6834	683,4		
Total	14	78594			

Gambar 4.18 Hasil F-test kuat Lentur

Hasil pengujian F-test dengan software minitab yang di yang di tampilkan pada Gambar 4.17 untuk hasil uji tarik dan Gambar 4.18 untuk hasil uji lentur, Terdapat nilai F-value untuk kuat tarik sebesar 42,86 dan F-Value 26,25 untuk kuat lentur, lebih besar daripada T-tabel yang sebesar 3,48. Sedangkan P-value untuk kuat tarik sebesar 0,000 dan 0,000 untuk kuat lentur dimana lebih kecil dari 0,05 tingkat kesalahan 5%), maka hipotesis H_0 ditolak dan sebagai konsekuensinya H_1 diterima. Hal ini bermakna terdapat perbedaan yang signifikan atau terdapat pengaruh yang signifikan antara komposit serat rami dan hibridisasi serat rami dan serat kaca terhadap kuat tarik dan kuat lentur.

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
TE	3	94,35	A
TD	3	55,98	B
TC	3	41,54	B
TB	3	39,13	B C
TA	3	21,63	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
TB - TA	17,51	5,91	(-1,93; 36,94)	2,96	0,083
TC - TA	19,91	5,91	(0,48; 39,35)	3,37	0,044
TD - TA	34,35	5,91	(14,92; 53,79)	5,81	0,001
TE - TA	72,72	5,91	(53,28; 92,16)	12,30	0,000
TC - TB	2,41	5,91	(-17,03; 21,85)	0,41	0,993
TD - TB	16,85	5,91	(-2,59; 36,29)	2,85	0,099
TE - TB	55,22	5,91	(35,78; 74,65)	9,34	0,000
TD - TC	14,44	5,91	(-5,00; 33,88)	2,44	0,181
TE - TC	52,81	5,91	(33,37; 72,24)	8,93	0,000
TE - TD	38,37	5,91	(18,93; 57,81)	6,49	0,001

Gambar 4.19 Hasil Uji Tukey Tarik

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
LE	3	256,1	A
LD	3	204,08	A
LC	3	122,9	B
LB	3	119,8	B
LA	3	59,892	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
LB - LA	59,9	21,3	(-10,3; 130,1)	2,81	0,106
LC - LA	63,0	21,3	(-7,2; 133,2)	2,95	0,085
LD - LA	144,2	21,3	(74,0; 214,4)	6,76	0,000
LE - LA	196,2	21,3	(126,0; 266,4)	9,19	0,000
LC - LB	3,1	21,3	(-67,1; 73,3)	0,15	1,000
LD - LB	84,3	21,3	(14,1; 154,5)	3,95	0,018
LE - LB	136,3	21,3	(66,1; 206,5)	6,39	0,001
LD - LC	81,2	21,3	(11,0; 151,4)	3,80	0,023
LE - LC	133,2	21,3	(63,0; 203,4)	6,24	0,001
LE - LD	52,0	21,3	(-18,1; 122,2)	2,44	0,182

Gambar 4.20 Hasil Uji Tukey Lentur

Selanjutnya untuk melengkapi hasil ANOVA, dilakukan uji lanjutan tukey. Berdasarkan hasil pengelompokan yang dilakukan dengan metode tukey yang di tampilkan pada Gambar 4.19 hasil pengujian tarik bahwa terdapat 3 subset variabel atau terbagi menjadi 3 kelompok, dimana TA dan TB berada dalam satu kelompok, kemudian TB, TC, dan TD berada dalam satu kelompok, dan yang terakhir TE sendiri berada dalam satu kelompok. Dalam hasil tukey dapat dilihat bahwa yang memberikan pengaruh yang paling signifikan adalah sampel TE.

Kemudian pada Gambar 4.20 hasil dari pengujian lentur terdapat 2 subset variabel atau terbagi dalam 2 kelompok, dimana LA, LB, dan LC berada dalam satu kelompok, kemudian LD, dan LE berada dalam satu kelompok. Dalam hasil tukey dapat dilihat bahwa yang memberikan pengaruh yang paling signifikan ialah sampel LE.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap komposit epoksi yang diperkuat dengan hibridisasi serat rami dan serat kaca di laboratorium, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perilaku hibridisasi komposit terhadap kuat tarik dan kuat lentur

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium diperoleh kekuatan tarik untuk sampel TA, TB, TD, dan TE berturut-turut sebesar 21,63 MPa., 39,13MPa., 41,54 MPa., 55,98 MPa., dan 94,35 MPa, dengan nilai terbesar terdapat pada sampe TE dan yang terendah terdapat pada sampe TA. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa niali kekuatan tarik komposit relatif naik seiring dengan bertambahnya volume serat kaca. Sedangkan nilai kekuatan lentur komposit untuk sampel LA, LB, LD, dan LE berturu-turut sebesar 59, 89 MPa., 119,78 Mpa., 122,89 MPa., 204,08 MPa., dan 256,12 MPa, dengan nilai terbesar terdapat pada sampe LE dan yang terendah terdapat pada sampe LA. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan lentur komposit relatif naik seiring dengan bertambahnya volume serat kaca.

2. Pengaruh komposit hibridisasi berdasarkan analisa statistik dengan minitab.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian dapat dibuktikan secara statistik untuk signifikansi pengaruh penambahan serat kaca pada komposit serat rami dilakukan dengan uji T, baik kekuatan tarik maupun lentur dapat diperoleh hasil bahwa P-value lebih kecil daripada α (tingkat toleransi kesalahan) yang berarti bahwa hipotesis H_0 ditolak dan sebagai konsekuensinya H_1 diterima. Hal ini bermakna terdapat perbedaan yang signifikan atau terdapat pengaruh yang signifikan antara komposit serat rami dan komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca terhadap kuat tarik dan kuat lentur. Selanjutnya uji F (ANOVA) dilakukan untuk menentukan signifikansi perbedaan antara semua rata-rata sampel yaitu sebanyak 5 variasi sampel, dari hasil analisis diperoleh diperoleh hasil bahwa P-value lebih kecil daripada α (tingkat toleransi kesalahan) yang berarti bahwa hipotesis H_0 ditolak dan sebagai konsekuensinya H_1 diterima. Hal ini bermakna

terdapat perbedaan yang signifikan atau terdapat pengaruh yang signifikan dari kelima variasi komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca terhadap kuat tarik dan kuat lentur.

5.2. Saran

Penelitian tentang perilaku tarik dan lentur komposit epoksi yang diperkuat dengan hibridisasi serat rami dan serat kaca sudah cukup memenuhi harapan, namun masih mempunyai kekurangan, oleh karena itu, peneliti memberikan saran sebagai berikut :

1. Selama proses pembuatan komposit, diperlukan ketelitian untuk mencegah cacat pada komposit
2. Pada proses pemotongan spesimen usahakan untuk lebih teliti agar tidak cacat dan agar lebih presisi sesuai ASTM yang digunakan.
3. Melakukan penelitian serupa dengan memanfaatkan serat yang berbeda dapat dilakukan untuk melihat serat mana yang terbaik dalam meningkatkan sifat mekanik komposit.
4. Melakukan penelitian serupa dengan memanfaatkan pengaruh lingkungan dapat dilakukan untuk melihat ketahanan komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- Aeroengineering, 2017. Bahan Pesawat Aeromodeling Polyfoam. Open website (<http://aeroengineering.co.id/2016/01/bahan-pada-pesawat-aeromodeling/>).
- Alavudeen, A., N. et al., (2015), Mechanical properties of banana/kenaf fiber-reinforced hybrid polyester composites: Effect of woven fabric and random orientation. *Materials & Design* 66 : 246-257.
- Arroyah, F. A., (2022). *Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Sifat Mekanik Komposit Poliester yang Diperkuat dengan Serat Rami* (Skripsi Universitas Mataram). Repositori Universitas Mataram.
- ASTM. D3039/D3039M, Standard Test Methods For Tensile Propertise of Polymer Matrix Composite Materials, American Society for Testing and Materials., 2000
- ASTM. D790/D790M, Standard Test Methods For Bending Propertise of Polymer Matrix Composite Materials, American Society for Testing and Materials., 2000
- Djapprie, H. 1993. *Metalurgi Mekanik*. Jilid I. Edisi Ketiga. PT. Erlangga, Jakarta
- Masruri, D., dkk. (2006). *Pengaruh Orientasi Sudut Anyaman Serat Cantula Terhadap Kekuatan Bending Dan Gaya Tarik Paku Komposit Semen Serbuk Aren-Cantula*, ISBN, 978-602-99334-0-6
- Fahmi, H., 2011. et al, (2011) *Pengaruh Orientasi serat Pada Komposit Resin Polyester Serat Daun Nanas Terhadap Kekuatan Tarik*, Padang, 2011.
- Gunandar, A. W., (2021). *Analisis Kekuatan Tarik dan Impact Bahan Komposit Hybrid Berpenguat Serbuk Kayu Akasia dan Tandan Kosong Kelapa Sawit*, (Skripsi Universitas Islam Riau Pekanbaru). Repositori Universitas Islam Riau Pekanbaru
- Guneri, A., 2001. *Handbook of Composite Fabrication*. Rapra Technology Ltd. Shrewbury. Shropshire SY4 4NR, UK. ISBN: 1-85957-263-4
- Hendra, M., (2002). *Pengendalian Bahan Komposit*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sumatra Utara.
- Masruri, D. W. et al., (2006), “Pengaruh Orientasi Sudut Anyaman Serat Cantula Terhadap Kekuatan Bending Dan Gaya Tarik Paku Komposit Semen Serbuk Aren – Cantula,” pp. 16–20,
- Matthews, F.L. dkk (1993) *Composite Material Engineering and Science*. Imperial Collage Of Science, Technology and Medicine, London, UK.
- Montgomery, D.C. (2009) *Introduction to Statistical Quality Control*. 6th Edition.
- Nurun, N. 2013. *Teknologi Material Komposit*. Ecture Material. Universitas Negeri Malang. Malang

- Nasmi H.S, 2010. Analisis kekuatan bending material komposit diperkuat serat pandan wangi dengan matrik polyester dan epoxy, *Jurnal Teknik Mesin, ITS*, Vol. 10, No. 3. Hal. 147-155. ISSN 1411-9471.
- Paundra, F., dkk. (2022). Analisa Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Berpenguat Serat Batang Pisang kepok dan Serat Pinang, *Journal Mechanical Engineering (NJME)*, 11(1),
- Purkuncoro, A. E., dkk. (2014). Pemanfaatan Komposit *Hybrid* Sebagai Produk Panel Pintu Rumah Serat Bulu Ayam (*Chicken Feather*) dan Serat Ijuk (*Arenga Pinata*) Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat *Thermal* Komposit *Hybrid* Matrik *Polyester*, *Jurnal Ilmiah Indutri Inovatif*, 4(2), 20-24.
- Rachman (2022) “Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Sifat-sifat Tarik Komposit Diperkuat Unidirectional Serat Tebu dengan Matrik Poliester,” *J. Ilm. SEMESTA Tek.*, vol. 14, no. 2, pp. 133–138, 2015.
- Sari, N. H., dkk. (2011). Ketahan Bending Komposit *Hybrid* Serat Batang Kelapa/Serat Gelas Dengan Matrik Urea Formaldehyde, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M*, 5(1), 91-97.
- Sari, N., H., & Sinarep (2011). Analisa Kekuatan Bending Komposit Epoksi dengan Penguat Serat Nilon, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M*, 10(3), 147-155.
- Sanjay, M.R. and Yogesha, B. (2016) Studies on Mechanical Properties of Jute/E-Glass Fiber Reinforced Epoxy Hybrid Composites. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 4, 15-25.
- Savetlana & met, (2016) pengaruh ukuran serbuk hydroxyapatite berbahan batu kapur lampung terhadap kekerasan komposit hydroxyapatite/polylactic acid sebagai pengisi tulang (bone filler). Jurusan teknik mesin fakultas teknik universitas lampung 2020
- Schwartz, 1984. *Composite Material Handbook*, McGraw-Hill Book Company, New york.
- Siagian, E.M. (2017). Sifat komposit berpenguat serat buah pinang dengan fraksi berat 2%, 4%, 6% dan 8%. Jurusan Teknik Mesin Univeritas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Sirait, D.,H., 2010. “Material Komposit” Erlangga, Jakarta
- Timings, R.L., (1998) “Engineering *materials*” Longman, 2000
- Widodo, B. (2008) Analisa sifat mekanik komposit epoksi dengan penguat serat pohon aren (ijuk) model lamina berorientasi sudut acak (random), *Jurnal teknologi technoscintia issn: 1979-8415, e-issn: 2714-8025*
- Wijaya, D., and Hidayat, S., (2022). Pengaruh Fraksi Volume Serat Pada Komposit Hybrid Serat Tebu dan Srrat Sabut Kelapa Terhadap Kekuatan Tarik, *Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS)*, 13(1), 13-14.

- Yahaya, R., et, al. (2014) Mechanical performance of woven kenaf-Kevlar hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and composites*, 33 (24), pp.2242-2254.
- Yudhanto, F., dkk. (2016). Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit *Hybrid* Lamina Serat Anyam Sisal dan Gelas Diperkuat *Polyester*, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 19(1), 48-54.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisa Perhitungan

Lampiran 1.1.

Perhitungan Proporsi Serat rami 30%

Menentukan proporsi serat rami

Diketahui:

Fraksi volume serat = 30% Massa

Massa jenis serat = 0,848 gram

Volume air = 2,5 cm³

Dimensi : p = 280 mm = 28 cm

b = 100 mm = 10 cm

d = 3 mm = 0,3 cm

Sehingga:

1. Volume Cetakan

$$V_c = p \times l \times t$$

$$V_c = 28 \times 10 \times 0,3$$

$$V_c = 84 \text{ cm}^3$$

2. Proporsi Serat 30%

$$\text{Proporsi serat 30\%} = \text{Volume cetakan} \times 30\% \times \text{massa jenis serat rami}$$

$$= 84 \times 30\% \times 0,848$$

$$= 21,37 \text{ gram}$$

Lampiran 1. 2.

Perhitungan Proporsi Serat Kaca 30%

Menentukan proporsi serat kaca

Diketahui:

Fraaksi volume serat = 30%

Massa jenis serat kaca = 2,176 gram/cm³

Dimensi : p = 280 mm = 28 cm
 b = 100 mm = 10 cm
 d = 3 mm = 0,3 cm

Sehingga:

1. Volume Cetakan

$$V_c = p \times l \times t$$

$$V_c = 28 \times 10 \times 0,3$$

$$V_c = 84 \text{ cm}^3$$

2. Proporsi serat 30%

$$\begin{aligned} \text{Proporsi serat 30\%} &= \text{Volume cetakan} \times 70\% \times \text{massa jenis serat kaca} \\ &= 84 \times 70\% \times 2,176 \\ &= 84,84 \text{ gram} \end{aligned}$$

Lampiran 1.3

Perhitungan Proporsi Resin 70%

Menentukan proporsi resin epoksi

Diketahui:

Fraksi volume resin = 70%

Massa jenis resin = 1,05 gram/cm³

Dimensi : p = 280 mm = 28 cm
 b = 100 mm = 10 cm
 d = 3 mm = 0,3 cm

Sehingga:

1. Volume Cetakan

$$V_c = p \times l \times t$$

$$V_c = 28 \times 10 \times 0,3$$

$$V_c = 84 \text{ cm}^3$$

2. Proporsi epoksi 70%

$$\begin{aligned} \text{Proporsi epoksi 70\%} &= \text{Volume cetakan} \times 70\% \times \text{massa jenis epoksi} \\ &= 84 \times 70\% \times 1,05 \\ &= 61,74 \text{ gram} \end{aligned}$$

Lampiran 1.4

Perhitungan Tegangan Tarik Komposit Epoksi- Serat Rami

Spesimen TA 1

Diketahui:

Beban (P) maks : 1939,75 N

Dimensi:

Lebar (b) : 25 mm

Tebal (d) : 4,08 mm

Luas area (A) = b x d

$$= 25 \times 4,08$$

$$= 110,79 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tegangan tarik } (\sigma) = \frac{P}{A}$$

$$\text{Tegangan tarik } (\sigma) = \frac{1939,75}{110,79}$$

$$\text{Tegangan tarik } (\sigma) = 17,51 \text{ MPa}$$

Perhitungan Regangan Tarik Komposit Epoksi-Serat Rami

Spesimen TA 1

Diketahui:

Pertambahan panjang (ΔL) : 1,48 mm

Panjang awal spesimen (L_0) : 150 mm

$$\text{Regangan tarik } (\varepsilon) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\text{Regangan tarik } (\varepsilon) = \frac{1,48}{150} \times 100\%$$

$$\text{Regangan tarik } (\varepsilon) = 0,986 \%$$

Perhitungan Modulus Elastisitas Tarik Komposit Epoksi – Serat Rami

Spesimen TA 1

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Tegangan saat mencapai batas elastis (σ_2) = 5,28 Mpa

Tegangan pada (σ_1) = 0,757 Mpa

Regangan yang terjadi saat mencapai σ_2 (ε_2) = 0,00238

Regangan yang terjadi saat mencapai σ_1 (ε_1) = 0,0008

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = \frac{5,28 - 0,757}{0,00238 - 0,0008}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas (E)} &= 2123,47 \text{ Mpa} \\ &= 2,123 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Nilai selanjutnya pada tabel Lampiran 2.1.

Lampiran 1.5.

Perhitungan Tegangan Lentur Komposit Epoksi Serat Rami

Spesimen LA 1

Diketahui:

Beban (P) maks : 97,14 N

Dimensi:

Lebar (b) : 14,03 mm

Tebal (d) : 3,45 mm

Panjang Span (L) : 70 mm

$$\text{Tegangan lentur } (\sigma) = \frac{3PL}{2bd^2}$$

$$\text{Tegangan lentur } (\sigma) = \frac{3 \times 97,14 \times 70}{2 \times 14,03 \times 3,45^2}$$

$$\text{Tegangan Lentur } (\sigma) = 61,07 \text{ MPa}$$

Perhitungan Regangan lentur Komposit Serat Rami

Spesimen LA 1

Diketahui:

Elongation (D) : 6,02 mm

Tebal (d) : 3,19 mm

Panjang span (L) : 70 mm

$$\text{Regangan lentur } (\varepsilon) = \frac{6Dd}{L^2} \times 100\%$$

$$\text{Regangan lentur } (\varepsilon) = \frac{6 \times 8,39 \times 3,45}{70^2} \times 100\%$$

$$\text{Regangan lentur } (\varepsilon) = 3,54 \%$$

Perhitungan Modulus Elastisitas Lentur Komposit Epoksi – Serat Rami

Spesimen LA 1

$$\text{Modulus Elastisitas (Ec)} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1}$$

Tegangan pada saat mencapai batas elastis (σ_1) = 18,32 MPa

Regangan yang terjadi saat mencapai σ_1 (ε_1) = 0,0051

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas (Ec)} &= \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} \\ &= \frac{18,32}{0,0051} \\ &= 3592,88 \text{ Mpa} \\ &= 3,593 \text{ Gpa} \end{aligned}$$

Nilai selanjutnya pada tabel Lampiran 2.2.

Lampiran 2. Tabel Dan Grafik Hasil Analisa

Lampiran 2.1.

Hal : Hasil pengujian kuat tarik komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca
 Tempat Penelitian : Lab. Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram.

Nama Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	panjang (mm)	Load (P) N	Elongation (ΔL) mm	Tegangan tarik σ	Regangan tarik ϵ (%)	Modulus Elastisitas (Gpa)
TA1	27,13	4,08	110,79	150	1939,75	1,479	17,508	0,986	2,123
TA2	26,75	3,80	101,65	150	2389,93	2,059	23,511	1,373	2,408
TA3	26,77	3,78	101,27	150	2416,35	1,920	23,861	1,280	2,632
Rata-Rata	26,88	3,89	104,57	150	2248,68	1,819	21,627	1,213	2,388
TB1	26,48	3,53	93,57	150	3933,37	2,866	42,035	1,911	3,092
TB2	26,73	3,42	91,34	150	3201,59	2,464	35,052	1,642	2,566
TB3	26,55	3,70	98,24	150	3959,78	3,145	40,309	2,097	3,354
Rata-Rata	26,59	3,55	94,38	150	3698,25	2,825	39,132	1,883	3,004
TC1	27,02	3,92	105,82	150	4918,92	3,146	46,486	2,098	3,016
TC2	26,52	4,05	107,39	150	4157,68	2,399	38,715	1,599	3,309
TC3	26,67	4,03	107,56	150	4240,13	2,497	39,423	1,665	3,519
Rata-Rata	26,73	4,00	106,92	150	4438,91	2,681	41,541	1,787	3,281
TD1	26,47	3,28	86,90	150	3842,43	2,817	44,217	1,878	3,240
TD2	26,40	3,57	94,16	150	6131,27	4,497	65,115	2,998	3,509
TD3	26,55	3,57	94,70	150	5549,86	4,476	58,608	2,984	3,243
Rata-Rata	26,47	3,47	91,92	150	5174,52	3,930	55,980	2,620	3,330
TE1	26,03	3,38	88,08	150	8064,02	5,610	91,554	3,740	4,639
TE2	26,55	3,50	92,93	150	7979,98	5,678	85,875	3,785	3,308
TE3	26,57	3,42	90,77	150	9586,75	5,958	105,617	3,972	3,532
Rata-Rata	26,38	3,43	90,59	150	8543,58	5,749	94,349	3,832	3,826

Lampiran 2.2.

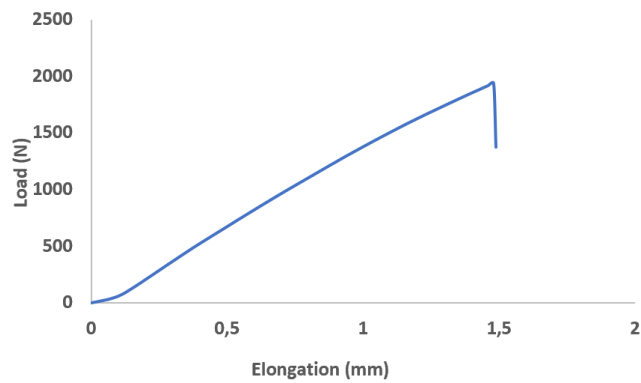
Hal : Hasil pengujian kuat lentur komposit hibridisasi serat rami dan serat kaca
 Tempat Penelitian : Lab. Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram.

Nama Spesimen	Rata-Rata			panjang (mm)	Load (P) N	Deflection (ΔL) mm	Tegangan Lentur σ (Mpa)	Regangan Lentur ϵ (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Tegangan geser (Mpa)	Daktilitas
	Lebar	Tebal (mm)	Luas								
LA1	14,03	3,45	48,42	70	97,14	8,393	61,065	3,546	3,743	1,505	11,663
LA2	13,73	3,18	43,72	70	78,76	9,110	59,419	3,551	3,797	1,351	18,990
LA3	13,72	3,67	50,29	70	103,96	9,994	59,192	4,487	3,119	1,550	12,820
Rata-rata	13,83	3,43	47,48	70	93,29	9,166	59,892	3,861	3,553	1,469	14,491
LB1	13,30	3,55	47,22	70	241,18	6,674	151,085	2,901	6,440	3,831	4,121
LB2	14,25	3,43	48,93	70	173,85	4,378	108,672	1,841	7,402	2,665	4,212
LB3	13,77	3,33	45,89	70	145,09	5,276	99,596	2,154	6,171	2,371	4,477
Rata-rata	13,77	3,44	47,34	70	186,71	5,443	119,784	2,298	6,671	2,956	4,270
LC1	12,55	3,30	41,42	70	198,49	9,652	152,495	3,900	6,236	3,595	5,314
LC2	13,40	3,82	51,14	70	194,75	6,793	104,760	3,175	5,122	2,856	5,205
LC3	14,12	3,82	53,88	70	218,18	8,715	111,405	4,073	5,259	3,037	6,465
Rata-rata	13,36	3,64	48,81	70	203,81	8,387	122,886	3,716	5,539	3,163	5,661
LD1	13,52	3,00	40,55	70	240,40	10,813	207,497	3,972	8,077	4,446	5,152
LD2	13,68	2,95	40,37	70	220,82	10,851	194,712	3,920	7,222	4,103	4,845
LD3	13,60	2,95	40,12	70	236,74	11,411	210,028	4,122	8,000	4,426	5,238
Rata-rata	13,60	2,97	40,35	70	232,65	11,025	204,079	4,005	7,766	4,325	5,078
LE1	13,73	3,07	42,12	70	256,48	7,832	208,513	2,941	8,654	4,567	4,085
LE2	13,47	2,90	39,05	70	318,11	8,475	294,924	3,009	12,588	6,109	4,281
LE3	13,03	2,87	37,36	70	270,22	8,735	264,909	3,066	11,563	5,424	4,457
Rata-rata	13,41	2,94	39,51	70	281,60	8,347	256,116	3,006	10,935	5,367	4,274

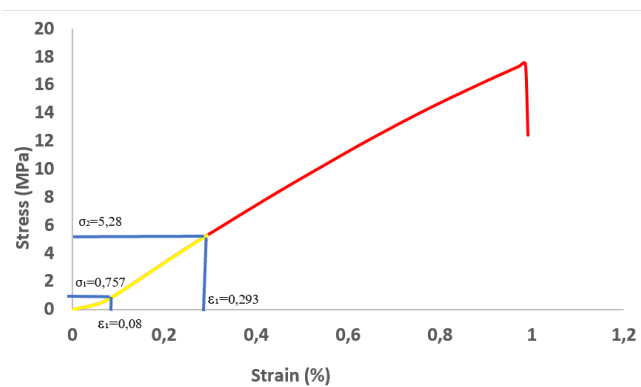
Lampiran 2.3

Hal : Grafik hasil pengujian kuat tarik komposit

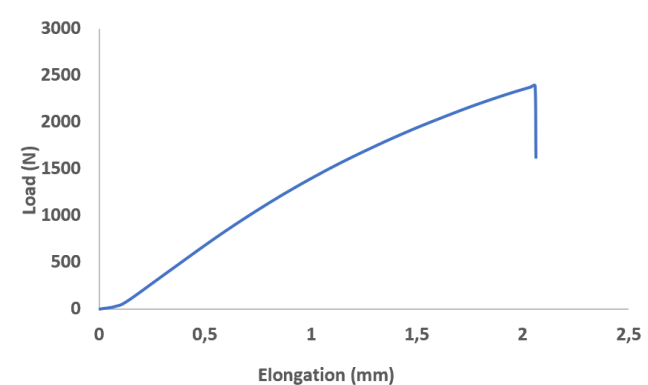
Tempat Penelitian : Lab. Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Mataram.



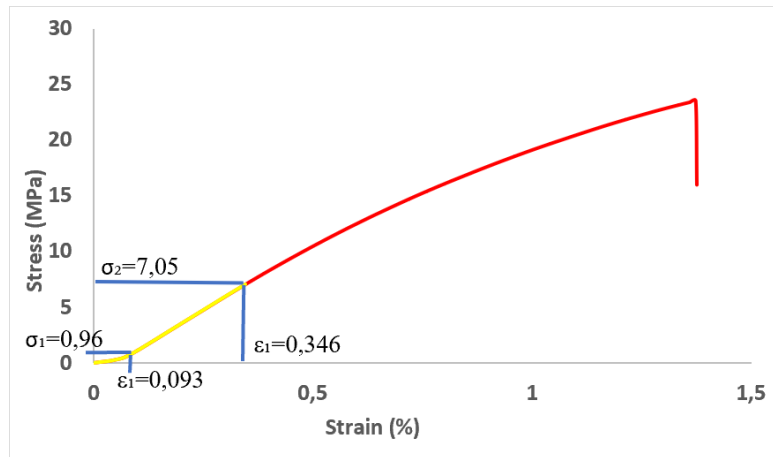
Gambar 1. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen TA 1



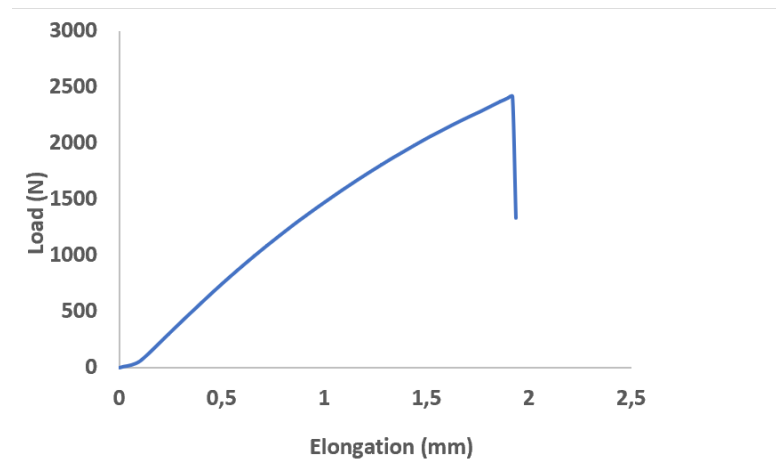
Gambar 2. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen TA 1



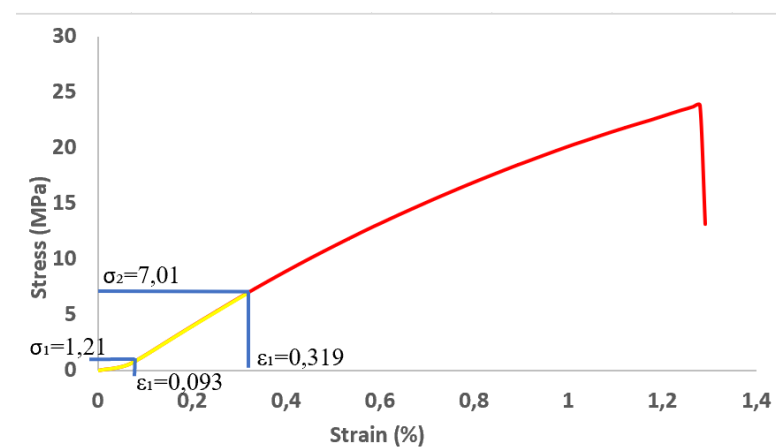
Gambar 3. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TA 2



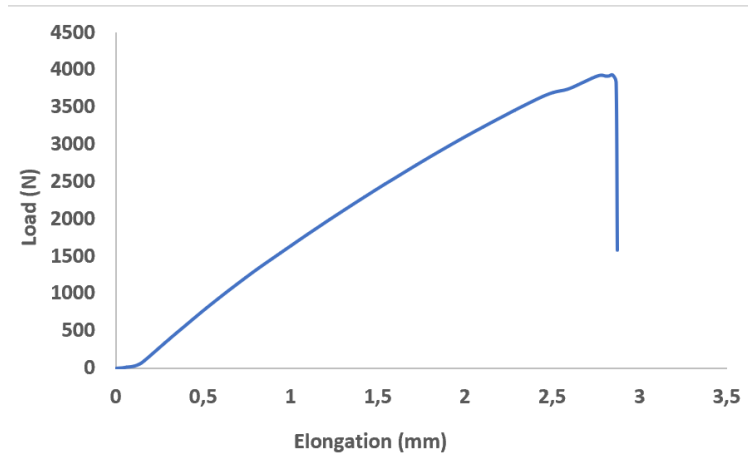
Gambar 4. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TA 2



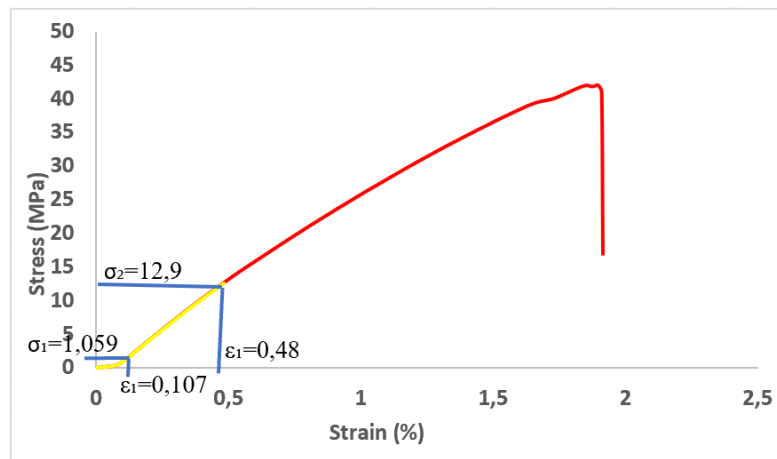
Gambar 5. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TA 3



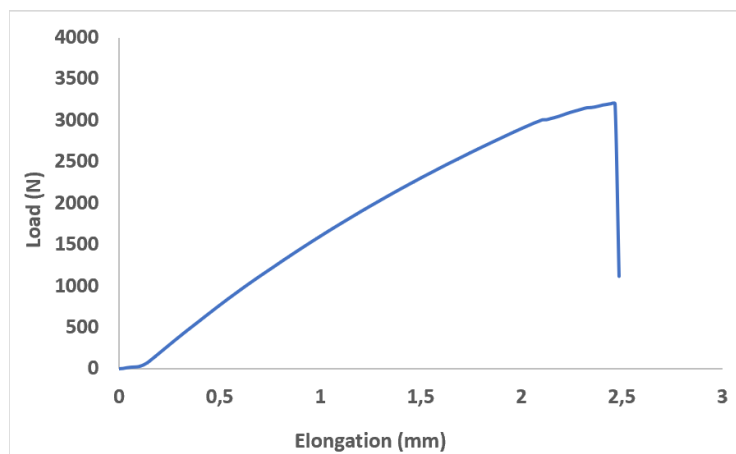
Gambar 6. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TA 3



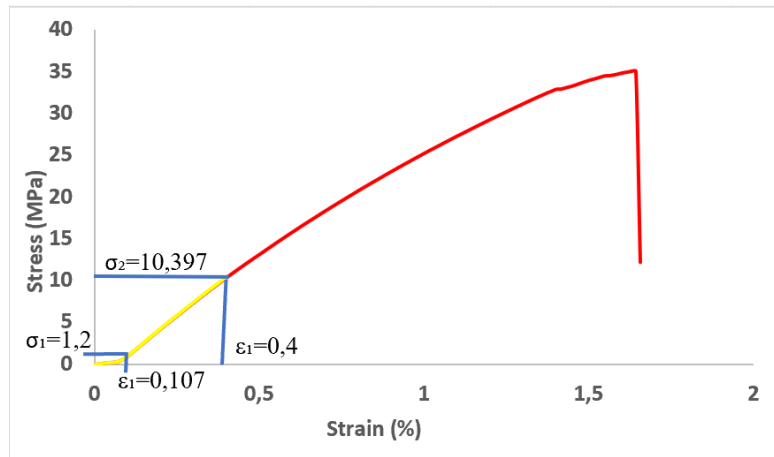
Gambar 7. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen TB 1



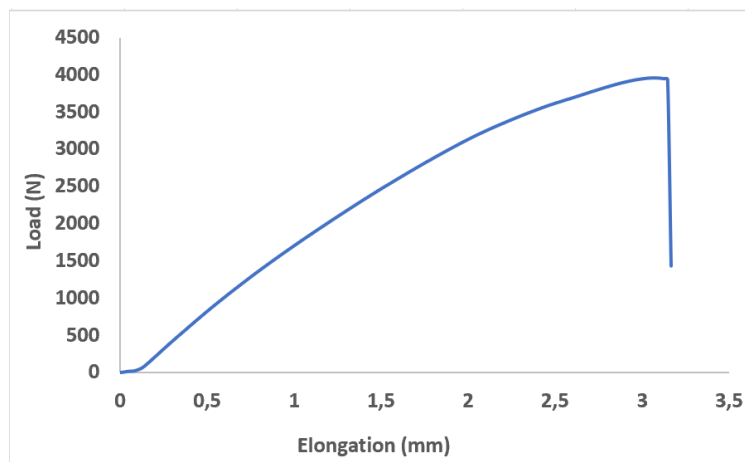
Gambar 8. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen TB 1



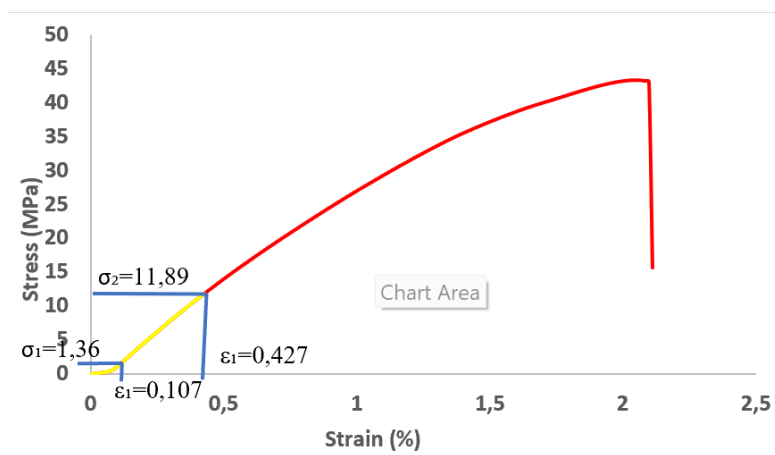
Gambar 9. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TB 2



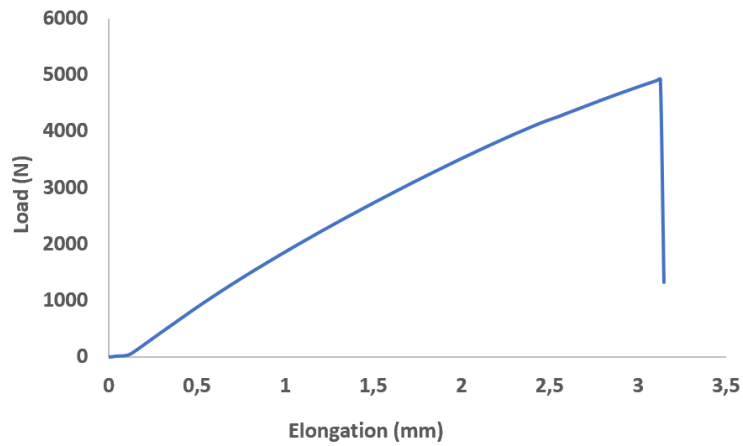
Gambar 10. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TB 2



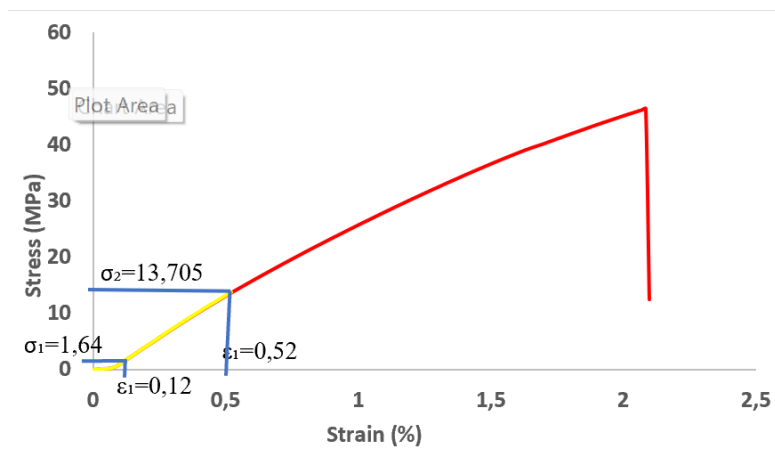
Gambar 11. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TB 3



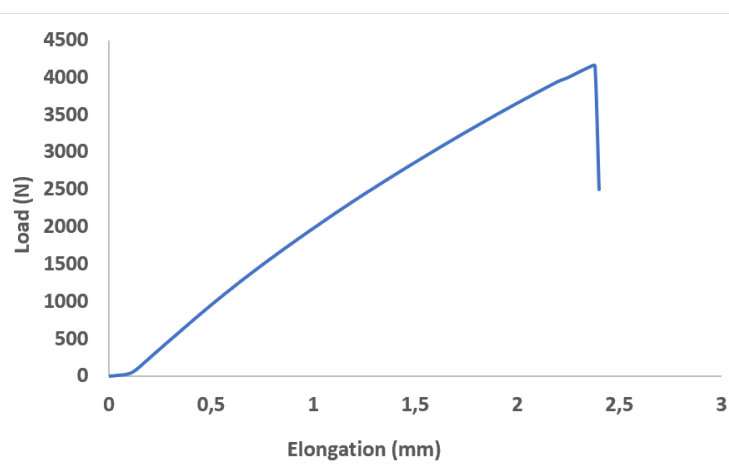
Gambar 12. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TB 3



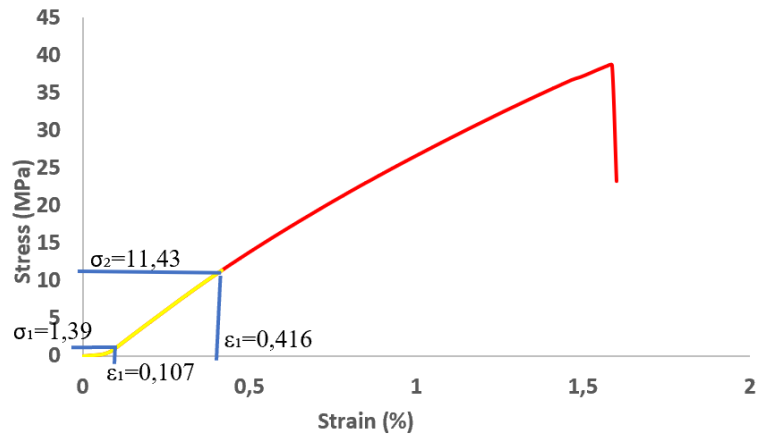
Gambar 13. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen TC 1



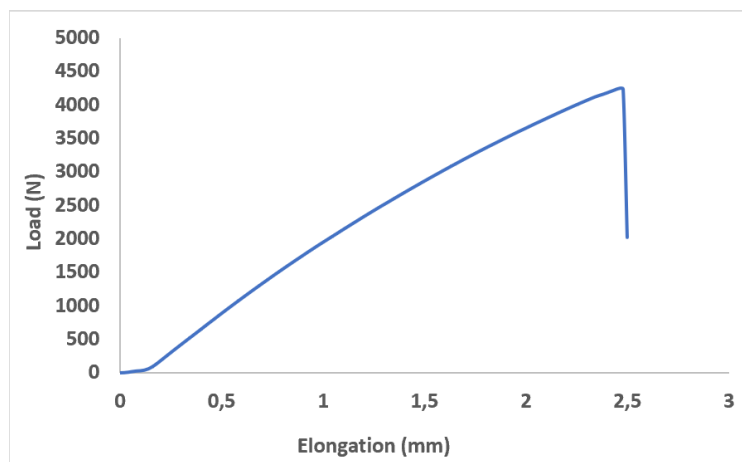
Gambar 14. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen TC 1



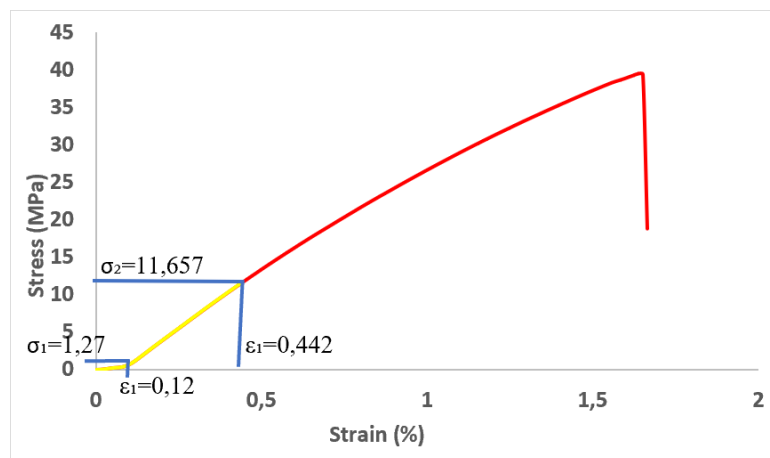
Gambar 15. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TC 2



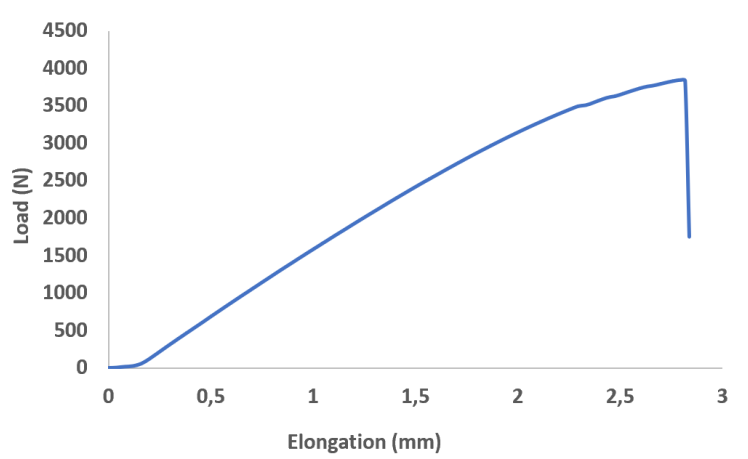
Gambar 16. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TC 2



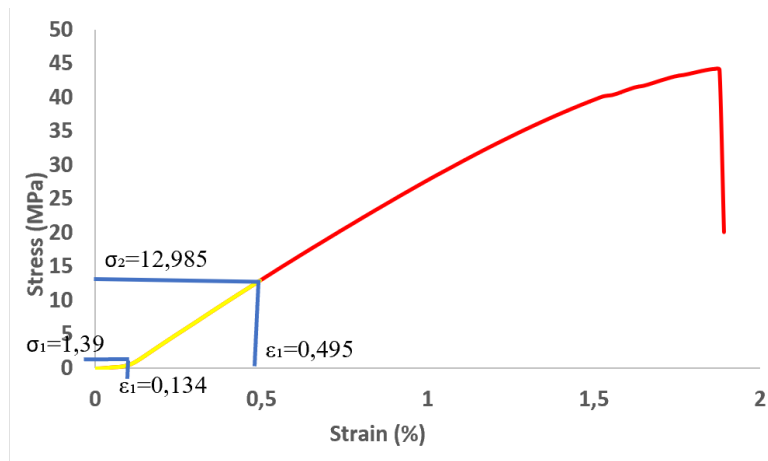
Gambar 17. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TC 3



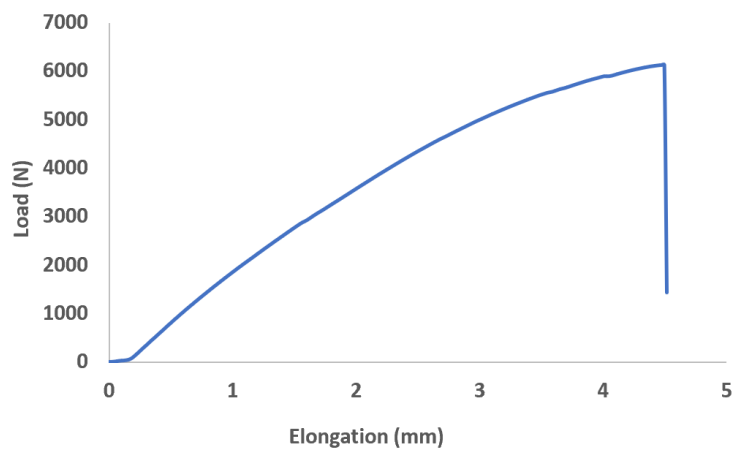
Gambar 18. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TC 3



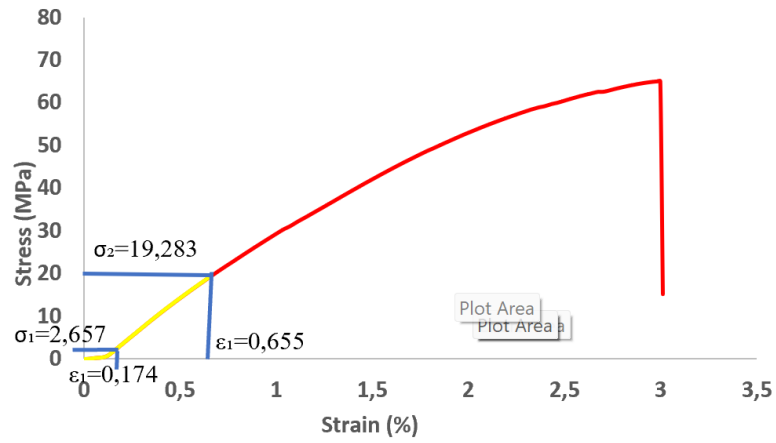
Gambar 19. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen TD 1



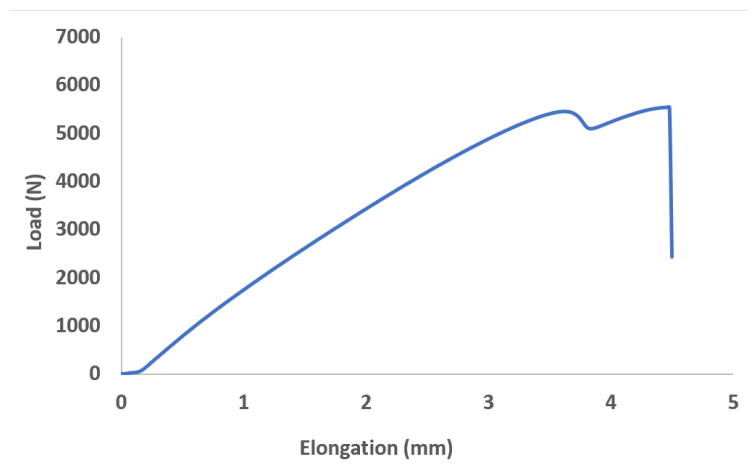
Gambar 20. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen TD 1



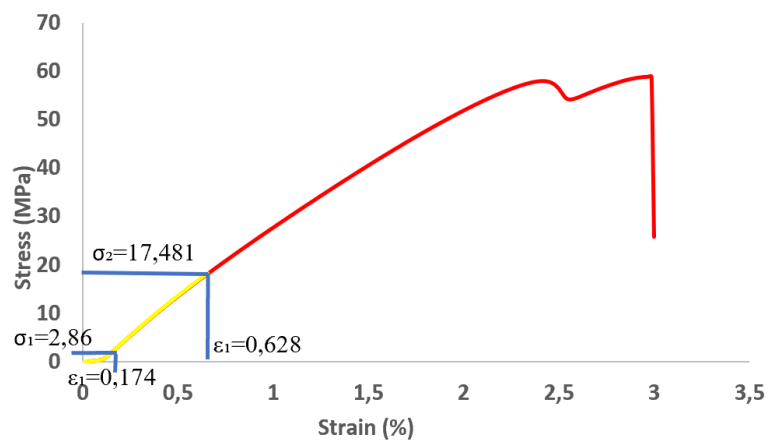
Gambar 21. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TD 2



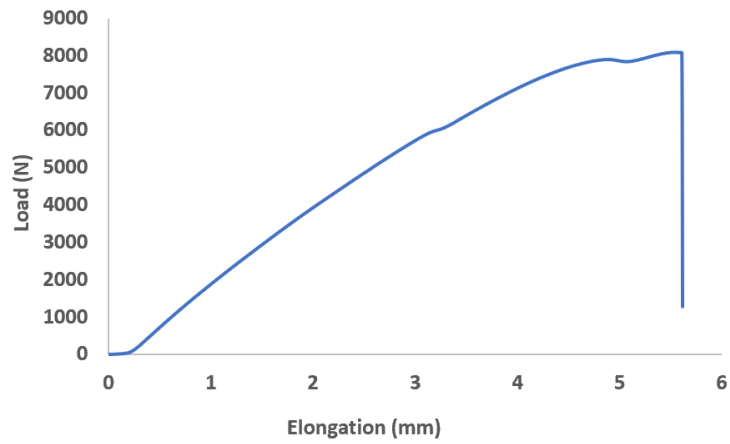
Gambar 22. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TD 2



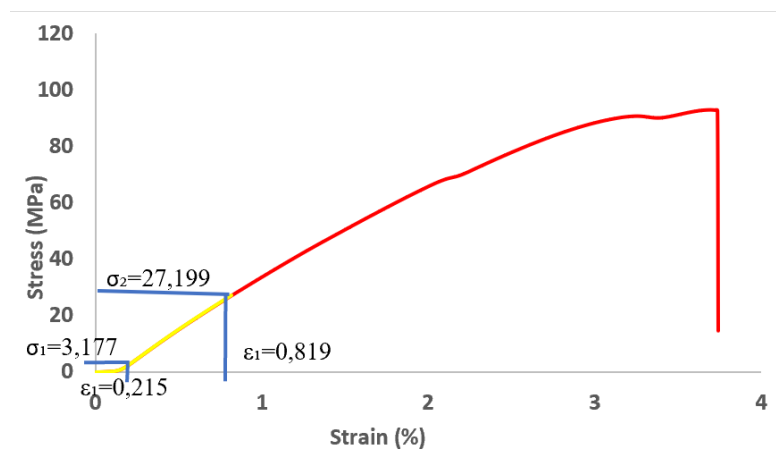
Gambar 23. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TD 3



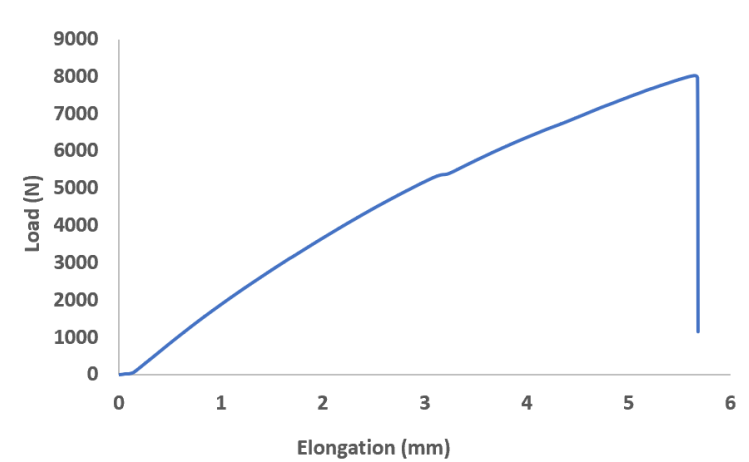
Gambar 24. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TD 3



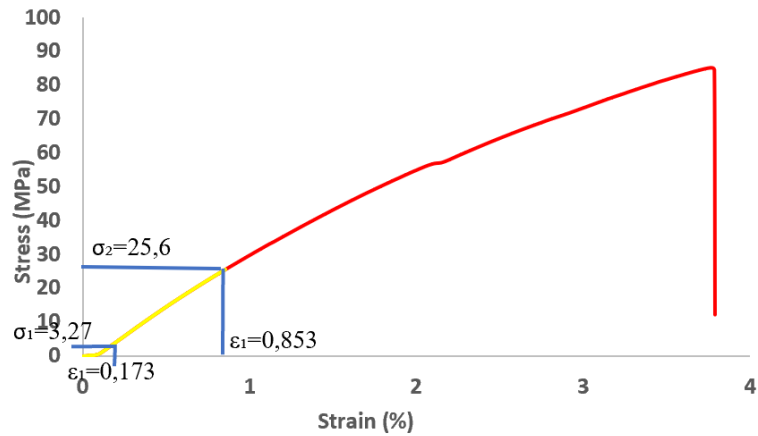
Gambar 25. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen TE 1



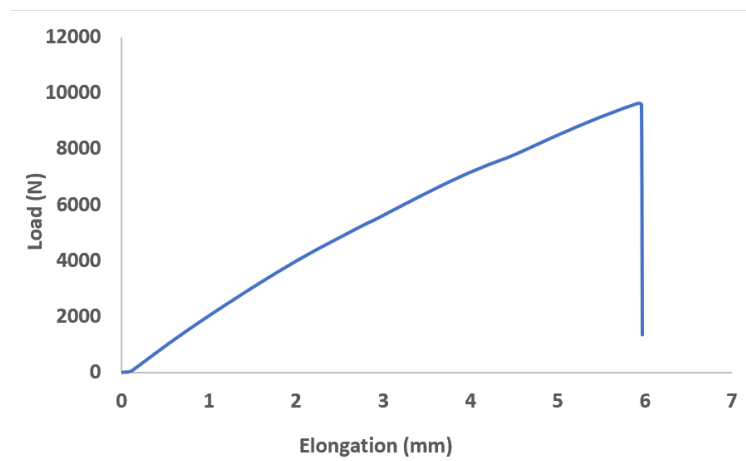
Gambar 26. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen TE 1



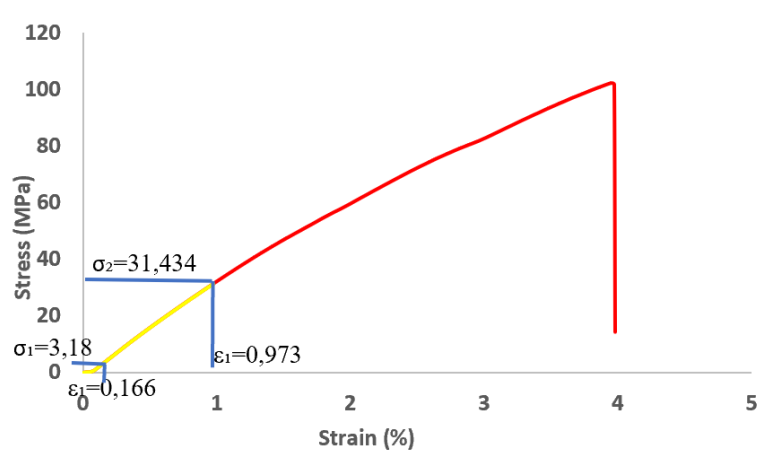
Gambar 27. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TE 2



Gambar 28. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TE 2



Gambar 29. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen TE 3

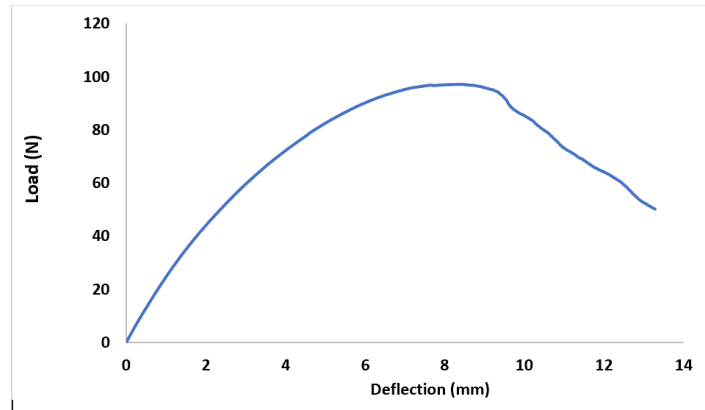


Gambar 30. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen TE 3

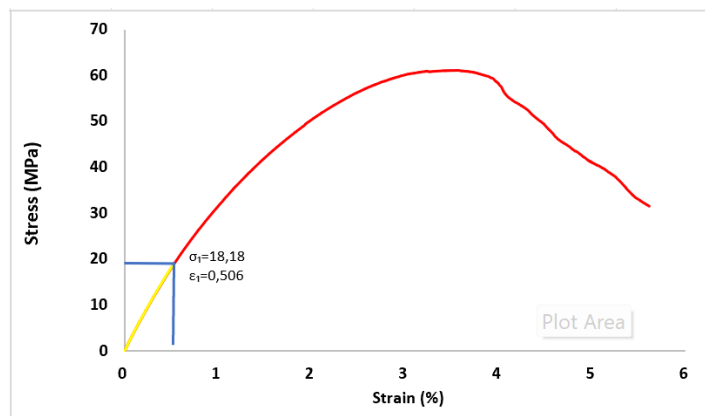
Lampiran 2.4

Hal : Grafik hasil pengujian kuat lentur komposit

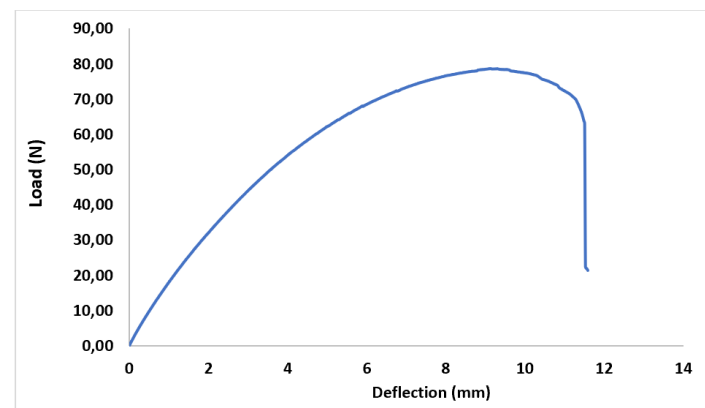
Tempat Penelitian : Lab. Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Mataram.



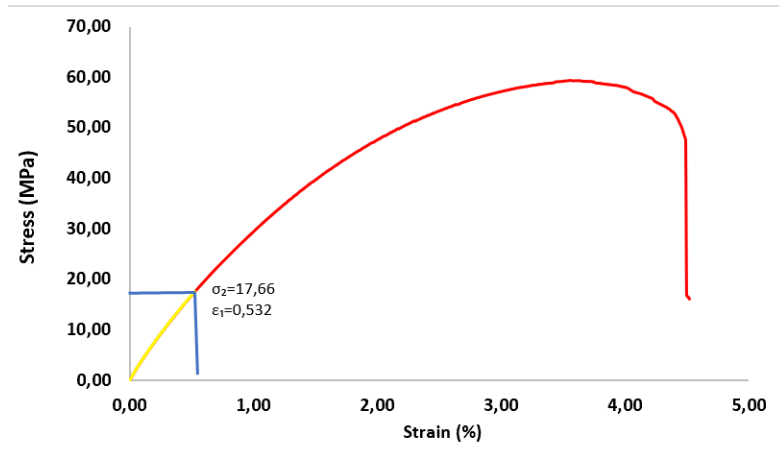
Gambar 31. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen LA 1



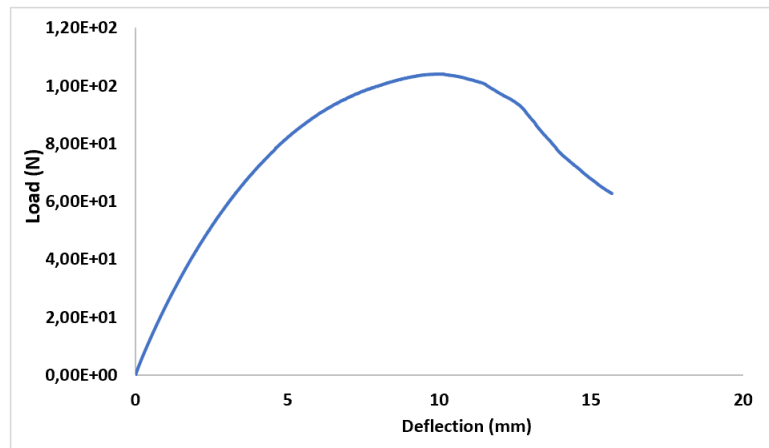
Gambar 32. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen LA 1



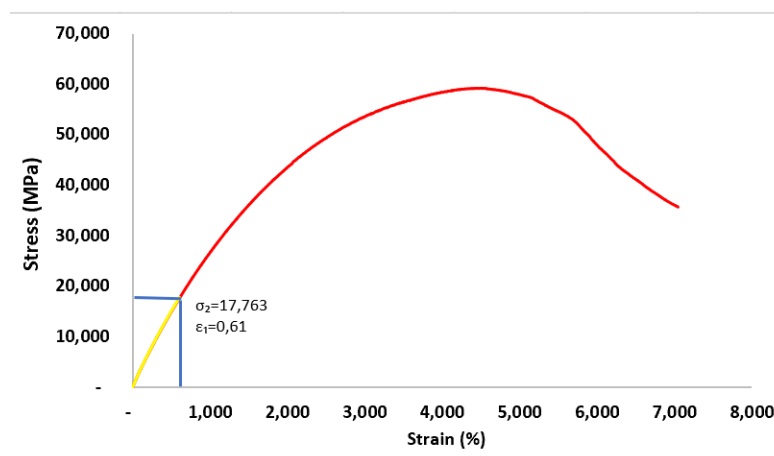
Gambar 33. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LA 2



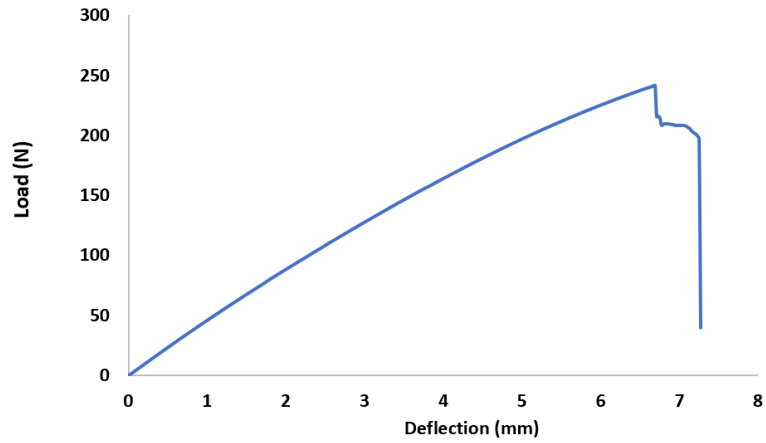
Gambar 34. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LA 2



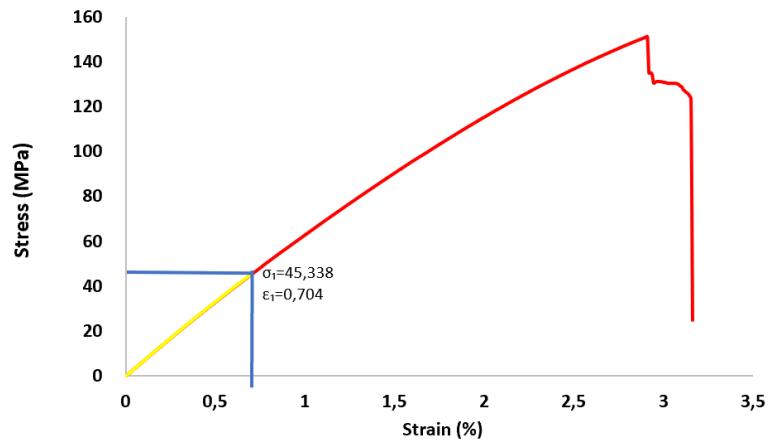
Gambar 35. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LA 3



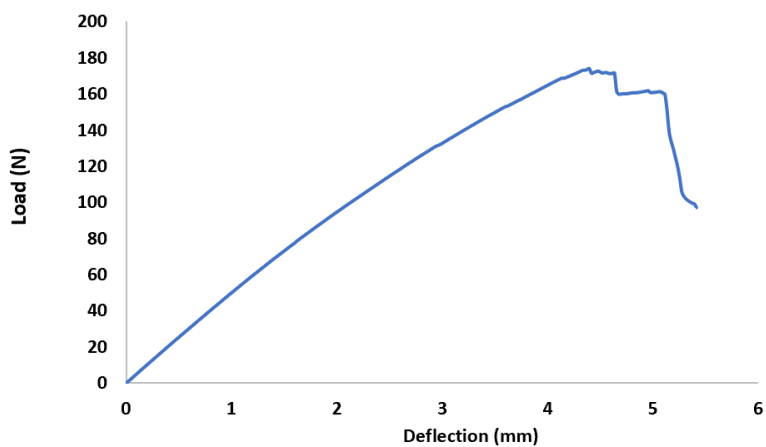
Gambar 36. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LA 3



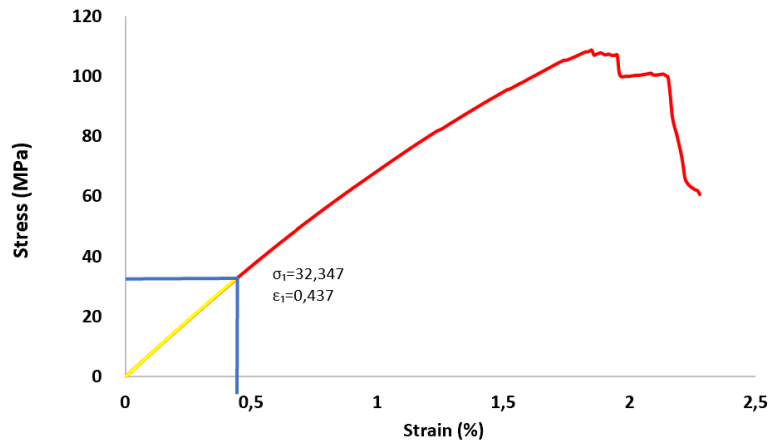
Gambar 37. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen LB 1



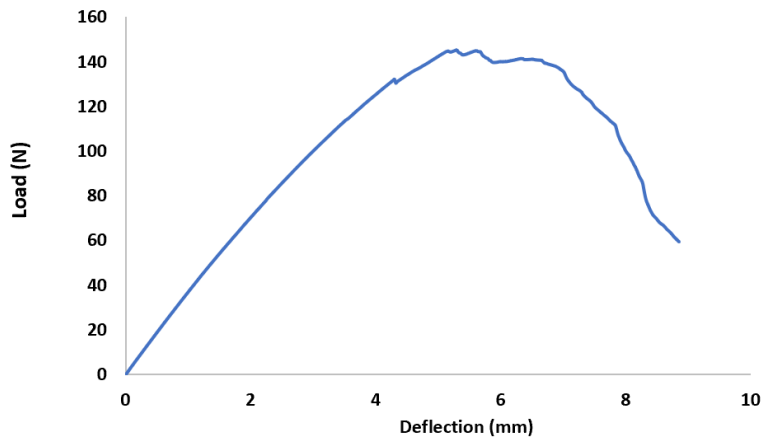
Gambar 38. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen LB 1



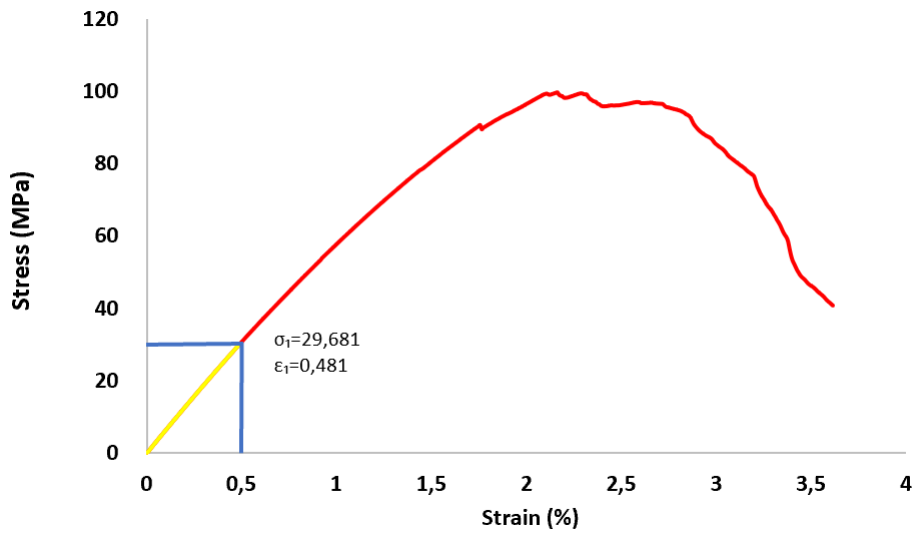
Gambar 39. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LB 2



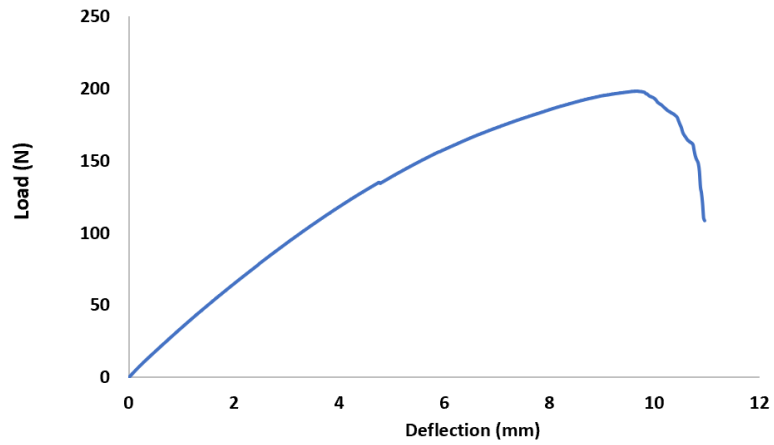
Gambar 40. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LB 2



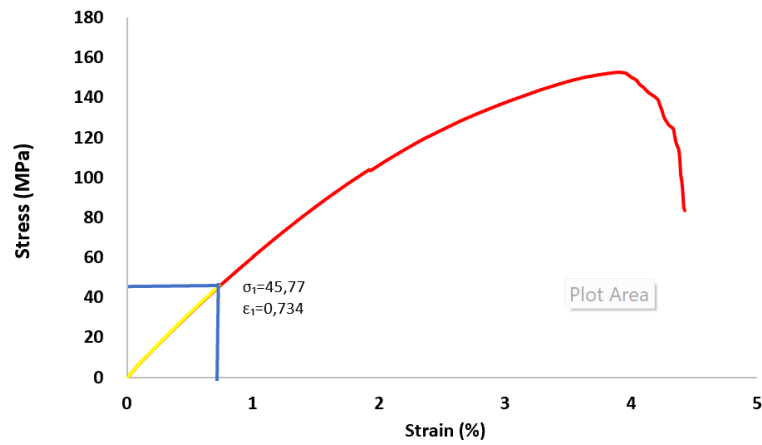
Gambar 41. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LB 3



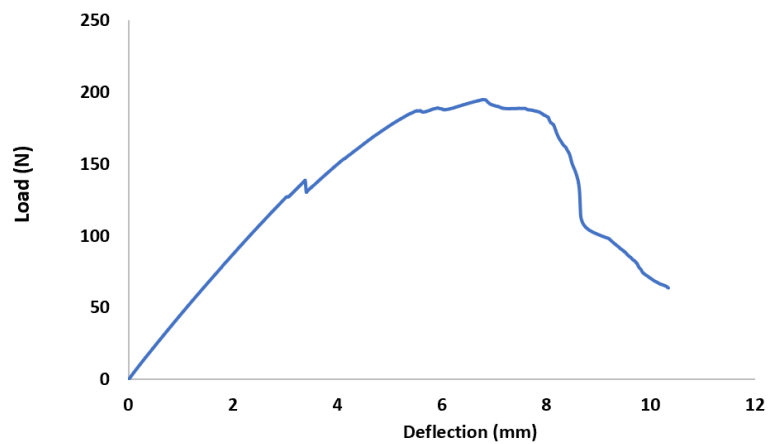
Gambar 42. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LB 3



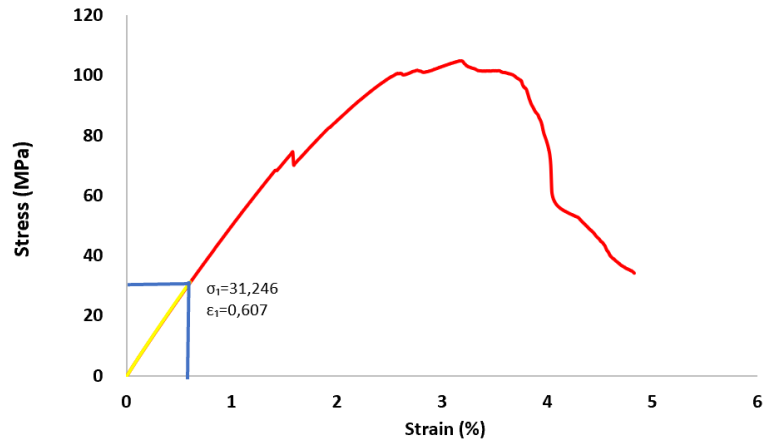
Gambar 43. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen LC 1



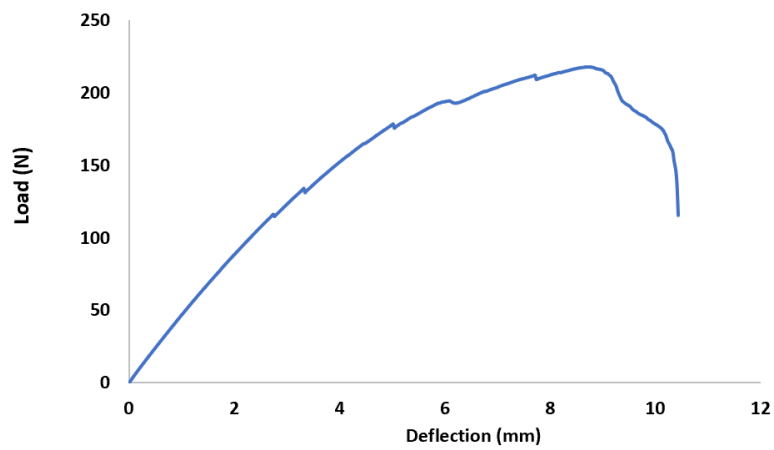
Gambar 44. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen LC 1



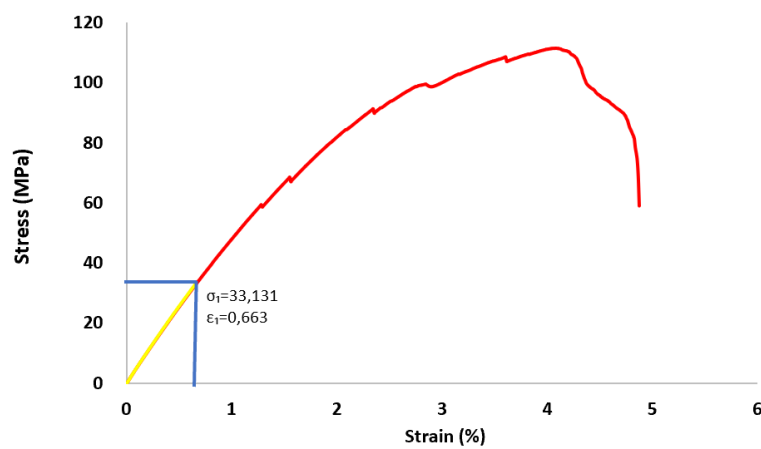
Gambar 45. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LC 2



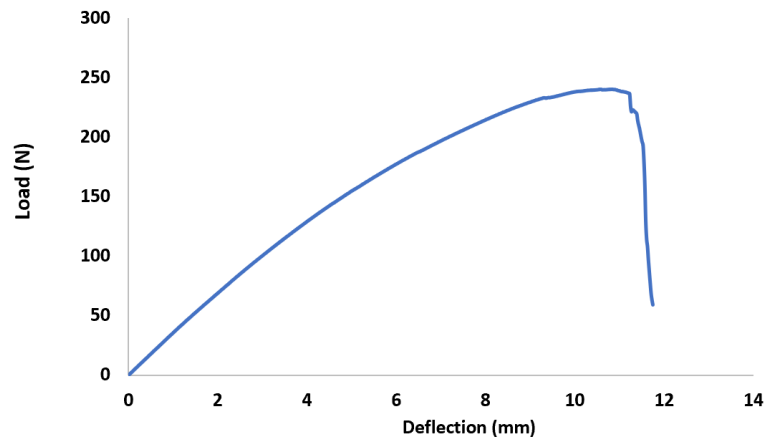
Gambar 46. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LC 2



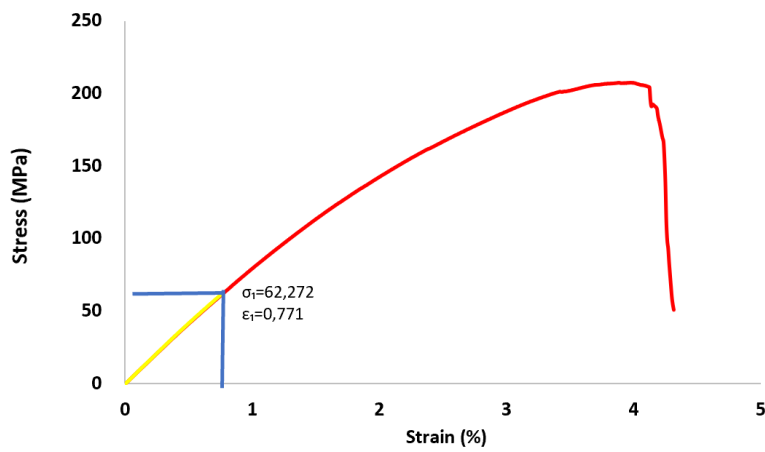
Gambar 47. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LC 3



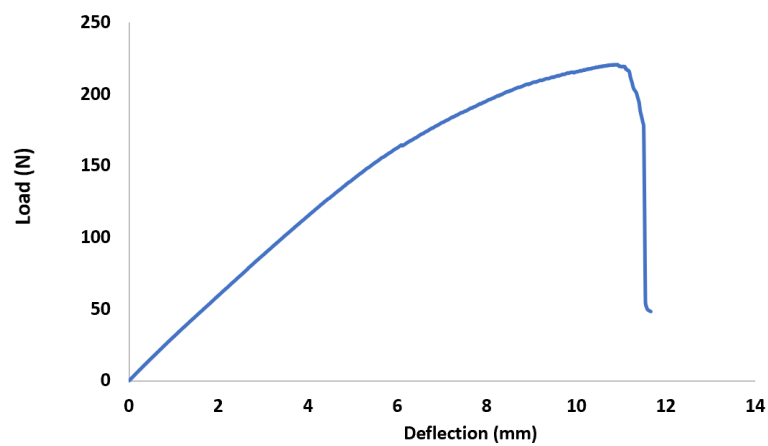
Gambar 48. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LC 3



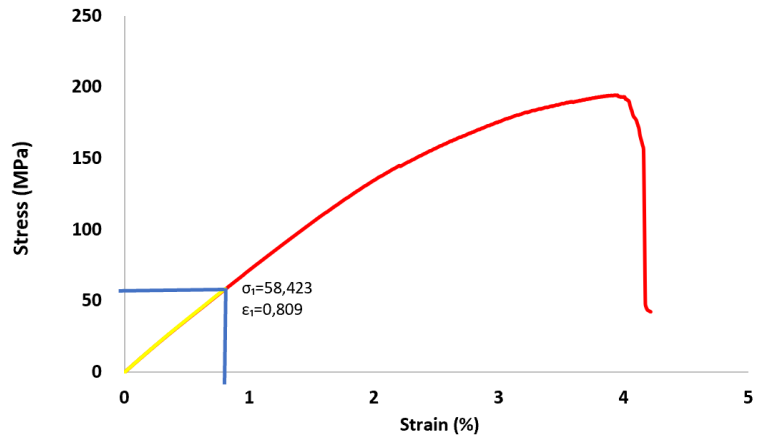
Gambar 49. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen LD 1



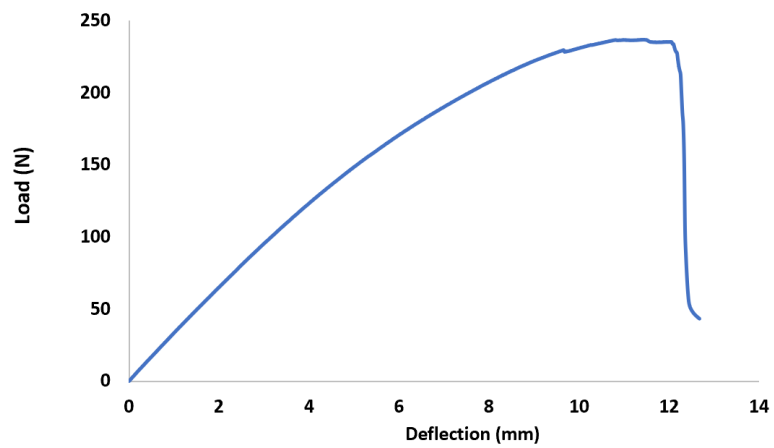
Gambar 50. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen LD 1



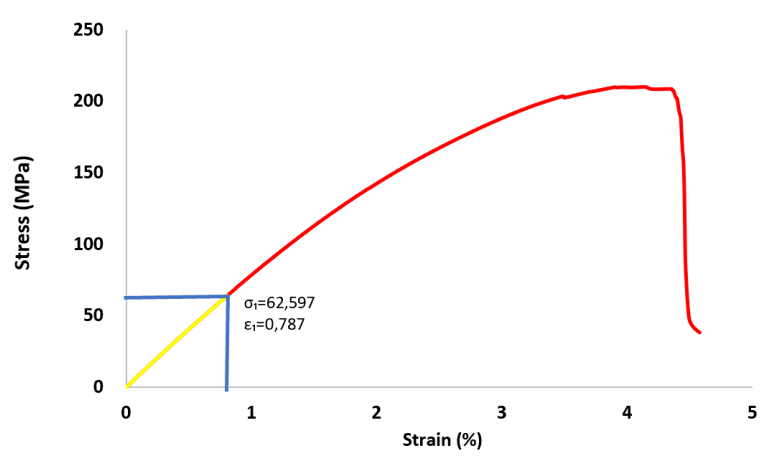
Gambar 51. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LD 2



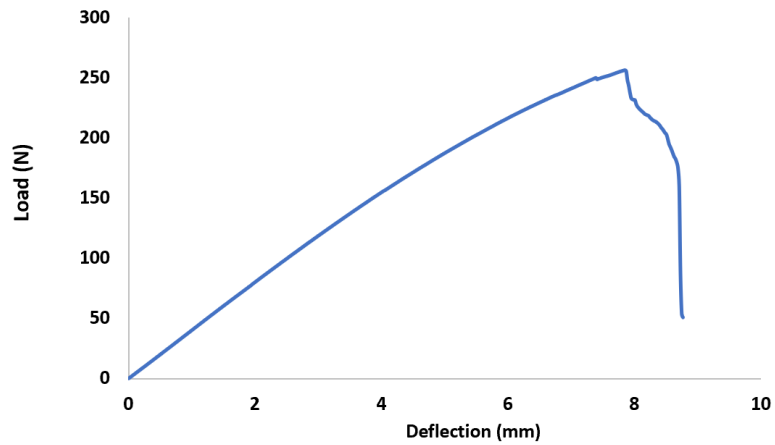
Gambar 52. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LD 2



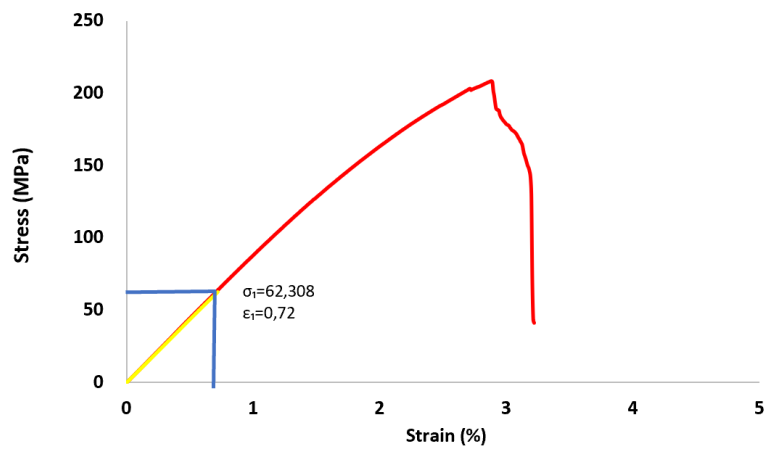
Gambar 53. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LD 3



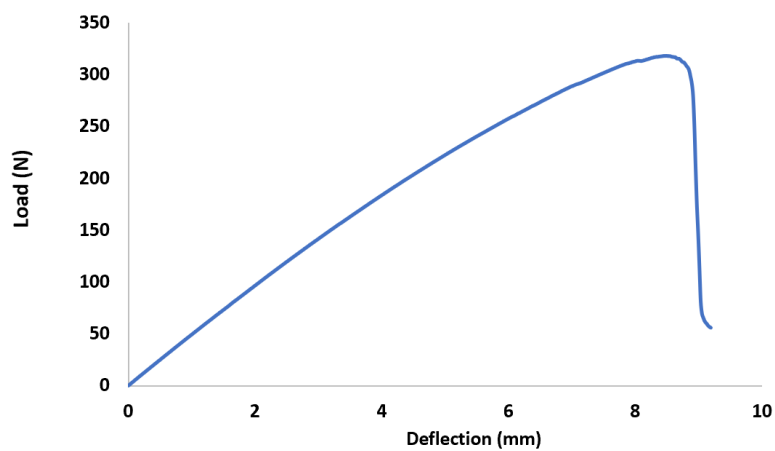
Gambar 54. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LD 3



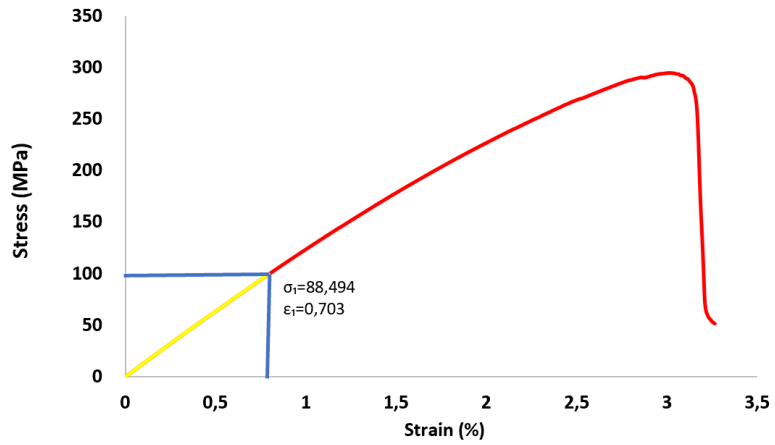
Gambar 55. Hubungan beban dengan pertambahan panjang pada spesimen LE 1



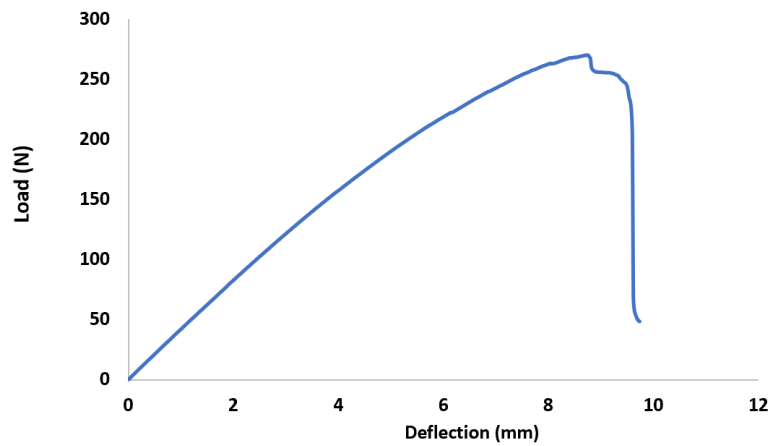
Gambar 56. Hubungan tegangan dengan regangan pada spesimen LE 1



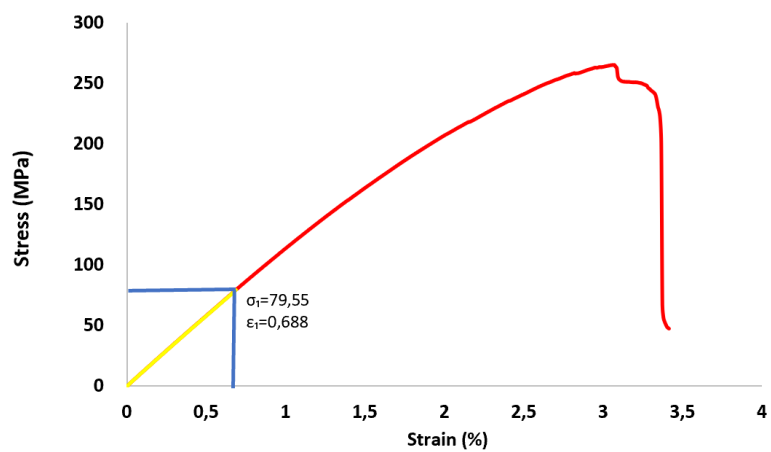
Gambar 57. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LE 2



Gambar 58. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LE 2



Gambar 59. Hubungan beban dan pertambahan panjang pada spesimen LE 3



Gambar 60. Hubungan tegangan dan regangan pada spesimen LE 3

Lampiran 3. Dokumentasi

Lampiran 3.1

Hal : Dokumentasi Pembuatan komposit

Tempat Penelitian : Lab. Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Mataram.



Lampiran 3. 2

Hal : Dokumentasi hasil pengujian kuat tarik komposit

Tempat Penelitian : Lab. Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Mataram.





Lampiran 3.3

Hal : Dokumentasi hasil pengujian kuat lentur komposit

Tempat Penelitian : Lab. Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Mataram.

