



**PENGARUH ORIENTASI SERAT TERHADAP
KEKUATAN *BENDING* DAN KEKUATAN TARIK
KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT ECENG
GONDOK–TEBU DENGAN Matrik *EPOXY***

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin**

Oleh

Herry Sutanto

NIM.5212415026

**TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Herry Sutanto
Nim : 5212415026
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Kekuatan *Bending* Dan Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Eceng Gondok–Tebu Dengan Matrik *Epoxy*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 13 Mei 2020
Pembimbing



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo,
S.T., M.T., IPP.
NIP. 197509272006041002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Kekuatan *Bending* Dan Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Eceng Gondok-Tebu Dengan Matriks *Epoxy*” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 12 bulan Juni tahun 2020.

Oleh:

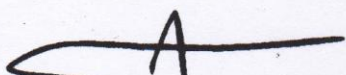
Nama : Herry Sutanto

NIM : 5212415026

Program Studi : Teknik Mesin

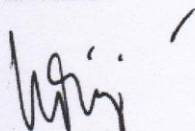
Panitia:

Ketua



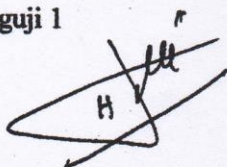
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.
NIP.197601012003121002

Penguji 1



Dr. Heri Yudsono, S.Pd., M.T.
NIP. 196707261993031003

Penguji 2



Drs. Sunyoto, M.Si.
NIP. 196511051991021001

Pembimbing



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T.,
M.T., IPP.
NIP. 197509272006041002

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 18 Mei 2020
Pembuat pernyataan



Herry Sutanto
NIM. 5212415026

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

Aku tidak mengetahui amalan yang paling mendekatkan diri
kepada Allah ta'ala selain berbakti kepada ibu.

(Ibnu Abbas radhiyallahu'anhuma)

Jalan pintas menuju keberuntungan dunia dan akhirat adalah
mengabdikan (Khidmah) pada Ibu di sisa usianya.

(Habib Assegaf bin Hasan Baharun)

Persembahan

Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya, Bapak Bambang Sutrisno dan Ibu Sri Suadri. Beserta anggota keluarga saya saudara Dwi Wahyudiono, saudari Linda Putri Trisnadariawati, saudari Vita Oktaviana Kusumawati. Terimakasih atas segala doa, dukungan, dan motivasi yang telah diberikan.

RINGKASAN

Sutanto, Herry. 2020. Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Kekuatan *Bending* dan Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Eceng Gondok – Tebu Dengan Matrik *Epoxy*. Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., IPP. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Hasil penelitian ini menjelaskan tentang pengaruh yang diakibatkan oleh adanya variasi orientasi serat eceng gondok – tebu sebagai penguat, terhadap kekuatan *bending* dan tarik pada komposit bermatrik *epoxy*. Penelitian ini dilakukan karena adanya populasi eceng gondok yang sulit dikendalikan dan banyaknya limbah serat tebu (*bagasse*). Seiring pula dengan tuntutan perkembangan dunia industri otomotif khususnya interior mobil yang mengharuskan lebih dari 50% komponennya mampu di daur ulang atau ramah lingkungan, serta sebagai upaya memangkas biaya produksi. Salah satunya yaitu pabrikan otomotif *Daimler Chrysler*, produsen mobil Amerika-Jerman ini mulai meneliti serta menggunakan bahan komposit polimer menggunakan serat alam. Bahan tersebut diaplikasikan sebagai pembungkus kabel, serta beberapa bagian interior mobil seperti *doortrim*, plafon, pelapis kursi sampai bahan baku untuk *dashboard*.

Serat eceng gondok dan serat tebu (*bagasse*) hasil pengolahan lanjutan kemudian diberi perlakuan alkali 5% selama 5 jam. Proses fabrikasi komposit menggunakan metode *hand layup* dibuat berdasarkan komposisi fraksi volume 30% serat alam (10% serat eceng gondok + 20% tebu) dan 70% resin (*epoxy*). Varian orientasi serat eceng gondok yang diteliti adalah sebagai berikut: varian $45^0/45^0$, varian $90^0/90^0$, varian $-45^0/45^0$, varian $45^0/90^0$, serta material *panel assy back doortrim* dengan spesifikasi *polyethylene* (PE) dan *polyetherketone* (PEK). Spesimen pengujian *bending* menggunakan standar ASTM D790 – 03 (*Molding Materials*) dan pengujian tarik menggunakan standar ASTM D 638 – 14 (Type IV^B).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa varian $45^0/90^0$ merupakan varian dengan nilai kekuatan *bending* terbaik diantara varian $-45^0/45^0$, $45^0/45^0$, dan $90^0/90^0$. Nilai kekuatan *bending* varian $45^0/90^0$ setara dengan kontrol produk *panel assy backdoortrim* yaitu sebesar 51,7 MPa, serta mampu melampaui standar nilai kekuatan *bending* SNI-01-4449-06. Sedangkan kekuatan tarik terbaik ada pada varian $45^0/90^0$ dan $-45^0/45^0$ dengan nilai 30 MPa, dibandingkan dengan varian $45^0/45^0$, dan $90^0/90^0$. Sehingga mampu memenuhi standar minimal nilai kekuatan tarik *panel assy backdoortrim* dan SNI-01-4449-06. Dapat disimpulkan bahwa orientasi serat sebagai penguat berpengaruh serta menentukan nilai kekuatan *bending* dan tarik.

Kata kunci: Orientasi, *bending*, tarik, *epoxy*, eceng gondok, tebu, *hand layup*, dan *doortrim*.

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim.

Puji syukur hanya bagi Allah *Subhanahu wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah – Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sesuai dengan apa yang direncanakan. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada nabi agung Muhammad Salallahu Alaihi Wasallam yang kita nantikan syafaatnya.


Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dalam penyusunan skripsi ini tentunya banyak pihak yang telah membantu menyelesaikannya baik bantuan secara moril maupun materi, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Bapak Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang atas kemudahan yang diberikan kepada penulis dalam pengurusan administratif di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Bapak Rusiyanto, S.Pd., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang atas fasilitas yang disediakan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T. selaku Penguji I dan Drs. Sunyoto, M.Si sebagai penguji II yang telah memberikan masukan yang sangat berharga kepada penulis berupa saran, perbaikan, pertanyaan sehingga menambah bobot dari karya tulis ini.
5. Dr. Rahmat Doni Widodo, ST, M.T., IPP., sebagai pembimbing serta dosen wali yang telah sabar memberikan ilmu, bimbingan, arahan, masukan dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi beserta studi di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

6. Secara khusus penulis mengucapkan terimakasih kepada Ibunda Dra. Sri Sudarni dan ayahanda Drs. Bambang Sutrisno, M.M. yang senantiasa mendukung, mendokan dan memberikan pengorbanan yang luar biasa.
7. Saudara beserta Saudari Program Studi Teknik Mesin 2015 yang sudah membantu penulis selama masa studi di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
8. Berbagai pihak yang telah mendukung dalam lancarnya penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak dalam ilmu material khususnya dalam pengembangan komposit.

Semarang, 18 Mei 2020


Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|--------------|
| PERSETUJUAN PEMBIMBING | i |
| PENGESAHAN..... | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | iii |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN..... | iv |
| RINGKASAN | v |
| PRAKATA..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN TEKNIS | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR GAMBAR..... | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah | 5 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 6 |
| 1.4 Rumusan Masalah | 7 |
| 1.5 Tujuan Penelitian..... | 8 |
| 1.6 Manfaat Penelitian..... | 8 |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 9 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1 Kajian Pustaka | 9 |
| 2.2 Landasan Teori..... | 11 |
| 2.2.1 Komposit..... | 11 |
| 2.2.2 Klasifikasi Material Komposit..... | 12 |
| 2.2.3 Komposit Serat Matriks Polimer | 14 |
| 2.2.4 Fraksi Volume Komposit..... | 16 |
| 2.2.5 <i>Hybrid Composite</i> | 16 |
| 2.2.6 Serat Eceng Gondok | 17 |
| 2.2.7 Serat Ampas Tebu..... | 19 |
| 2.2.8 Resin <i>Epoxy</i> | 20 |
| 2.2.9 Perlakuan Alkali | 21 |
| 2.2.10 Orientasi <i>Continuous Fiber Composite</i> | 22 |
| 2.2.11 Orientasi <i>Randomly Oriented Discontinuous Fiber Composite</i> | 23 |
| 2.2.12 Pengujian <i>Bending</i> | 24 |
| 2.2.13 Pegujian Tarik..... | 28 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 34 |
| 3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan..... | 34 |
| 3.1.1 Waktu Penelitian..... | 34 |
| 3.1.2 Tempat Penelitian | 34 |
| 3.2 Desain Penelitian | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.1 Metode Penelitian | 35 |
| 3.2.2 Diagram Alir Penelitian | 36 |
| 3.3 Alat dan Bahan Penelitian | 37 |
| 3.3.1 Alat Penelitian..... | 37 |
| 3.3.2 Bahan | 46 |
| 3.4 Parameter dan Dimensi Spesimen | 51 |
| 3.4.1 Parameter Bebas | 51 |
| 3.4.2 Parameter Terikat..... | 51 |
| 3.4.3 Parameter Kontrol..... | 51 |
| 3.5 Alur dan Tahapan Penelitian | 54 |
| 3.6 Teknik Pengumpulan Data | 69 |
| 3.6.1 Dokumentasi | 69 |
| 3.6.2 Uji Laboratorium | 69 |
| 3.6.3 Tabel Hasil Pengujian..... | 69 |
| 3.7 Kalibrasi Instrumen | 70 |
| 3.7.1 Timbangan Digital | 70 |
| 3.7.2 Jangka Sorong..... | 70 |
| 3.8 Teknik Analisis Data | 71 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 72 |
| 4.1 Deskripsi Data Hasil Pengujian..... | 72 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.1 Data Pengujian <i>Bending</i> | 72 |
| 4.1.2 Data Pengujian Tarik | 76 |
| 4.2 Analisis Data | 79 |
| 4.2.1 Analisis Hasil Pengujian <i>Bending</i> | 79 |
| 4.2.2 Analisis Hasil Pengujian Tarik | 83 |
| 4.3 Pembahasan | 87 |
| BAB V PENUTUP | 89 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 89 |
| 5.2 Saran | 90 |
| DAFTAR PUSTAKA | 91 |
| LAMPIRAN..... | 96 |

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN TEKNIS

| | |
|---------------|--|
| SNI | = Standar Nasional Indonesia |
| ASTM | = <i>American Standard Testing and Material</i> |
| MPa | = <i>Mega Pascal</i> |
| PMC | = <i>Polymer Matrix Composites</i> |
| CMC | = <i>Ceramic Matrix Composites</i> |
| MMC | = <i>Metal Matrix Composites</i> |
| v_c | = Volume komposit (cm^3) |
| v_m | = Volume matriks (cm^3) |
| m_m | = Massa matriks (gr) |
| ρ_m | = Massa jenis matrik (gr/cm^3) |
| m_c | = Massa komposit (gr) |
| v_f | = Volume serat (cm^3) |
| m_f | = Massa serat (gr) |
| ρ_f | = Massa jenis serat (gr/cm^3) |
| V_f | = Fraksi volume serat (%) |
| Mm | = <i>Micron meter</i> |
| ASM | = <i>American Society for Metals</i> |
| UTM | = <i>Universal Testing Machine</i> |
| σ_f | = <i>Maksimum flexural stress</i> (MPa) |
| P | = Beban yang bekerja (N) |
| L | = Jarak antar titik tumpu (mm) |
| b | = Lebar spesimen (mm) |
| h | = Ketebalan spesimen (mm) |
| ε | = Nilai regangan maksimum (mm/mm) |
| δ | = Defleksi yang terjadi (mm) |
| E_f | = Modulus elastisitas kelenturan (MPa) |
| m | = Kemiringan garis potong curva (N/mm) |
| A | = luas penampang (mm^2) |
| σ_t | = <i>Maksimum tensile stress</i> (MPa) |

ε = Regangan (mm/mm)
 ΔL = Pertambahan panjang (mm)
 L_0 = Panjang awal (mm)
 L_u = Panjang akhir
TPU = *Thermoplastic Polyurethane*
PVC = *Polyvinyl Chloride*
PC = *Polycarbonate*
PE = *Polyethylene*
PEK = *Polyetherketone*

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 <i>Material properties of eichhornia crassipes fiber</i> | 18 |
| Tabel 2.2 <i>Material properties of baggase</i> | 20 |
| Tabel 2.3 Sifat mekanik beberapa jenis polimer | 20 |
| Tabel 2.4 Komparasi antara pengujian <i>bending</i> 3 point dan 4 point | 28 |
| Tabel 2.5 Persyaratan mekanis untuk papan serat kerapatan tinggi..... | 33 |
| Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Universal Testing Machine</i> | 44 |
| Tabel 3.2 Data hasil pengujian kekuatan bending material komposit | 53 |
| Tabel 3.3 Data hasil pengujian kekuatan tarik material komposit | 53 |
| Tabel 3.4 Ketersediaan alat dan bahan baku penelitian | 54 |
| Tabel 3.5 Kebutuhan serat dan matriks untuk uji <i>bending</i> | 61 |
| Tabel 3.6 Kebutuhan serat dan matriks untuk uji tarik | 62 |
| Tabel 3.7 Kebutuhan spesimen pengujian | 65 |
| Tabel 4.1 Defleksi pada spesimen uji <i>bending</i> | 73 |
| Tabel 4.2 Kekuatan bending spesimen uji <i>bending</i> | 74 |
| Tabel 4.3 Modulus elastisitas pada spesimen uji <i>bending</i> | 75 |
| Tabel 4.4 Kekuatan tarik atau <i>ulimate tensile strength</i> | 76 |
| Tabel 4.5 Regangan pada spesimen uji tarik..... | 78 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1.1 Rancangan material komposit | 6 |
| Gambar 1.2 Asumsi arah pembebanan (a) <i>bending</i> (b) tarik | 7 |
| Gambar 2.1 <i>Illustrating the phases of a composite</i> | 12 |
| Gambar 2.2 (a) <i>particulate</i> (b) <i>flake</i> (c) <i>fiber</i> | 14 |
| Gambar 2.3 (a) <i>Continuous and aligned</i> (b) <i>Discontinuous and randomly</i> (c) <i>Discontinuous and aligned</i> | 15 |
| Gambar 2.4 (a) <i>Unidirectional lay-up</i> (lamina) (b) <i>Quasi-Isotropic lay-up</i> (laminate) | 15 |
| Gambar 2.5 <i>Continous fiber composite</i> | 23 |
| Gambar 2.6 <i>Discontinuous fiber</i> | 23 |
| Gambar 2.7 Skema uji <i>three point bending</i> | 25 |
| Gambar 2.8 Skema pengujian <i>four point bending</i> | 26 |
| Gambar 2.9 <i>Components of universal testing machine</i> | 29 |
| Gambar 2.10 <i>Typical tensile stress-strain polymer, low carbon, and high carbon</i> | 31 |
| Gambar 2.11 <i>Typical tensile stress strain of low-carbon (mild steel)</i> | 32 |
| Gambar 2.12 <i>Panel Assyback Doortrim Toyota Rush</i> | 33 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian | 36 |
| Gambar 3.2 Sikat kawat baja | 37 |
| Gambar 3.3 Timbangan digital | 38 |
| Gambar 3.4 Gelas ukur | 38 |
| Gambar 3.5 <i>Roller</i> | 39 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.6 Cetakan material komposit..... | 40 |
| Gambar 3.7 Kaca dimensi 350 mm x 200 mm x 8 mm | 41 |
| Gambar 3.8 Jangka sorong | 41 |
| Gambar 3.9 <i>Endmill</i> | 42 |
| Gambar 3.10 Gerinda tangan dan mata gerinda..... | 43 |
| Gambar 3.11 <i>Universal testing machine</i> merk TORONTECH | 44 |
| Gambar 3.12 <i>Supporting point</i> dan <i>Single loading pin</i> | 45 |
| Gambar 3.13 Cekam spesimen komposit..... | 45 |
| Gambar 3.14 Mesin penggiling..... | 46 |
| Gambar 3.15 Eceng gondok..... | 47 |
| Gambar 3.16 Serat tebu..... | 48 |
| Gambar 3.17 NaOH | 48 |
| Gambar 3.18 <i>Epoxy</i> dan <i>hardener</i> | 49 |
| Gambar 3.19 <i>Wax</i> | 49 |
| Gambar 3.20 Plastisin | 50 |
| Gambar 3.21 <i>Panel assy back doortrim</i> | 50 |
| Gambar 3.22 Dimensi spesimen pengujian <i>bending</i> | 52 |
| Gambar 3.23 Spesimen pengujian <i>bending</i> | 52 |
| Gambar 3.24 Dimensi pengujian tarik | 52 |
| Gambar 3.25 Spesimen pengujian tarik | 52 |
| Gambar 3.26 Penyusunan serat eceng gondok..... | 57 |
| Gambar 3.27 Serat ampas tebu <i>Mesh 10</i> | 57 |
| Gambar 3.28 Varian eceng gondok 45 ⁰ / 45 ⁰ | 58 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.29 Varian eceng gondok $90^0 / 90^0$ | 58 |
| Gambar 3.30 Varian eceng gondok $45^0 / 90^0$ | 59 |
| Gambar 3.31 Varian eceng gondok $-45^0 / 45^0$ | 59 |
| Gambar 3.32 Preparasi cetakan komposit | 63 |
| Gambar 3.33 Penakaran serat eceng gondok | 63 |
| Gambar 3.34 Proses pembuatan komposit | 64 |
| Gambar 3.35 (a) Spesimen uji tarik (b) spesimen uji <i>bending</i> | 66 |
| Gambar 3.36 Proses pengujian <i>bending</i> | 67 |
| Gambar 3.37 Proses pengujian tarik | 68 |
| <i>Gambar 4.1</i> Hasil pengujian <i>bending</i> varian $45^0 / 45^0$ | 74 |
| Gambar 4.2 Hasil pengujian <i>bending</i> varian $45^0 / 90^0$ | 75 |
| Gambar 4.3 Hasil pengujian tarik varian <i>doortrim</i> | 77 |
| Gambar 4.4 Hasil pengujian tarik varian $-45^0 / 45^0$ | 78 |
| Gambar 4.5 Diagram perbandingan kekuatan <i>bending</i> | 79 |
| Gambar 4.6 Visualisasi hasil pengujian <i>bending</i> varian $45^0 / 90^0$ | 80 |
| Gambar 4.7 Visualisasi hasil pengujian <i>bending</i> varian $90^0 / 90^0$ | 81 |
| Gambar 4.8 Foto makro patahan varian $90^0 / 90^0$ | 81 |
| Gambar 4.9 Hasil pengujian <i>bending</i> varian $45^0/90^0$ dan <i>doortim</i> | 83 |
| Gambar 4.10 Diagram perbandingan kekuatan tarik | 84 |
| Gambar 4.11 Penampang patahan tarik varian $45^0/90^0$ | 84 |
| Gambar 4.12 Penampang patahan tarik varian $90^0/90^0$ | 85 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|-----|
| Lampiran 1. Gambar teknik spesimen pengujian <i>bending</i> (mm)..... | 96 |
| Lampiran 2. Gambar teknik spesimen pengujian tarik (mm) | 97 |
| Lampiran 3. Spesimen pengujian <i>bending</i> | 98 |
| Lampiran 4. Spesimen pengujian tarik..... | 99 |
| Lampiran 5. Spesimen hasil pengujian <i>bending</i> | 100 |
| Lampiran 6. Spesimen hasil pengujian tarik | 102 |
| Lampiran 7. Print out hasil pengujian <i>bending</i> | 104 |
| Lampiran 8. <i>Print out</i> hasil pengujian tarik | 122 |
| Lampiran 9. Tabel Data Pengujian <i>Bending</i> | 140 |
| Lampiran 10. Tabel Data Pengujian Tarik..... | 141 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Muslim, dkk (2013: 26) menyatakan bahwa, penggunaan komposit dewasa ini banyak dikembangkan dalam industri manufaktur. Diantara material komposit yang banyak diperlukan pada dunia industri yaitu, komposit dengan pengisi/*filler* baik berupa serat alam maupun serat sintetis. Sekarang ini komposit berpenguat serat merupakan bahan teknik yang sering digunakan dikarenakan kekuatan dan kekakuan spesifiknya berada diatas bahan teknik lain pada umumnya, sehingga memungkinkan untuk di desain mendekati dengan kebutuhan. Sedangkan menurut Rahman, dkk (2016: D209) seiring dengan perkembangan teknologi, penerapan ilmu material di bidang komposit terus dikembangkan. Komposit dengan penguat *fiber* banyak diaplikasikan pada alat-alat yang memerlukan material berbahan dasar kuat akan tetapi juga ringan. Komposit bukan hanya dari bahan sintetis, akan tetapi juga komposit yang menggunakan bahan serat alam. Dari kedua kutipan di atas didapat bahwa seiring tuntutan zaman perlu dikembangkan material komposit baru berpenguat serat. Pengembangan komposit berpenguat serat diharap mampu untuk mengurangi komposit yang berasal dari metal maupun keramik yang sifatnya identik dengan getas, dan tergolong material yang mahal.

Departemen Pertanian mengeluarkan laporan bahwa produksi tebu nasional tiap tahunnya adalah 33 juta ton. Dengan asumsi bahwa persentase ampas dalam batang tebu kurang lebih 30-34%, perusahaan pengolah gula berada di Indonesia

diperkirakan mampu menghasilkan ampas tebu rata-rata 9,90-11,22 juta ton/tahun (Ditjenbun, 2014). Menurut Yonathan (2013: 211) Eceng Gondok (*Eicchornia Crassipes*) merupakan jenis gulma yang pertumbuhannya begitu cepat. Pertumbuhan eceng gondok mampu mencapai 1,9 % per hari dengan tinggi berkisar 0,3 – 0,5 meter. Pertumbuhannya yang sangat pesat, dirasa merugikan dikarenakan sifat eceng gondok yang menutupi permukaan air dapat mengakibatkan kandungan oksigen berkurang. Dari kedua data tersebut diperoleh bahwa sebenarnya bahan baku untuk dijadikan sebuah material komposit yang penguatnya serat alam sangat mungkin untuk diperoleh dikarenakan jumlahnya yang melimpah dan sering dianggap sebagai limbah.

Selama ini problem umum yang ada pada komponen mobil khususnya interior seperti *doortrim*, *dashboard*, *plafon* adalah karakteristik dari bahan penyusun itu sendiri. Karakteristik utama bahan baku yang cenderung tidak ramah lingkungan serta tidak dapat dimanfaatkan kembali mengakibatkan banyak dari negara maju serta berkembang menerapkan regulasi ketat yang mengatur tercapainya revolusi hijau dalam dunia industri. Menurut Ghozali, dkk (2017:31) salah satu bukti agar tercipta revolusi hijau dalam dunia industri diantaranya adalah pada tahun 2015, Uni Eropa menerapkan regulasi yang tertuang dalam *European Union's Directive on end-life of vehicle/ELVs*. Didalamnya berisi bahwa, semua komponen mobil diharuskan menggunakan material yang 85% dapat digunakan kembali. Sedangkan menurut Pramono, dkk, (2016: D212) dengan adanya material biokomposit yang mampu diterapkan guna mempengaruhi hasil kekuatan mekanik serta fisik secara signifikan. Kemudian dengan terciptanya material ini pula

diharapkan mampu tercapai revolusi lingkungan terutama dari penggunaan material. Dari sebelumnya yang kurang ramah lingkungan menjadi lebih mudah terurai, serta mampu mengurangi limbah dan menurunkan harga produk-produk dipasaran.

Sedangkan masalah atau kelemahan utama pada interior mobil khususnya *doortrim* serta *part* penyusun lain yang terkait adalah sifat dari bahan baku pembuat *doortrim* serta *part* penyusun itu sendiri. Sifat dari *doortrim* yang tidak tahan terhadap panas atau kebanyakan memiliki titik leleh rendah, dikarenakan tergolong material *thermoplastic* seperti halnya pada *panel assy backdoortrim* mobil Toyota Rush dan Daihatsu Terios. Serta bahan baku pembuatnya yang tergolong mahal sehingga mempengaruhi biaya produksi. Menurut hasil penelitian Pratiwi dan Rahardjo (2018: 184-186) PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia (TMMIN) adalah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur mesin mobil, *dies* and *jig*, serta komponen interior maupun eksterior mobil salah satunya *doortrim*. Bahan baku yang digunakan untuk produksi di TMMIN sebagian besar berasal dari pemasok lokal dengan persentase 60% hingga 85%. Produk-produk Toyota tersebut melalui berbagai evaluasi yang kontinu agar TMMIN dapat menjaga profit dengan meminimumkan biaya produksi. Metode *Value Engineering* (VE) memiliki tujuan untuk memodifikasi komponen yang disesuaikan dengan spesifikasi *vehicle* (kendala *safety*, *noise*, atau *vibration*). Salah satu produk atau part yang masuk dalam rencana *Value Engineering* (VE) TMMIN adalah *Assy Back Doortrim*. Penambahan komponen serta bahan baku pembuatan part tersebut yang tergolong

mahal dan menghasilkan modul kepadatan (*density module*). Sehingga biaya packing naik 3 kali lipat dan menyebabkan problem pada *logistic cost*.

Material komposit dengan penguat serat alam saat ini telah banyak digunakan oleh beberapa produsen industri otomotif, salah satunya yaitu pabrikan otomotif *Daimler Chrysler*, produsen mobil Amerika-Jerman ini mulai meneliti serta menggunakan bahan komposit polimer menggunakan serat alam. Bahan tersebut diaplikasikan sebagai pembungkus kabel, serta beberapa bagian interior mobil seperti *doortrim*, plafon, pelapis kursi sampai bahan baku untuk *dashboard* (Zulkifli dan Dharmawan, 2019: 42). Begitu juga halnya dengan papan serat yang berbasis komposit polimer, produk tersebut (papan serat limbah kapas) mempunyai performa yang memenuhi standar (SNI 01-4449-2006) sebagai bahan dasar pembuat *doortrim* (Mutia, dkk, 2018). Sifat material komposit dipengaruhi oleh distribusi serat sifat sebagai penyusunnya, serta hubungan diantaranya. Parameter penting lainnya yang mempengaruhi sifat material komposit yaitu bentuk, ukuran, orientasi dan distribusi dari penguat (*filler*) disertai karakteristik dari matriks (Kartini, dkk, 2002: 31). Dari penelitian-penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa, serat alam yang sifatnya mampu didaur ulang serta ramah lingkungan dapat digunakan untuk membuat komponen otomotif yang tidak memerlukan spesifikasi kekuatan tinggi seperti *door trim* dan *dashboard* yang identik dengan sifat tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba untuk menggabungkan dua serat alam yang berbeda sebagai penguatnya yaitu serat eceng gondok dan serat tebu dengan mengambil salah satu parameter penting pada komposit yaitu orientasi. Serta penggunaan resin *epoxy* sebagai

pengisi yang tergolong polymer *thermoset* dengan titik luluh lebih baik dari *thermoplastic*. Dengan merujuk pula pada hasil minimal pengujian *panel assy back doortirm* dan standar SNI 01-4449-2006 sebagai kontrol, guna mampu dijadikan sebagai alternatif bahan pembuat *doortrim*. Maka penelitian ini mengambil topik pengaruh orientasi serat terhadap kekuatan *bending* dan kekuatan tarik material komposit berpenguat serat tebu-eceng gondok dengan matrik *Epoxy*.

1.2 Identifikasi Masalah

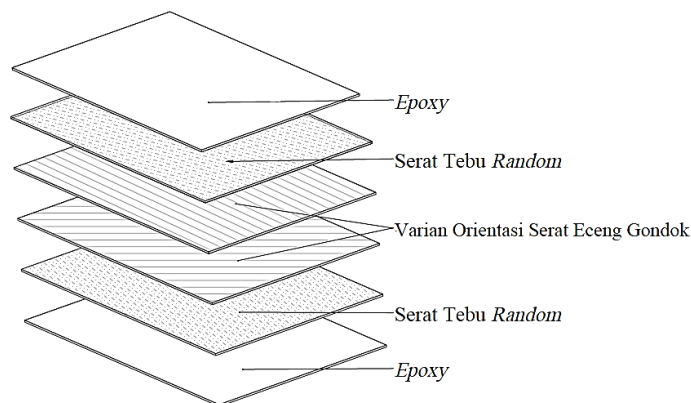
Identifikasi masalah penelitian dapat dirumuskan seperti di bawah ini:

1. Kebutuhan akan material komposit baru yang dapat menggantikan serat sintetis, dikarenakan sifatnya yang tidak ramah lingkungan dan biaya produksi yang mahal.
2. Masih banyaknya pengolahan tebu yang menghasilkan ampas serat sebagai limbah industri dan cepatnya pertumbuhan eceng gondok yang dianggap sebagai perusak ekosistem air.
3. Perlunya bahan baku untuk komponen mobil yang sifatnya mampu dimanfaatkan kembali (*recycle*) sebagai langkah terciptanya revolusi hijau dalam dunia industri.
4. Bahan baku utama untuk membuat *doortrim* pada umumnya menggunakan polimer serat sintetis, yang identik dengan sifat tidak ramah lingkungan.
5. Masih sedikitnya penelitian yang menggunakan polimer serat alam sebagai bahan baku dasar pembuat *doortrim*.

1.3 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup sebuah penelitian tidak meluas ataupun melebar maka perlu adanya sebuah batasan. Berdasarkan aspek tersebut, penelitian ini dibatasi oleh beberapa faktor berikut:

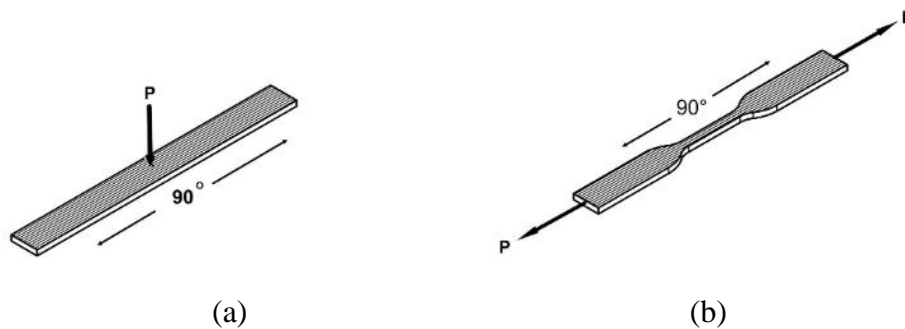
1. Serat diperoleh melalui proses yang lazim dilakukan pada pengolahan tebu dan eceng gondok.
2. Serat diolah dengan menggunakan proses alkalisasi NaOH 5%.
3. Fraksi massa matriks dan penguat yang digunakan adalah 70% : 30%.
4. Penggunaan serat sebagai penguat komposit dalam penelitian ini yaitu 10% serat eceng gondok dan 20% serat ampas tebu.
5. Orientasi serat yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan *Continuous Fiber Composite* pada serat eceng gondok dan *Randomly Oriented Discontinuous Fiber Composite* untuk serat ampas tebu.
6. Orientasi serat *Continuous Fiber Composite* pada serat eceng gondok menggunakan variasi sudut -45° (135°), 45° , 90° .



Gambar 1.1 Rancangan material komposit

7. *Randomly Oriented Discontinuous Fiber Composite* pada serat ampas tebu menggunakan panjang ± 2 mm (*mesh 10*).

8. Proses pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay up*.
9. Dalam penelitian ini analisis sifat mekanik dibatasi dengan melakukan pengujian *bending* dan pengujian tarik.



Gambar 1.2 Asumsi arah pembebanan (a) *bending* (b) tarik

10. Pembuatan spesimen pengujian *bending* dilakukan dengan standar ASTM D790 – 03 (*Molding Materials*).
11. Pembuatan spesimen pengujian tarik dilakukan dengan standar ASTM D638 – 14 (Type IV^B).
12. Pengujian yang digunakan untuk memenuhi standar kekuatan *bending* dan tarik papan serat (SNI 01–4449–2006) dan *panel assy back doortrim* mobil *Toyota Rush / Daihatsu Terios* 2013 – 2015.

1.4 Rumusan Masalah

Deangan merujuk pada latar belakang, dapat diuraikan permasalahan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh orientasi serat eceng gondok terhadap kekuatan *bending* komposit berpenguat serat eceng gondok-tebu dengan matrik *epoxy* ?
2. Bagaimana pengaruh orientasi serat eceng gondok terhadap kekuatan tarik komposit berpenguat serat eceng gondok-tebu dengan matrik *epoxy* ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas, mampu dirumuskan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh orientasi serat eceng gondok terhadap kekuatan *bending* komposit berpenguat serat eceng gondok-tebu dengan matrik *epoxy*.
2. Menganalisis pengaruh orientasi serat eceng gondok terhadap kekuatan tarik komposit berpenguat serat eceng gondok-tebu dengan matrik *epoxy*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat dihasilkan dari penelitian ini yaitu:

1. Data hasil penelitian mampu menambah pengetahuan dalam dunia sains dan teknologi khususnya dalam ilmu material.
2. Data hasil penelitian ini mampu dijadikan sebagai rujukan perusahaan otomotif maupun usaha kecil menengah khususnya untuk interior mobil.
3. Data hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai pertimbangan untuk mengembangkan dan berinovasi tentang penelitian sejenis selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian dilakukan dengan tujuan menciptakan pembaruan maupun terobosan baru dalam dunia sains dan teknologi. Proses penelitian, analisis serta pengolahan data dilakukan dengan dasar yang jelas, serta didasarkan pula dari referensi hasil penelitian terdahulu yang memiliki korelasi atau persamaan dengan judul penelitian yang akan dilakukan. Pada penelitian yang menggunakan serat eceng gondok sebagai penguat pada komposit pernah diteliti oleh Hastuti, dkk (2018) nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi diperoleh pada komposit serat eceng gondok dengan perlakuan alkali 10% selama 4 jam sebesar 25,82 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah ada pada komposit serat eceng gondok perlakuan alkali 10% selama 2 jam sebesar 22,3 MPa. Pada penelitian yang menggunakan serat amapas tebu sebagai penguat pernah diteliti oleh Wiranda dan Harahap (2015) kekuatan tarik rata-rata komposit serat tebu yang terbaik atau tertinggi adalah pada serat tebu dengan perlakuan alkali 5% sebesar 16,51 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah ada pada serat tebu tanpa perlakuan alkali atau alkali 0% yaitu 3,05 MPa.

Orientasi serat pada material komposit pernah diteliti oleh, Fahmi dan Hermansyah (2011) yang menggunakan orientasi serat 0° (*Continue*), 0° ; 45° (*Vertical*), 0° ; 90° (*Horizontal*) pada komposit berpenguat serat daun nenas. Dari beberapa orientasi yang digunakan pada penelitian tersebut nilai maksimum dari pengujian tarik terdapat pada komposit dengan orientasi serat 0° ; 45° dimana

kekuatan tariknya sebesar 54,26 MPa lebih besar dari pada orientasi serat 0^0 yang nilainya 43,88 MPa dan $0^0 ; 90^0$ yang nilainya 46,85 MPa. Pada penelitian Ilham, dkk (2019) Orientasi serat acak yang digunakan pada komposit serat ijuk dan serat kelapa menghasilkan nilai rata-rata kekuatan tarik 23,48 MPa untuk variasi fraksi volume (15% serat ijuk : 15% serat sabut kelapa). Selanjutnya diikuti variasi volume (20% serat ijuk : 10% serat kelapa) dengan nilai kekuatan tarik 21,64 MPa. Sedangkan pada penelitian Andreawan, (2019) yang menggabungkan orientasi serat acak pada ijuk dan sudut pada *e-glass* menghasilkan nilai rata-rata kekuatan geser sebagai berikut. Arah orientasi sudut serat 45^0 sebesar 45,56 MPa, 60^0 sebesar 39,44 MPa dan 90^0 sebesar 38,06 MPa. Perbedaan nilai kekuatan mekanik dari ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi orientasi serat berpengaruh pada kekuatan mekanik yang dihasilkan.

Kekuatan mekanik yang terjadi pada material komposit juga pernah diteliti oleh Gunawan, dkk (2016) dengan melakukan uji kekuatan tarik dan *bending* terhadap komposit berpenguat serat tangkai sagu dengan hasil rata-rata kekuatan tarik 48,00 MPa dan kekuatan *bending* 90,23 MPa pada serat berdiameter 0,05 – 0,25 mm. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kunarto dan Ernawan (2018) menggunakan pengujian kekuatan tarik dan *bending* terhadap komposit berpenguat serat rami pelepah pisang dan eceng gondok. Nilai rata-rata kekuatan tarik terbaik ada pada arah serat vertikal yaitu sebesar 20,33 MPa dan rata-rata kekuatan *bending* terbaik ada pada arah serat silang yaitu 1,19 MPa. Sedangkan pada penelitian Muhajir, dkk (2016) melakukan pengujian tarik pada komposit matriks resin berpenguat serat ijuk dengan hasil kekuatan tarik rata-rata sebesar 21,9 MPa. Nilai

kekuatan tarik *woven* 16 MPa, *cross* 29,7 MPa, *random* 33,9 MPa pada varian tata letak. Dari hasil ketiga penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa pengujian kekuatan mekanik pada sebuah komposit perlu dilakukan guna mengetahui karakteristik material tersebut.

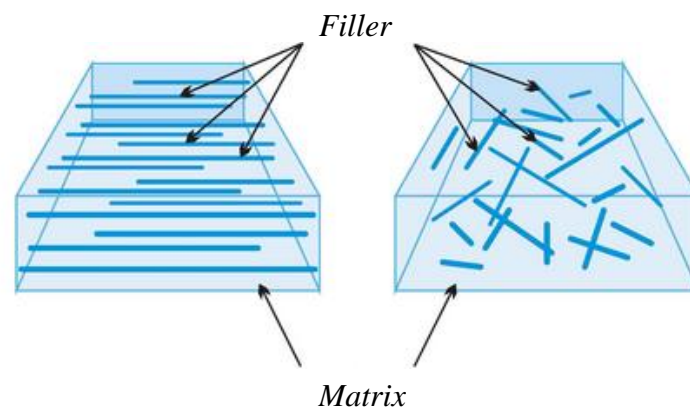
Penelitian ini menggunakan dua jenis serat alam yang berbeda sebagai penguat, serta mengkombinasikan orientasi serat *continuous* dan *random* yang mana pada penelitian sebelumnya merupakan salah satu faktor penentu sifat mekanis material komposit. Pada penelitian sebelumnya alkalisasi 5% serat alam selama 4 jam, merupakan komposisi serta lamanya waktu perlakuan alkali dengan hasil kekuatan mekanis terbaik. Oleh karena lamanya waktu perlakuan alkali, meningkat pula kekuatan mekanis sebuah material komposit maka penelitian ini mengambil rentang waktu 5 jam. Selain itu pada penelitian sebelumnya orientasi serat acak yang dikombinasikan arah sudut hanya menggunakan satu *layer* atau lapis pada orientasi sudut. Pada penelitian kali ini menggunakan dua *layer* yang ditinjau dari arah orientasi penguat merupakan kategori *Quasi-Isotropic Lay-Up* atau *laminata*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Komposit

Mahmuda (2013: 79) menyatakan bahwa, komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material penyusunnya melalui campuran yang tidak homogen. Dimana sifat mekanik dari masing-masing material penyusunnya yang berbeda. Menurut Fahmi dan Arifin (2014: 86) komposit mampu didefinisikan sebagai suatu material yang tersusun dari campuran

ataupun kombinasi dua bahkan lebih unsur-unsur utama yang berbeda di dalam bentuk maupun sifatnya. Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut dengan matriks. Sedangkan menurut Surono dan Sukoco (2016: 298), komposit adalah suatu jenis material baru hasil rekayasa yang terdiri atas dua ataupun lebih bahan, dimana sifat masing-masing bahan berbeda antara satu dengan yang lain, baik sifat kimia maupun fisiknya. Gabungan dua material tersebut mempunyai fungsi masing-masing, matrik berfungsi sebagai pengikat sedangkan serat berfungsi sebagai penguat. Dari ketiga pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa komposit merupakan material baru yang terdiri dari dua atau lebih material pembentuknya, dimana sifat dan fungsi dari masing masing material pembentuknya berbeda, matrik berfungsi sebagai pengikat sedangkan *filler* atau pengisi sebagai penguat. Ilustrasi bahan penyusun komposit dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 *Illustrating the phases of a composite* (Surono dan Sukoco, 2016)

2.2.2 Klasifikasi Material Komposit

Menurut Kaw (2006) klasifikasi komposit berdasarkan matriks yang berfungsi sebagai pengikat dapat dibagi menjadi tiga kategori, antara lain :

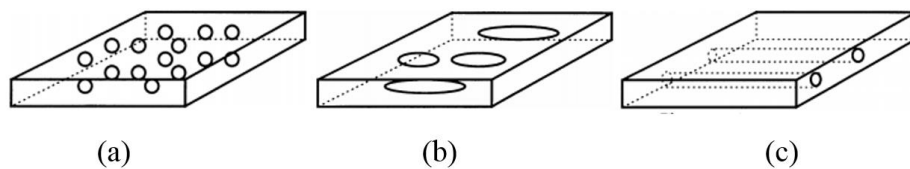
1. Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composites* – PMC). Bahan ini merupakan bahan yang paling sering digunakan atau sering disebut dengan Polimer Berpenguat Serat (*Fibre Reinforce Polymers of Plastics* – FRP). Komposit ini menggunakan suatu polimer berbasis resin sebagai matriknya, dan jenis serat tertentu sebagai penguat, seperti: serat kaca sebagai serat buatan dan *natural fiber* sebagai serat alami.
2. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites* – CMC). Material komposit ini biasanya digunakan pada lingkungan dengan temperatur sangat tinggi, bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*whiskers*) yang terbuat dari silikon karbida atau boron nitrida.
3. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites* – MMC). Berkembang pada industri otomotif, bahan ini umumnya menggunakan suatu logam seperti aluminium, magnesium, dan titanium sebagai matrik sedangkan penguatnya dengan serat *silicon carbida* (SiC).

Sedangkan berdasarkan geometri penguatnya, material komposit diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu:

1. *Particulate reinforced composite*, tersusun dari partikel yang dikombinasikan ke dalam matriks. *Particulate reinforced composite* dibagi menjadi dua jenis. Pertama, *Large particle* merupakan fraksi bervolume tinggi dari partikel keras yang besar serta diperlukan dalam matriks yang relatif lunak. Kedua, *dispersion strengthened* mengandung partikel berukuran sangat kecil yang tersebar pada konsentrasi rendah yang akan

menambah daya ikat matriks sehingga mengakibatkan kekuatan material komposit tersebut akan meningkat.

2. *Fiber reinforced composite*, tersusun dari matriks dengan serat sebagai penguatnya. Matriks yang sering digunakan dalam pembuatan *Fiber reinforced composite* adalah polimer.
3. *Flake reinforced composite*, terdiri dari dua *layer* atau lapisan menyerupai matriks yang digunakan sebagai penguat.

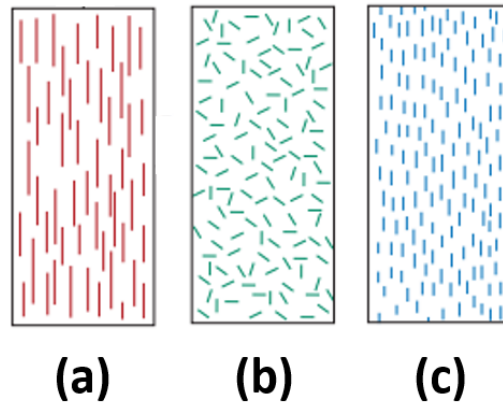


Gambar 2.2 (a) *particulate* (b) *flake* (c) *fiber* (Kaw, 2006: 18)

2.2.3 Komposit Serat Matriks Polimer

Komposit serat matriks polimer merupakan komposit yang terdiri dari dua atau lebih serat sebagai penguatnya, baik serat alam ataupun serat sintetis dan matriks polimer sebagai penguatnya. Menurut Callister dan Retheisch (2010) jenis serat sebagai penguat material komposit dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

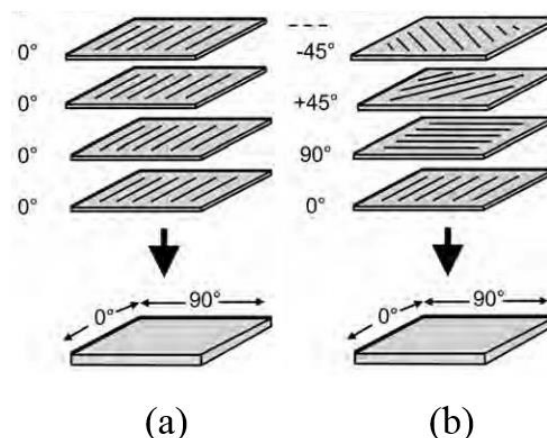
1. *Continuous and aligned fiber* atau serat panjang teratur, merupakan jenis serat dengan ukuran panjang yang seragam dan disusun secara teratur pada saat proses pembuatan komposit.
2. *Discontinuous and aligned fiber* atau serat pendek teratur, merupakan jenis serat dengan ukuran pendek yang seragam dan disusun secara teratur pada saat proses pembuatan komposit.
3. *Discontinuous and randomly* atau serat pendek acak, merupakan jenis serat dengan ukuran pendek yang seragam dan disusun secara acak.



Gambar 2.3 (a) *Continuous and aligned* (b) *Discontinuous and randomly* (c) *Discontinuous and aligned* (Callister dan Retheisch, 2010: 636)

Menurut Campbell (2010) ditinjau dari arah orientasi serat penguat pada lapisannya, sehingga mampu dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

1. *Unidirectional Lay-Up* atau lamina, yaitu material komposit yang tersusun dari satu lapisan serat (*ply*) dengan orientasi searah dalam sebuah matriks.
2. *Quasi-Isotropic Lay-Up* atau *laminat*, merupakan susunan lapisan-lapisan lamina yang setiap lapisannya dapat memiliki karakteristik berbeda dari segi orientasi maupun material penyusunnya.



Gambar 2.4 (a) *Unidirectional lay-up* (lamina) (b) *Quasi-Isotropic lay-up* (*laminat*) (Campbell, 2010: 7)

2.2.4 Fraksi Volume Komposit

Komposisi material komposit mampu ditentukan dengan perbandingan fraksi volume. Fraksi volume komposit tersusun dari tiga bagian yaitu fraksi volume matriks, fraksi volume penguat, dan fraksi volume komposit keseluruhan. Berikut merupakan persamaan yang dibutuhkan untuk menentukan rincian komposisi yang dibutuhkan dalam pembuatan komposit:

Fraksi volume komposit mampu didapat menggunakan persamaan:

$$v_c = v_f + v_m \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\frac{m_c}{\rho_c} = \frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m} \dots\dots\dots (2.2)$$

Massa komposit mampu didapat menggunakan persamaan:

$$m_c = m_f + m_m \dots\dots\dots (2.3)$$

Fraksi volume serat mampu didapat menggunakan persamaan:

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

| | |
|---|--|
| v_c = Volume komposit (cm ³) | v_f = Volume serat (cm ³) |
| v_m = Volume matriks (cm ³) | m_f = Massa serat (gr) |
| m_m = Massa matriks (gr) | ρ_f = Massa jenis serat (gr/cm ³) |
| ρ_m = Massa jenis matrik (gr/cm ³) | V_f = Fraksi volume serat (%) |
| m_c = Massa komposit (gr) | |

2.2.5 Hybrid Composite

Kaw (2006: 54) menerangkan bahwa, komposit *Hybrid* adalah material komposit yang memiliki lebih dari satu jenis serat atau matriks dalam satu laminasi.

Terdapat empat jenis tipe laminasi dari komposit *hybrid* yaitu:

1. *Interply hybrid laminates*, berisi dua atau lebih lapisan dari sistem komposit yang berbeda. Seperti contoh, didalam bumper mobil terbuat dari beberapa layer yaitu *glass/epoxy* dan *graphite/epoxy*.
2. *Intraply hybrid composites*, terdiri dari dua tau lebih serat yang digunakan pada satu lapisan yang sama. Seperti contoh, dalam tongkat golf menggunakan serat *graphite* dan *aramid*.
3. *An interply-intraply hybrid*, terdiri dari lapisan yang memiliki dua atau lebih serat yang berbeda di lapisan yang sama dan sistem komposit yang berbeda dalam lebih dari satu lapisan.
4. *Resin hybrid laminates*, menggabungkan dua atau lebih resin sebagai ganti dari dua atau lebih serat dalam lapisan.

2.2.6 Serat Eceng Gondok

Karyanik dan Sari (2016: 18) menyatakan bahwa, serat eceng gondok merupakan salah satu material dari *natural fibre* sebagai bahan alternatif dalam pembuatan komposit. Secara ilmiah pemanfaatannya masih dikembangkan, dikarenakan belum ditemukan material komposit yang menggunakan serat eceng gondok. Serat eceng gondok selain mudah didapat serta murah dapat pula mengurangi polusi lingkungan (*biodegradability*), sehingga komposit ini mampu mengurangi permasalahan lingkungan serta tidak membahayakan kesehatan. Perkembangan serat eceng gondok sebagai material komposit ini sangat dimaklumi mengingat dari segi ketersediaan bahan baku serat alam, Indonesia memiliki bahan baku yang cukup melimpah.

Menurut Abral, dkk (2014: 125) dalam beberapa tahun belakangan, penggunaan serat alami sebagai penguat dalam komposit polimer untuk menghasilkan bahan rekayasa dengan biaya rendah banyak mendapat perhatian. Serat alami sangat melimpah, terutama yang berasal dari tumbuhan air. Salah satunya adalah tanaman eceng gondok yang tumbuh sangat cepat dan mengapung di permukaan air. Pertumbuhannya sangat sulit untuk dikendalikan, oleh sebab itu sering menimbulkan beberapa masalah seperti menutupi permukaan air yang mempengaruhi penurunan produksi di sektor perikanan, penguapan air lebih cepat dan faktor pemicu pertumbuhan nyamuk. Namun, sumber serat alami ini belum dimanfaatkan secara maksimal untuk dikembangkan menjadi produk komersial. Memang sebagai serat alami, serat eceng gondok sangat berguna dan cocok untuk diterapkan sebagai bahan penguat dalam komposit polimer karena karakteristiknya yang menarik, yaitu isi selulosa yang relatif tinggi dan diameter selulosa yang kecil. Sifat material atau material properties dari eceng gondok dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 *Material properties of eichhornia crassipes fiber*
(Bhuvaneshwari dan Sangeetha, 2016: 94)

| <i>Material Properties</i> | <i>Values of Eichhornia crassipes fiber</i> |
|------------------------------|---|
| <i>Single fiber length</i> | 15 cm – 20 cm |
| <i>Single fiber diameter</i> | 320 μm |
| <i>Tensile strength</i> | 2,12 MPa |
| <i>Fiber elongation</i> | 2,5% |
| <i>Density</i> | 0,25 gr/cm^3 |

2.2.7 Serat Ampas Tebu

Menurut Suban dan Farid (2015: F101) serat ampas tebu (*baggase*) merupakan limbah organik yang berasal dari hasil pengolahan gula tebu di Indonesia. Serat ini mempunyai beberapa keunggulan yaitu nilai ekonomis yang cukup tinggi, mudah didapat, murah, tidak berbahaya bagi kesehatan, serta dapat terurai secara alami (*biodegradability*). Sehingga nantinya dengan pemanfaatan sebagai serat penguat komposit diharapkan mampu mengatasi permasalahan lingkungan akibat limbah ampas tebu. Menurut Candido, dkk (2017: 334) dalam satu dekade terakhir, serat *lignoselulosa* alami yang diperoleh dari tumbuhan banyak direkayasa sebagai penguat komposit polimer. Keragaman serat *lignoselulosa* alami, yang ada di seluruh dunia, telah meningkatkan minat pada material ini dalam rangka mengganti serat sintetis kuat seperti kaca, karbon, nilon dan aramid dalam aplikasi teknik. Beberapa jenis serat alami dari tanaman diekstrak sebagai penguat komposit polimer. Bahkan komposit menggunakan serat alam terutama tebu ini sudah umum digunakan dalam industri otomotif. Terutama komponen komponen mobil di Brazil.

Sehingga dari kedua pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa serat tebu sebagai serat alami beberapa dekade terakhir telah dikembangkan sebagai pengganti dari penguat serat sintetis karena mempunyai sifat tertentu yang tidak dimiliki pada serat sintetis, bahkan industri-industri otomotif telah banyak menggunakan serat yang berasal dari alam terutama tebu ini sebagai komponen komponen mobil. Karakteristik material *baggase* dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 *Material properties of baggase* (Boontima dkk, 2014: 6-7)

| <i>Material Properties</i> | <i>Values of Baggase</i> |
|------------------------------|--------------------------|
| <i>Single fiber diameter</i> | 501 μm |
| <i>Tensile strength</i> | 7,31 MPa |
| <i>Fiber elongation</i> | 4,03 % |
| <i>Density</i> | 0,36 gr/cm^3 |

2.2.8 Resin Epoxy

Surdia dan Saito (dalam Siregar, dkk, 2017: 720) menyatakan bahwa, resin *Epoxy* merupakan sebuah bahan kimia resin yang dihasilkan dari polimerisasi *epoxyda*. Resin polimerisasi tersebut kemudian dikenal dengan nama resin *thermoset* yang membentuk ikatan molekul yang erat dalam suatu struktur antar polimer. Rangkaian tersebut membentuk *epoxy* dengan bentuk awal berupa cairan yang bereaksi secara kimiawi menjadi padat. Polimer *epoxy* ini kuat secara mekanis. Polimer *epoxy* memiliki sifat tahan terhadap perubahan yang biasanya dimiliki unsur-unsur kimia padat pada umumnya. Sifat rekatnya yang tinggi dihasilkan melalui proses konversi dari cair ke padat. Polimer *epoxy* memiliki bermacam varian sifat yang berbeda, tergantung bahan kimia dasar dalam resin. Sifat mekanik dari *Epoxy* dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Sifat mekanik beberapa jenis polimer (Purboputro, 2006: 72)

| <i>Type (acronym)</i> | <i>Tensile Yield Strength [MPa]</i> | <i>Elongation [%]</i> | <i>Flexural Strength [MPa]</i> | <i>Density [lb/in³]</i> |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| <i>Phenolic (PF)</i> | 69 | <1 | 76 | 0,05 |
| <i>Epoxy (EP)</i> | 72 | 4 | 110 | 0,04 |
| <i>Polystyrene (PS)</i> | 51,7 | 1,5 | 86 | 0,04 |
| <i>Polyethylene (PE)</i> | 13 | 600 | - | 0,034 |

| | | | | |
|---|------|-----|----|-------|
| <i>Polyvinylchloride</i> (PVC) | 44,8 | 6 | 89 | 0,054 |
| <i>Polyester</i> (UP) | 40 | 1,6 | 60 | 0,034 |
| <i>Acrylonitrile</i> <i>butadiene</i> <i>stryrene</i> (ABS) | 55 | 12 | 76 | 0,04 |

Menurut Muslim, dkk (2013: 27) *Resin epoxy* mempunyai banyak keunggulan sebagai zat perekat dibandingkan dengan polimer lain. Diantaranya adalah keaktifan permukaan tinggi, daya pembasahan baik, kekuatan kohesif tinggi, tidak mengkerut, dapat diubah-ubah sifatnya dengan memilih *resin hardener* yang tepat. Perekat *epoxy* kekuatannya tidak berubah dalam waktu yang lama, tahan minyak, gemuk, panas atau cuaca dingin.

2.2.9 Perlakuan Alkali

Guna mendapatkan komposit dengan karakteristik yang baik dari bahan penguat serat alam, faktor yang perlu dipertimbangkan adalah memperbaiki ikatan antar muka serat alam dengan resin. Sifat alami serat adalah *Hidrophyllic*, yaitu lebih banyak menyerap air berbeda dengan polimer yang bersifat *hidrophobic* atau menolak air. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam selulosa telah diteliti dimana kandungan optimum air mampu diminimalisir sehingga sifat alami *hidrophyllic* serat dapat memberikan ikatan *interficial* dengan matrik secara optimal (Bismarck, dkk, 2002: 873-874).

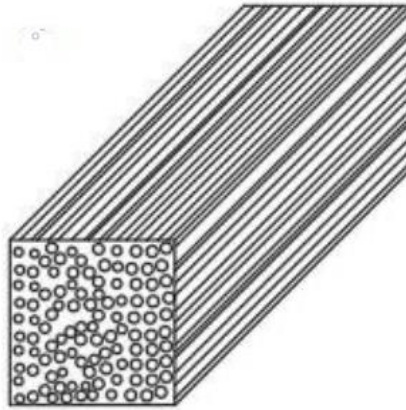
Proses alkalisasi bertujuan untuk meluruhkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antarmuka yaitu hemiselulosa, lignin atau pektin. Berkurangnya hemiselulosa, lignin atau pektin, sehingga kekuatan antarmuka pun akan meningkat. Selain itu, pengurangan hemiselulosa,

lignin atau pektin akan meningkatkan kekasaran permukaan yang menghasilkan ikatan mekanik yang lebih baik (Maryanti, 2011: 125).

Perlakuan alkali untuk meningkatkan kekuatan tarik komposit serat alam dibuktikan pada penelitian (Widnyana, dkk 2018: 301) dengan menggunakan variasi persentase konsentrasi NaOH 5% pada komposit serat sabut kelapa dengan matriks *polyester*. Penggunaan konsentrasi NaOH tersebut merujuk pada penelitian relevan sebelumnya yang menggunakan variasi (5%, 10%, 15%, 20%) dengan hasil kekuatan tarik tertinggi ada pada konsentrasi NaOH 5%. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata kekuatan tarik yaitu 23,2 MPa.

2.2.10 Orientasi *Continuous Fiber Composite*

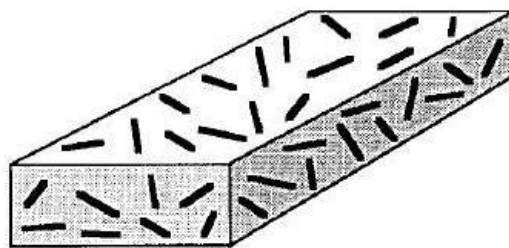
Sedangkan menurut Yani dan Lubis, (2018: 79) *continuous* atau *unidirectional*, memiliki serat panjang dan lurus, sehingga membentuk lamina di antara matriknya. Tipe yang paling sering digunakan ini memiliki kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriknya. Dari pernyataan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa *Continuous Fiber Composite* merupakan jenis tipe serat pada komposit yang mempunyai susunan panjang dan lurus. Komposit serat *Continuous Fiber Composite* dapat dilihat pada, Gambar 2.5



Gambar 2.5 *Continous fiber composite* (Akca dan Gursel, 2015: 3)

2.2.11 Orientasi *Randomly Oriented Discontinuous Fiber Composite*

Harsi, dkk (2015: 62) menyatakan bahwa, *Randomly oriented discontinuous fiber* yaitu tipe komposit yang menggunakan serat berukuran pendek dan tersebar secara acak diantara matriknya. Tipe acak banyak digunakan dalam skala produksi besar dikarenakan faktor biaya manufakturnya yang lebih rendah. Sedangkan menurut Sideridis, dkk (2018: 53) *Randomly oriented* adalah tipe serat pendek acak yang memiliki kekakuan yang lebih rendah dari tipe lainnya apabila dijadikan penguat sebuah komposit serta tidak rumit dalam proses pembuatannya. Komposit yang berserat *Randomly oriented discontinuous fiber* dapat dilihat pada, Gambar 2.6



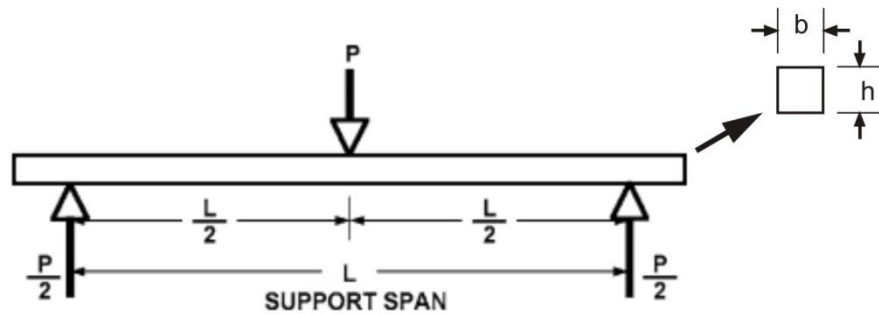
Gambar 2.6 *Discontinuous fiber* (ASM Handbook Vol. 21: 40)

2.2.12 Pengujian *Bending*

Sabuin, dkk (2015: 71-72) menyatakan bahwa, nilai kekuatan *bending* atau kuat lengkung adalah tegangan *bending* maksimal yang mampu diterima akibat pembebanan dari luar tanpa mengakibatkan deformasi yang besar maupun kegagalan. Nilai kekuatan *bending* pada sisi permukaan atas sama nilai dengan kekuatan *bending* pada permukaan bagian bawah. Menurut Naufal, dkk (2016: 258) pengujian *bending* diberikan pada sebuah material untuk mengetahui sejauh mana sifat ulet (*ductility*) maupun getas. Serta mampu mengetahui deformasi yang terjadi dengan radius bengkok tertentu. Sedangkan tipe pengujian yang *Three Point* yaitu benda uji diberikan satu penekanan dibagian atas benda uji dan dua tumpuan dibawah benda uji. Dari kedua pernyataan diatas disimpulkan bahwa pengujian *bending* adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan lengkung atau tekan maksimal suatu material. Dari data yang didapat dari ASTM D7264, berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan pada pengujian *bending*.

1. *Three point bending*

Sifat tekan material komposit lebih baik daripada tarik. Pada pengujian *bending*, permukaan atas spesimen berlaku proses tekan dan permukaan bawah berlaku proses tarik. Sehingga kegagalan yang terjadi yaitu patah permukaan dikarenakan tidak mampu menahan beban yang diberikan. *Three point bending* adalah proses pengujian dengan dua titik tumpu dibagian alas dan satu titik penekanan dibagian atas.



Gambar 2.7 Skema uji *three point bending* (ASTM D 7264: 2)

Momen inersia material balok tersebut dapat ditemukan menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{bh^2}{12} \dots\dots\dots (2.5)$$

Momen yang berlaku pada balok spesimen mampu dicari menggunakan persamaan:

$$M = \frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{1}{2} \cdot L \dots\dots\dots (2.6)$$

$$M = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L \dots\dots\dots (2.7)$$

Nilai tegangan bending maksimal pada spesimen berbentuk balok yang ditumpu oleh dua titik dan diberikan pembebanan pada titik tengahnya mampu dicari menggunakan formula berikut:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\sigma = \frac{\frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{1}{2} \cdot h}{\frac{1}{2}bh^3} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Sedangkan regangan maksimal yang berlaku pada pengujian *three point bending* dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

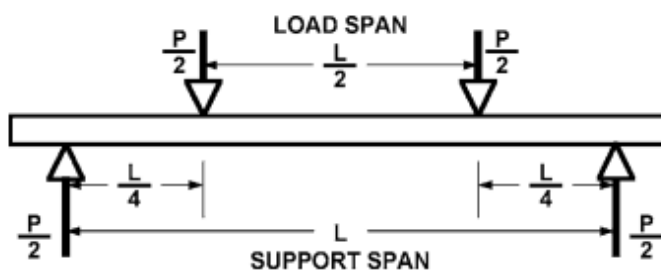
Perbandingan tegangan dan regangan akan mendapatkan sebuah persamaan yaitu modulus elastisitas. Formula untuk mendapatkan modulus elastisitas pada *three point bending* dapat dilihat pada Persamaan 2.6

$$E_f = \frac{L^3 m}{4bh^3} \dots\dots\dots (2.12)$$

- Dimana: σ = Tegangan *bending* maksimal (MPa)
 P = Beban yang bekerja (N)
 L = Jarak antar titik tumpu (mm)
 b = Lebar spesimen (mm)
 h = Tebal spesimen (mm)
 ε = Regangan maksimal (mm/mm)
 δ = Defleksi (mm)
 E_f = Modulus elastisitas kelenturan (MPa)
 m = Kemiringan garis potong curva (N/mm)

2. *Four point bending*

Berbeda dengan tipe *three point bending*, tipe ini memakai empat titik pengujian yaitu dua titik pada sisi bawah sebagai tumpuan dan dua titik di atas sebagai penekanan.



Gambar 2.8 Skema pengujian *four point bending*

Nilai kekuatan *bending* maksimal material balok yang ditumpu oleh dua titik serta diberikan dua buah titik pembebanan pada permukaan atasnya dapat dicari menggunakan formula berikut:

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \dots\dots\dots(2.13)$$

Formula regangan maksimum pada proses pengujian *four point bending* yaitu sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{4,36\delta h}{L^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

Perbandingan tegangan dan regangan menghasilkan persamaan modulus elastisitas. Modulus elastisitas pada pengujian *four point bending* mampu dilihat pada Persamaan 2.9

$$E_f = \frac{0,17L^3 m}{bh^3} \dots\dots\dots(2.15)$$

- Dimana:
- σ = Tegangan atau Kekuatan *bending* maksimal (MPa)
 - P = Beban yang bekerja (N)
 - L = Jarak antar titik tumpu (mm)
 - b = Lebar spesimen (mm)
 - h = Tebal spesimen (mm)
 - ε = Nilai regangan maksimal (mm/mm)
 - δ = Defleksi (mm)
 - E_f = Modulus elastisitas kelenturan (MPa)
 - m = Kemiringan garis potong curva (N/mm)

Kedua tipe tersebut mempunyai kelebihan serta kekurangan yang disajikan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Komparasi antara pengujian *bending 3 point* dan *4 point* (Brown, 2002: 144-150)

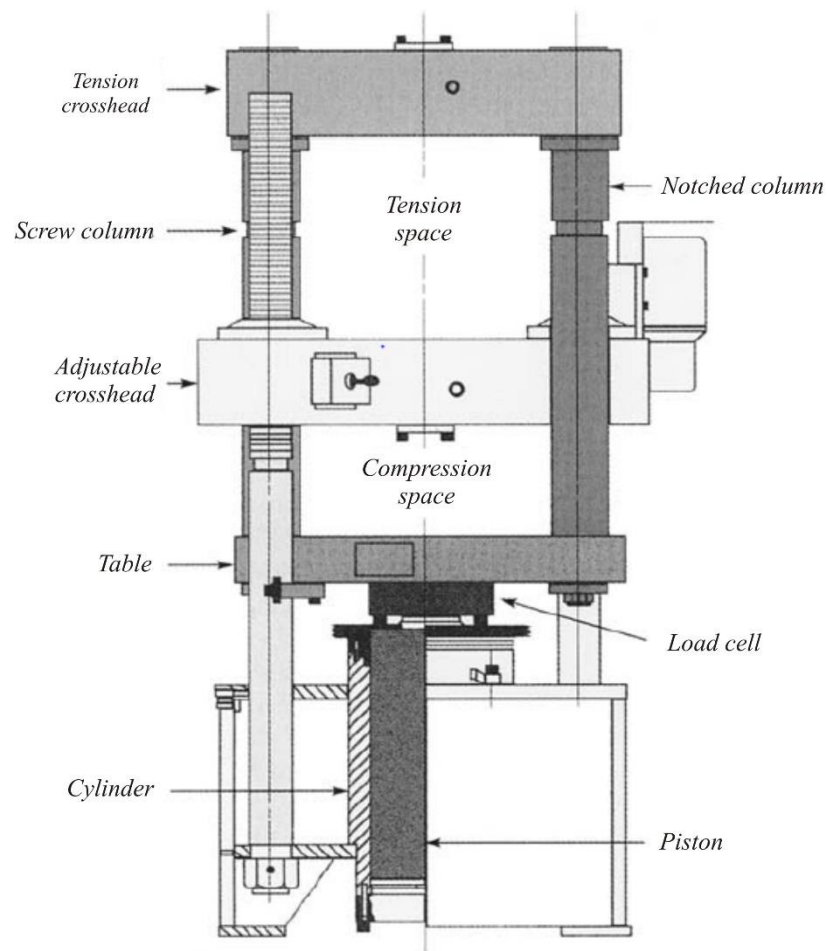
| Type Pengujian | Kelebihan | Kekurangan |
|----------------------------|---|---|
| <i>Three point bending</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Uni eropa hanya mengakui metode <i>three point bending</i> 2. Untuk bahan polymer, ISO 178 Merekomendasikan metode <i>three point</i> pada pengujian <i>bending</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Sulit dalam pengujian tepat ditengah, dikarenakan apabila terjadi penekanan tidak center di tengah maka formula pun akan berubah 2. Terjadi kemungkinan geser pada penempatan spesimen |
| <i>Four point bending</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Distribusi tegangan yang dihasilkan lebih merata 2. Hasil pengujian dimungkinkan lebih akurat. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pembuatan <i>point</i> lebih rumit 2. Penekan kedua <i>point</i> harus bersamaan, dikarenakan apabila salah satu <i>point</i> terlebih dahulu maka yang terjadi adalah <i>three point</i> |

Berdasarkan perbandingan tersebut, maka metode pengujian *bending* yang akan diterapkan pada penelitian ini adalah metode *three point*, dengan pertimbangan mudah dalam menentukan titik penekanan serta pembuatan spesimen.

2.2.13 Pegujian Tarik

Yulianto dan Yandri (2018: 24) menyatakan bahwa, pengujian tarik (*tensile test*) adalah suatu metode pengujian mekanik pada sebuah material statis, dengan cara spesimen ditarik pada salah satu ujungnya dan menahan ujung lainnya. Dimana

gaya tarik yang diberikan sesumbu dan sebesar P (Newton). Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik hingga putus menggunakan mesin uji tarik atau dengan *universal testing machine*. Tujuannya untuk mengetahui sifat sifat mekanik tarik komposit yang diuji. Kekuatan tarik suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula-mula sebelum terdeformasi.



Gambar 2.9 *Components of universal testing machine (ASM International: 3)*

Hal-hal yang mempengaruhi kekuatan tarik komposit antara lain :

a. Temperatur

Apabila temperatur naik, maka kekuatannya akan turun.

b. Kelembaban

Pengaruh kelembaban ini akan berdampak pada meningkatnya absorpsi air, sehingga regangan patah akan naik, sedangkan tegangan patah dan modulus elastisitasnya melemah.

c. Laju Tegangan

Apabila laju tegangan minim, maka terjadi pertambahan panjang dan akibatnya kurva tegangan-regangan menjadi landai, mengakibatkan rendahnya modulus elastisitas. Sedangkan apabila laju tegangan tinggi, maka beban patah dan modulus elastisitasnya meningkat namun regangannya mengecil. Hubungan antara tegangan dan regangan pada beban tarik ditentukan dengan formula berikut (ASTM D 3039: 9)

$$P = \sigma \cdot A \text{ atau } \sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [2.16]$$

Catatan:

P = beban (N)

A = luas penampang (mm²)

σ = tegangan (MPa).

Besarnya regangan adalah pertambahan panjang dibanding panjang daerah ukur (*gage length*). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis curva.

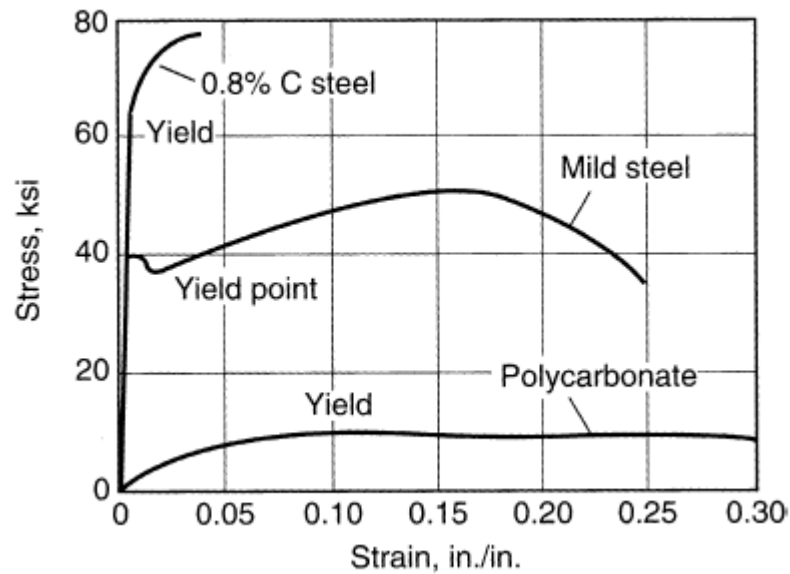
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots [2.17]$$

Dimana :

ε = Regangan (mm/mm)

ΔL = pertambahan panjang (mm)

L_0 = panjang awal (*gage length*), mm



Gambar 2.10 *Typical tensile stress-strain polymer, low carbon, and high carbon* (ASM International: 18)

Pada wilayah proporsional yaitu wilayah dimana tegangan regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang berlaku masih bersifat elastis dan tetap berlaku hukum *Hooke*. Nilai modulus elastis komposit yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada wilayah proporsional dapat dihitung menggunakan persamaan

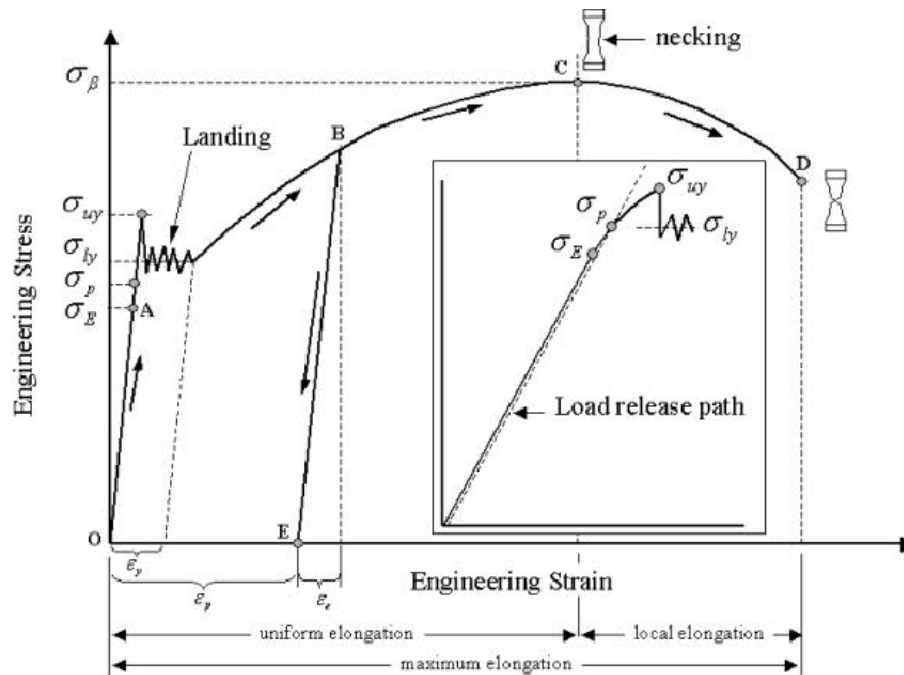
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots [2.18]$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas tarik (MPa to GPa)

σ = Kekuatan tarik (MPa)

ϵ = Regangan (mm/mm)



Gambar 2.11 *Typical tensile stress strain of low-carbon (mild steel)*
(Budianto, dkk, 2017: 4)

Dimana:

- σ_E = Tegangan elastis / Batas elastis
- σ_p = Tegangan proporsional / Batas proporsional
- σ_{uy} = Tegangan luluh atas
- σ_{ly} = Tegangan luluh bawah
- ϵ_y = Regangan luluh
- ϵ_p = Regangan plastis
- ϵ_e = Regangan elastis
- σ_β = Tegangan tarik maksimum

2.2.14 Door Trim

Door trim merupakan komponen utama pada interior mobil yang tersusun dari beberapa bagian seperti *trim panel*, *handle doortrim*, *armrest* dan *panel assyback doortrim*. Fungsi utama doortrim yaitu sebagai penutup mekanisme kaca *power window* serta meredam suara yang berasal dari luar. Bahan baku pembuat *door trim* pada umumnya menggunakan plastik seperti *Thermoplastic Polyurethane*

(TPU), *Polyvinyl Chloride (PVC)*, *Polyvinyl Urethane (PU)*, *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, *Polycarbonate (PC)*, *PC-ABS*, atau fiber seperti *fiberglass* dan *fibercarbon*. Berikut merupakan bagian daripada *doortrim* yaitu *panel assyback doortrim* yang dapat dilihat pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 *Panel Assyback Doortrim Toyota Rush*

Komposit fiber yang merupakan bahan pembuat *door trim* tergolong sebagai papan serat. Sedangkan menurut Badan Standarisasi Nasional (BSN), papan serat sebagai bahan pembuat *door trim* harus memenuhi persyaratan mekanis Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk papan serat. Berikut merupakan persyaratan mekanis untuk papan serat kerapatan tinggi (SNI 01-4449-2006: 5-9)

Tabel 2.5 Persyaratan mekanis untuk papan serat kerapatan tinggi

| Tipe | Kekuatan <i>Bending</i> | Kekuatan Tarik |
|-------------|--------------------------------|-----------------------|
| T1 35 | ≥ 35 MPa | > 4 MPa |
| T1 25 | ≥ 25 MPa | > 4 MPa |
| T1 20 | ≥ 20 MPa | > 4 MPa |

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian adalah usaha sistematis dan objektif untuk mencari, menguji atau mengembangkan suatu pengetahuan yang dapat dipercaya. Sedangkan metode penelitian adalah cara ilmiah yang digunakan untuk mendapatkan data penelitian, dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Penelitian dilakukan dengan melakukan kajian dan analisa terhadap penelitian yang sudah ada kemudian mengembangkannya. Pada penelitian ini terdapat dua kegiatan penting yang dilakukan yaitu : 1) Proses persiapan dan pembuatan komposit bermatriks *epoxy* dengan orientasi serat eceng gondok *Continous Fiber Composite* dan serat ampas tebu *Random Fiber Composite* 2) Proses pengujian sifat mekanik yaitu uji *bending* dan tarik material komposit.

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Waktu sekaligus tempat penelitian perlu direncanakan sehingga penelitian yang dilakukan akan terjadwal dan tersusun sesuai rencana agar penggunaan waktu dan tempat menjadi efisien. Waktu dan tempat yang direncanakan sebagai berikut:

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2019 hingga bulan Januari 2020. Proses Pengolahan data dilakukan pada bulan Februari 2020.

3.1.2 Tempat Penelitian

Tempat penelitian dalam pengujian ini dilakukan di beberapa tempat yang berbeda sesuai tahapan penelitian. Ketiga tempat tersebut adalah:

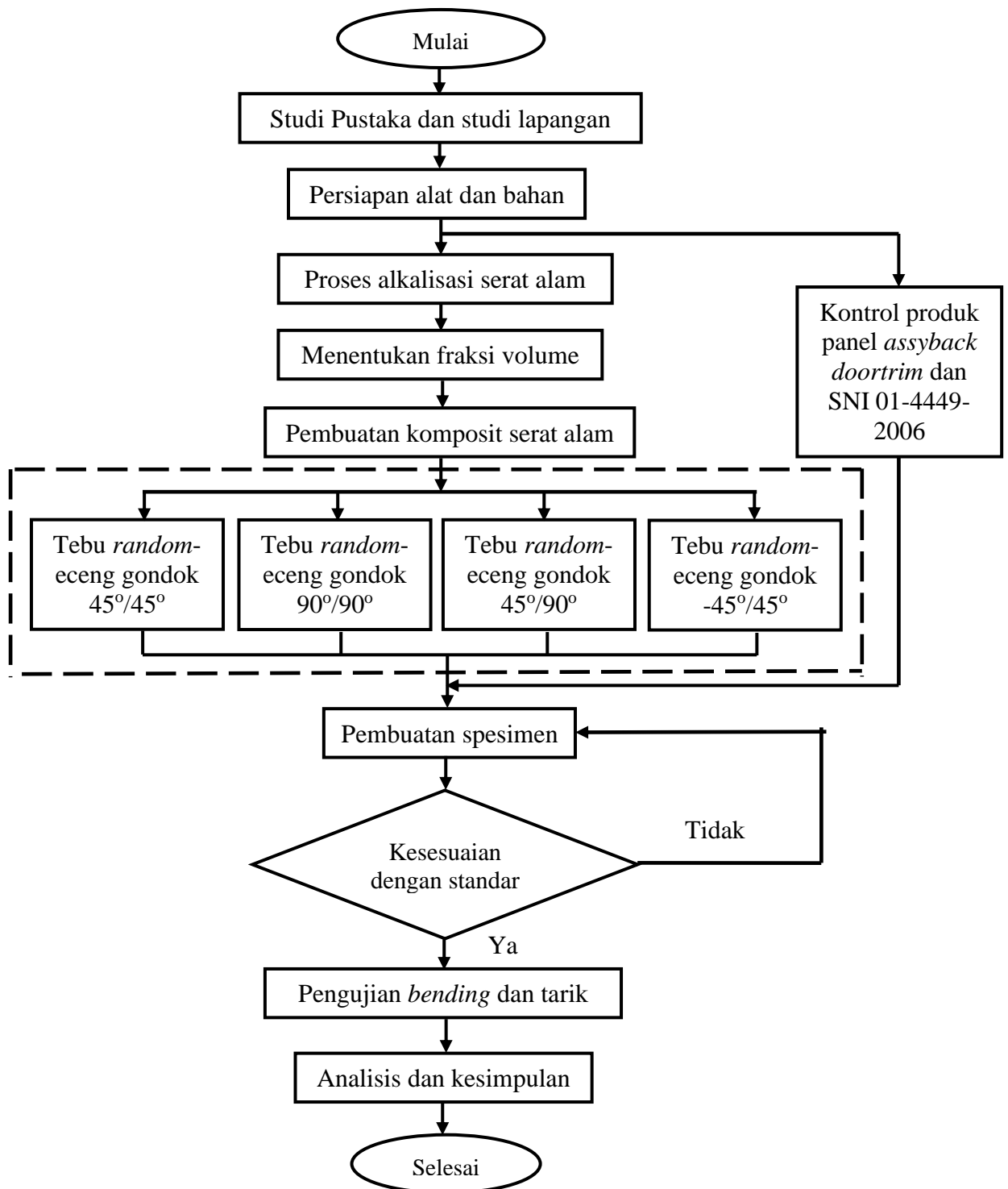
1. **Laboratorium Pelapisan**, terletak di lingkungan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yaitu gedung E5 lantai 1 atau dasar. Tempat ini difungsikan pada tahapan persiapan pembuatan material komposit serat eceng gondok dan serat tebu bermatriks *epoxy*.
2. **Laboratorium Manufaktur**, terdapat di wilayah Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yaitu gedung E5 lantai 2. Tempat tersebut digunakan pada saat tahapan pembuatan spesimen komposit sesuai standarisasi untuk pengujian *bending* dan tarik.
3. **Laboratorium Pengujian Bahan**, terletak di salah satu ruangan pada bangunan gedung Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yaitu E5 lantai 1 atau dasar. Tempat ini digunakan saat tahapan pengujian spesimen komposit yaitu pengujian tarik dan pengujian *bending*.

3.2 Desain Penelitian

3.2.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada proses penyusunan naskah ini yaitu Metode Eksperimental. Pada penelitian ini terdapat 5 variabel bebas yaitu, komposit dengan kombinasi serat tebu random dan orientasi arah sudut serat eceng gondok – $45^0/45^0$, $45^0/90^0$, $45^0/45^0$, $90^0/90^0$, *panel assy backdoortrim*, dan SNI 01-4449-2006. Sedangkan sebagai variabel terikat nya yaitu kekuatan *bending* serta kekuatan tarik material komposit berpenguat serat eceng gondok-tebu dengan matriks *epoxy*, serta serat tebu yang berorientasi *random*. Adapun proses dan alur yang akan dilakukan pada penelitian akan dijabarkan pada diagram alir.

3.2.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sikat kawat baja

Sikat kawat baja digunakan untuk menyisir batang eceng gondok guna untuk mendapatkan serat yang akan diberi perlakuan alkali. Alat ini merupakan barang pribadi peneliti.



Gambar 3.2 Sikat kawat baja

2. Timbangan digital

Timbangan digital pada penelitian ini difungsikan untuk menentukan kebutuhan massa serat dan matriks yang akan digunakan. Timbangan yang digunakan adalah jenis digital berkapasitas 1000 gr dengan ketelitian sebesar 0,1 gr. Alat merupakan barang pribadi milik peneliti.



Gambar 3.3 Timbangan digital

3. Gelas ukur

Gelas ukur pada penelitian ini difungsikan sebagai alat ukur massa matriks dan air isi ulang. Gelas ukur yang digunakan memiliki kapasitas takar sebesar 500 ml dan 1000 ml. Alat ini merupakan barang pribadi peneliti.



Gambar 3.4 Gelas ukur

4. Roller

Roller digunakan sebagai alat bantu untuk merekatkan serat dengan resin serta menyamakan permukaan material komposit, ketika susunan lapisan serat eceng gondok telah diletakkan. Selain digunakan untuk

menyatakan, *roller* berfungsi pula menekan susunan komposit sebagai tujuan untuk meminimalisir adanya rongga (*void*) yang terdapat pada komposit. Alat ini merupakan barang pribadi peneliti.



Gambar 3.5 *Roller*

5. Gunting

Gunting digunakan pada proses pemotongan serat eceng gondok yang telah diberi perlakuan alkali serta disusun sesuai dimensi cetakan dan serat ampas tebu yang telah melalui proses alkalisasi serta pengeringan sebelum dilakukan proses penggilingan disertai *mesh*. Alat ini merupakan barang pribadi peneliti.

6. Cetakan komposit

Cetakan komposit terbuat dari besi *hollow*, engsel serta baut M8 dan digunakan untuk mencetak material komposit dengan dimesi dalam cetakan yaitu 300 mm x 150 mm x 40 mm dan 200 mm x 140 mm x 40 mm. Cetakan ini diadakan peneliti.



Gambar 3.6 Cetakan material komposit

7. Kaca

Kaca digunakan sebagai alas untuk mencetak material komposit serta berfungsi menekan komposit. Kaca yang digunakan sebagai alas memiliki dimensi 350 mm x 200 mm x 8 mm sedangkan kaca dengan dimensi 199 mm x 139 mm x 10 mm dan 299 mm x 149 mm x 10 mm berfungsi untuk menekan komposit. Dimensi tebal pada kaca tersebut dipilih agar kaca tidak pecah ketika proses penekanan dan pelepasan komposit yang telah jadi. Kaca tersebut disediakan mandiri oleh peneliti.



Gambar 3.7 Kaca dimensi 350 mm x 200 mm x 8 mm dan 199 mm x 139 mm x 10 mm

8. Jangka sorong

Jangka sorong sebagai alat bantu ukur yang ditujukan untuk mengetahui dimensi komposit dan spesimen. Jangka sorong yang dipakai merupakan tipe konvensional serta mempunyai ketelitian ukur 0,02 mm. Alat ini tersedia di laboratorium pengujian bahan Jurusan Teknik Mesin Unnes.



Gambar 3.8 Jangka sorong

9. Kunci *shock* Y

Kunci shock Y digunakan untuk membuka baut M8 pada cetakan komposit sehingga komposit yang telah kering mampu mudah lepas dari cetakan. Alat ini disediakan sendiri oleh peneliti.

10. Skrap

Skrap digunakan untuk memudahkan melepas komposit yang menempel pada kaca sekaligus membersihkan cetakan maupun kaca dari sisa resin yang telah mengering. Alat ini diadakan mandiri oleh peneliti.

11. *Endmill*

Endmill digunakan pada saat proses *machining* komposit. *Endmill* yang digunakan pada penelitian ini adalah HSS *Endmill* 12 dengan 4 sisi mata pisau.



Gambar 3.9 *Endmill*

12. Sarung tangan

Penggunaan sarung tangan dibutuhkan saat pembuatan material komposit terutama kegiatan yang memerlukan kontak langsung dengan bahan kimia. Penggunaan sarung tangan ini ditujukan untuk sebagai APD.

13. Gerinda tangan dan mata gerinda

Gerinda tangan serta mata gerinda dipakai pada proses pemotongan serta *finishing* komposit yang telah jadi dan akan disesuaikan dengan standar ASTM untuk pengujian tarik dan *bending* komposit.



Gambar 3.10 Gerinda tangan dan mata gerinda

14. *Universal testing machine* (UTM)

Universal testing machine (UTM) dipakai untuk menguji sebuah bahan teknik dengan tujuan untuk menemukan karakteristiknya. Pengujian material komposit yang diperlukan menggunakan mesin ini adalah pengujian tarik dan pengujian *bending*. Mesin yang berada pada laboratorium pengujian bahan jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang ini memiliki merk Torontech dengan seri TT-HW2-600-S



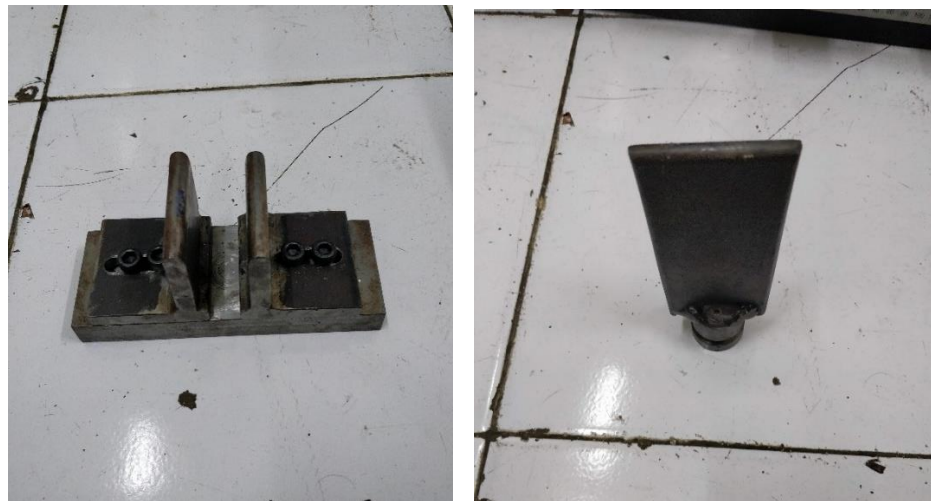
Gambar 3.11 *Universal testing machine* merk TORONTECH

Tabel 3.1 Spesifikasi *Universal Testing Machine*

| <i>Spesification</i> | TT-HW2-600 |
|---|-------------------|
| <i>Capacity (Kn)</i> | 600 |
| <i>Measuring accuracy (%)</i> | ± 0,5 |
| <i>Test force resolution</i> | 1/500.000 |
| <i>Position resolution (mm)</i> | 0,001 |
| <i>Max distance between tension jaws (mm)</i> | 700 |
| <i>Speed setting range (mm/min)</i> | 0,1-150 |
| <i>Ram stroke (mm)</i> | 250 |
| <i>Clearance between column (mm)</i> | 540 |
| <i>Clearance between grips (mm)</i> | 700 |
| <i>Clearance between platens (mm)</i> | 580 |
| <i>Dimensions (mm)</i> | 850 x 600 x 2.115 |
| <i>Dimensions, control console (mm)</i> | 1.150 x 780 x 900 |
| <i>Power (Kw)</i> | 2,25 |
| <i>Weight (kg)</i> | 2.900 |
| <i>Weight, control console (kg)</i> | 360 |

15. *Supporting point* dan *loading pin*

Supporting point serta *loading pin* dipakai sebagai komponen tambahan pada *Universal testing machine* ketika akan melakukan proses pengujian *bending* pada spesimen. Keduanya ditempatkan pada area *compression space*.



(a)

(b)

Gambar 3.12 *Supporting point* dan *Single loading pin*

16. Alat bantu cekam komposit

Difungsikan sebagai alat penjepit spesimen komposit. Alat bantu ini ditempatkan pada *tension space*.



Gambar 3.13 Cekam spesimen komposit

17. Mesin penggiling

Digunakan pada proses penggilingan disertai *meshing* serat ampas tebu. Proses ini nantinya dilakukan pada home industri pengolahan tepung yang terletak di jalan Kyai Sabrang II, Plalangan, Kecamatan Gunung Pati,

Kota Semarang. *Mesh* yang digunakan pada mesin ini adalah *mesh* 10 untuk mendapatkan panjang serat ± 2 mm



Gambar 3.14 Mesin penggiling

3.3.2 Bahan

Bahan yang dipakai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Eceng Gondok

Serat eceng gondok pada penelitian diperuntukan sebagai *reinforced* komposit. Eceng gondok banyak ditemukan di industri rumahan pengolahan eceng gondok daerah dekat rawa atau danau, material ini biasanya digunakan untuk membuat kerajinan tangan bahkan *furniture* dan *interior* rumah mulai dari meja, kursi, kap lampu dll. Eceng gondok banyak dijual dengan kondisi basah, setengah kering dan kering dengan satuan jual per ikat. Eceng gondok kering yang didapat kemudian dilakukan proses

penyisiran serat menggunakan sikat kawat baja dan dilakukan perlakuan alkali untuk mendapatkan serat yang dibutuhkan pada penelitian.



Gambar 3.15 Eceng gondok

2. Serat Ampas Tebu

Serat tebu atau *bagasse* pada penelitian ini dikombinasikan dengan serat eceng gondok untuk mendapatkan komposit yang diinginkan. Serat tebu didapat dari proses penggilingan batang tebu yang lazim dilakukan. Serat tebu yang didapat kemudian diberi perlakuan alkali 5% selama 5 jam setelah itu dibilas dan dikeringkan. Tahap terakhir serat tebu dipotong pendek pendek kemudian dilakukan proses penggilingan yang disertai *meshing*.



Gambar 3.16 Serat tebu

3. Larutan NaOH

Larutan NaOH digunakan untuk menghilangkan kandungan lignin dan *hemicellulose* yang mempengaruhi karakteristik sifat serat. Serta mampu meluruhkan kotoran pada serat eceng gondok dan serat tebu sehingga ikatan antar muka dengan matriks *epoxy* baik.



Gambar 3.17 NaOH

4. Resin Epoxy dan *hardener*

Resin Epoxy (A) merupakan polimer *thermoset* yang mempunyai fasa berbentuk cair, dengan penggunaannya yang dikombinasikan dengan *hardener* yang berfungsi sebagai pengeras *Epoxy*.



Gambar 3.18 *Epoxy dan hardener*

5. Wax

Wax berfungsi untuk melapisi permukaan cetakan maupun kaca yang kontak langsung dengan resin *epoxy* pada saat proses pembuatan komposit. Sehingga apabila material komposit sudah kering, nantinya akan memudahkan dalam proses pengambilan.



Gambar 3.19 *Wax*

6. Plastisin

Plastisin digunakan untuk menutup celah-celah yang berada diantara cetakan dan kaca sebelum proses pembuatan komposit. Sehingga akan

meminimalisir keluar atau bocornya resin *epoxy* yang masih cair dari celah-celah tersebut.



Gambar 3.20 Plastisin

7. *Panel Assy Back Doortrim*

Panel Assy Back Doortrim merupakan salah satu interior pada mobil dan termasuk kedalam bagian dari *doortrim*. *Panel Assy Back Doortrim* yang merupakan komponen mobil *Toyota Rush / Daihatsu Terios* ini digunakan sebagai variabel kontrol.



Gambar 3.21 *Panel assy back doortrim*

3.4 Parameter dan Dimensi Spesimen

3.4.1 Parameter Bebas

Parameter bebas pada penelitian ini adalah orientasi serta kontrol produk, yaitu sebagai berikut:

- (a) *Epoxy* + serat tebu *random* – eceng gondok $45^0/45^0$ – serat tebu *random*
- (b) *Epoxy* + serat tebu *random* – eceng gondok $90^0/90^0$ – serat tebu *random*
- (c) *Epoxy* + serat tebu *random* – eceng gondok $45^0/90^0$ – serat tebu *random*
- (d) *Epoxy* + serat tebu *random* – eceng gondok $-45^0/45^0$ – serat tebu *random*
- (e) Kontrol produk *panel assy back doortrim*

3.4.2 Parameter Terikat

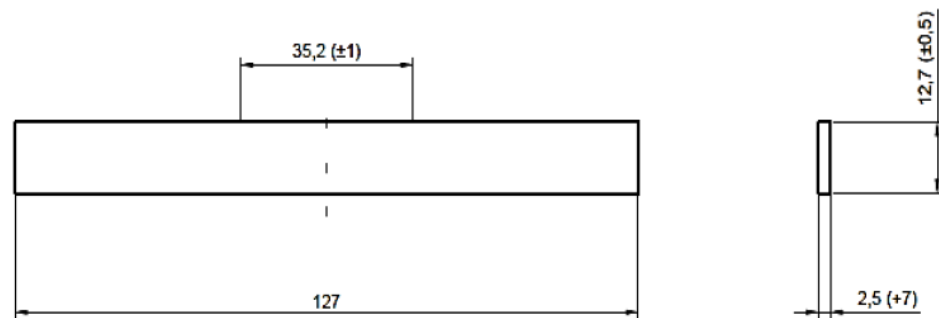
Parameter terikat pada penelitian ini adalah sifat mekanik material komposit (kekuatan *bending* dan kekuatan tarik), berdasarkan berbagai macam spesimen varian serta kontrol produk yang telah dibuat.

3.4.3 Parameter Kontrol

Parameter kontrol dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlakuan serat eceng gondok dan serat tebu kedalam larutan NaOH 5% selama 5 jam kemudian dibilas dengan air isi ulang. Pengeringan selama kurang lebih 12 jam dengan suhu ruangan untuk serat eceng gondok yang telah diberi perlakuan alkali dan telah disusun sesuai variasi sudut. Sedangkan untuk serat tebu yang telah diberi perlakuan alkali, pengeringan dilakukan selama kurang lebih 24 jam dibawah sinar matahari.

2. Pengujian kekuatan *bending* material komposit memakai standar ASTM D790 – 03 (*Molding Materials*) menggunakan mesin *universal testing* merk TORONTECH dengan metode *three point bending*.

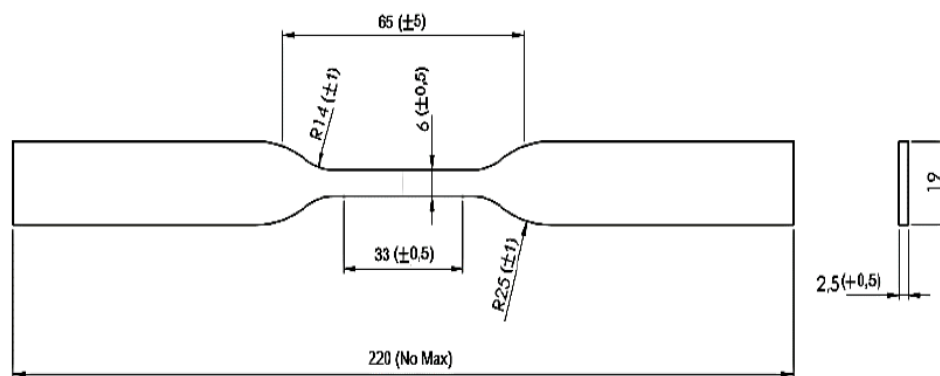


Gambar 3.22 Dimensi spesimen pengujian *bending*



Gambar 3.23 Spesimen pengujian *bending*

3. Pengujian tarik pada komposit menggunakan standar ASTM D638 – 14 (Type IV^B) menggunakan alat *universal testing machine* merk TORONTECH.



Gambar 3.24 Dimensi pengujian tarik



Gambar 3.25 Spesimen pengujian tarik

4. Data dari hasil pengujian *bending* dan tarik diinput serta disesuaikan dengan tabel berikut

Tabel 3.2 Data hasil pengujian kekuatan *bending* material komposit

| Varian | No. Spesimen | Dimensi (mm) | | | P (N) | δ (mm) | E (MPa) | σ (MPa) | ϵ |
|---------------------|--------------|--------------|---|---|-------|---------------|---------|----------------|------------|
| | | L | b | h | | | | | |
| <i>Doortrim</i> | | | | | | | | | |
| Komposit 45° / 45° | | | | | | | | | |
| Komposit 90° / 90° | | | | | | | | | |
| Komposit -45° / 45° | | | | | | | | | |
| Komposit 45° / 90° | | | | | | | | | |

Rata-rata

Tabel 3.3 Data hasil pengujian kekuatan tarik material komposit

| Varian | No. Spesimen | Dimensi | | | P (N) | σ_y (MPa) | σ_u (MPa) | ϵ | E (GPa) |
|---------------------|--------------|---------|----------------------|-----------------|-------|------------------|------------------|------------|---------|
| | | Lo (mm) | A (mm ²) | ΔL (mm) | | | | | |
| <i>Doortrim</i> | | | | | | | | | |
| Komposit 45° / 45° | | | | | | | | | |
| Komposit 90° / 90° | | | | | | | | | |
| Komposit -45° / 45° | | | | | | | | | |
| Komposit 45° / 90° | | | | | | | | | |

Rata-rata

3.5 Alur dan Tahapan Penelitian

Merujuk pada diagram alir, alur pembuatan komposit dalam penelitian ini bisa dibagi menjadi beberapa tahap. Tahapan tadi akan diuraikan secara merinci pada point-point berikut:

1. Studi pustaka

Studi pustaka dimulai dengan mengumpulkan serta mempelajari beberapa penelitian terkait baik dari jurnal nasional maupun internasional. Referensi yang digunakan adalah penelitian mengenai pengaruh orientasi dan variasi sudut serat sebagai penguat terhadap kekuatan *bending* dan kekuatan tarik material komposit khususnya pada serat alam.

2. Studi lapangan

Kegiatan yang dilaksanakan berupa observasi serta survey tentang ketersediaan alat serta bahan penelitian. Berikut merupakan instrumen hasil survey ketersediaan alat dan bahan baku penelitian:

Tabel 3.4 Ketersediaan alat dan bahan baku penelitian

| No | Nama Barang | Lokasi / Didapat | Kondisi |
|----|--|--|---------------------|
| 1. | Eceng Gondok | Banyubiru, Ambarawa | Perlu Pengolahan |
| 2. | Serat ampas tebu | Usaha pengolahan Tebu, Semarang Timur | Perlu Pengolahan |
| 3. | NaOH | Toko Kimia Indrasari, Semarang Tengah | Perlu Pengolahan |
| 4. | Resin <i>Epoxy</i> dan <i>Hardener</i> | Toko Justus Kimiaraya, Semarang Tengah | Perlu Pengolahan |
| 5. | <i>Wax</i> | Toko Justus Kimiaraya, Semarang Tengah | Perlu Pengolahan |
| 6. | <i>Panel Assy Backdoortrim</i> | Teguh Karya, Gayamsari | Perlu Pengolahan |

| | | | |
|-----|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| 7. | Universal Testing Machine | Lab. Pengujian Bahan, UNNES | Mampu digunakan |
| 8. | Gerinda dan mata gerinda | Lab. Pengelasan, UNNES | Mampu digunakan |
| 9. | Sarung tangan | Toko Istana Besi, Semarang Tengah | Baru, mampu digunakan |
| 10. | Timbangan Digital | Tokopedia | Baru, mampu digunakan |
| 11. | Roller | Toko Justus Kimiaraya | Baru, mampu digunakan |
| 12. | Sikat kawat baja | Sumber Teknik, Semarang Tengah | Baru, mampu digunakan |
| 13. | Gelas Ukur | Toko Lily, Semarang Timur | Baru, mampu digunakan |
| 14. | Gunting | Barang pribadi | Mampu digunakan |
| 15. | Cetakan Komposit | Barang pribadi | Mampu digunakan |
| 16. | Kaca | Toko kaca Matahari, Semarang Tengah | Baru, Mampu digunakan |
| 17. | Jangka Sorong | Barang pribadi | Mampu digunakan |
| 18. | <i>Endmill</i> | Tool Room Lab. Manufaktur, UNNES | Mampu digunakan |
| 19. | Supporting Point dan Loading Spin | Lab. Pengujian Bahan, UNNES | Mampu digunakan |
| 20. | Mesin penggiling <i>mesh</i> | Griya ketelaqu, Gunung pati | Mampu digunakan |

3. Persiapan alat dan bahan

Persiapan yang dilakukan sebelum melakukan proses penelitian adalah mempersiapkan segala macam kebutuhan baik alat maupun bahan. Alat dan bahan yang belum tersedia di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang, diadakan secara mandiri oleh penulis dengan cara membeli sesuai kebutuhan penelitian pada tempat-tempat yang sebelumnya telah dilakukan observasi serta survey.

Rangka cetak sendiri yang berfungsi sebagai alat pembuat komposit dimulai dengan pembuatan *sketch* untuk pengujian *bending* dan pengujian tarik. Dimensi pada *sketch* disesuaikan dengan kebutuhan spesimen tiap variasi dengan mengacu standar ASTM pengujian tarik dan *bending*, serta panjang minimal spesimen yang mampu di uji di mesin *Universal Testing Machine*. *Sketch* yang telah sesuai kemudian digambar ulang dalam 2D dan 3D menggunakan *software solidworks 2015*. Bahan dari cetakan komposit pengujian *bending* dan tarik terbuat dari besi *hollow*, engsel serta baut M8 dengan dimensi dalam cetakan yaitu 300 mm x 150 mm x 40 mm dan 200 mm x 140 mm x 40 mm.

4. Proses alkalisasi

Proses awal yang dilakukan untuk mendapatkan penguat komposit (*reinforced*) adalah melakukan proses alkalisasi. Proses alkalisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah merendaman serat eceng gondok yang telah didapat dari proses penyisiran batang eceng gondok kering pada konsentrasi larutan NaOH sebesar 5% selama 5 jam, diakhiri dengan melakukan pembilasan serat tersebut yang nantinya akan disusun sesuai dengan variasi sudut. Proses alkalisasi serupa dilakukan pula pada serat ampas tebu yang telah didapat.

5. Penyusunan serat eceng gondok dan penggilingan serat tebu

Serat eceng gondok yang telah diberi perlakuan alkali kemudian disusun satu persatu sesuai dengan variasi sudut yang telah ditentukan. Serat eceng gondok yang telah tersusun rapih sesuai sudutnya kemudian dikeringkan dengan suhu ruangan selama 12 jam. Eceng gondok yang telah tersusun dan kering tersebut kemudian dilepas dan dipotong sesuai dengan dimensi cetakan.



Gambar 3.26 Penyusunan serat eceng gondok

Serat ampas tebu yang telah melalui perlakuan alkali kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari selama kurang lebih 24 jam. Setelah kering, serat ampas tebu kemudian dipotong pendek-pendek dilanjutkan proses penggilingan disertai *meshing*. Setelah melalui proses penggilingan disertai *meshing*, serat ampas tebu tersebut kemudian di ayak secara manual menggunakan *mesh* yang lebih kecil yaitu *mesh* 20 sehingga benar-benar mendapatkan serat ampas tebu yang sesuai yaitu *mesh* 10 atau setara dengan (± 2 mm).



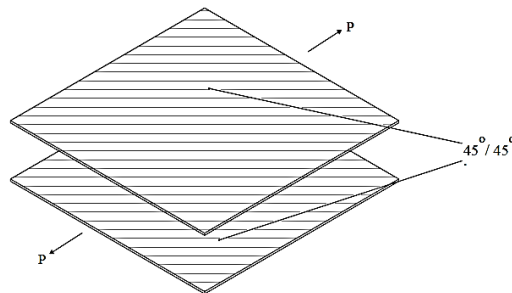
Gambar 3.27 Serat ampas tebu *Mesh* 10

6. Menentukan fraksi volume

Fraksi volume yang dipakai pada proses pembuatan material komposit adalah fraksi volume matriks sebesar 70% dan serat sebesar 30%. Dengan

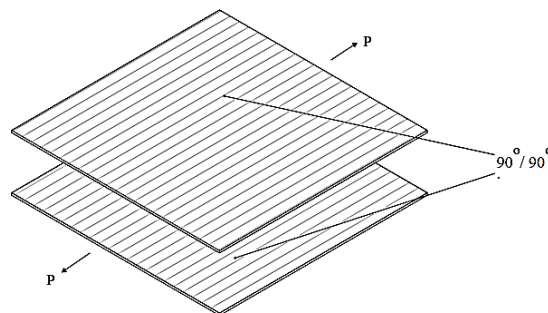
pembagian volume serat menggunakan rasio perbandingan 2:1, yaitu 20% serat ampas tebu dan 10% serat eceng gondok. Berdasarkan besaran tersebut maka dapat diketahui jumlah volume serat penguat yang dibutuhkan. Fraksi volume serat penguat juga dipengaruhi oleh jenis varian sudut serat -45^0 , 45^0 , 90^0 pada komposit yang akan dibuat. Berikut merupakan detail varian serat pada layer komposit tersebut:

(a) 10% serat tebu – 10% eceng gondok $45^0 / 45^0$ – 10% serat tebu



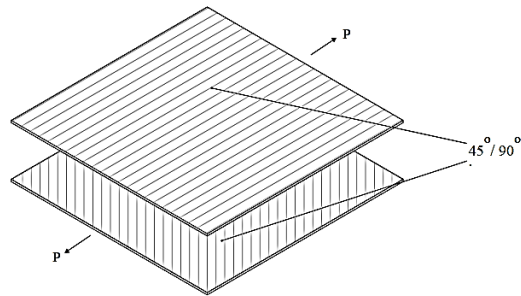
Gambar 3.28 Varian eceng gondok $45^0 / 45^0$

(b) 10% serat tebu – 10% eceng gondok $90^0 / 90^0$ – 10% serat tebu



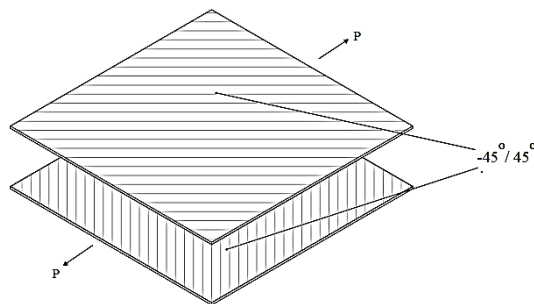
Gambar 3.29 Varian eceng gondok $90^0 / 90^0$

(c) 10% serat tebu – 10% eceng gondok $45^0 / 90^0$ – 10% serat tebu



Gambar 3.30 Varian eceng gondok $45^0 / 90^0$

(d) 10% serat tebu – 10% eceng gondok $-45^0 / 45^0$ – 10% serat tebu



Gambar 3.31 Varian eceng gondok $-45^0 / 45^0$

Sesuai pada Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2 sehingga didapat total massa serat dan matriks yang dibutuhkan untuk pembuatan komposit dapat mengacu pada persamaan massa jenis. Dikarenakan cetakan spesimen uji *bending* dan uji tarik memiliki dimensi yang berbeda sehingga perhitungan dilakukan dua kali. Berikut merupakan uraian kalkulasi untuk menentukan kebutuhan serat dan matriks berdasarkan fraksi berat material dan dimensi cetakan:

Diketahui:

$$\rho_e = \text{Massa jenis eceng gondok } (0,25 \times 10^{-3} \text{ gr/mm}^3)$$

$$\rho_b = \text{Massa jenis } \textit{baggase} \text{ (0,36} \times 10^{-3} \text{ gr/mm}^3)$$

$$\rho_m = \text{Massa jenis matriks } \textit{epoxy} \text{ (1,14} \times 10^{-3} \text{ gr/mm}^3)$$

$$v_c \text{ (Dimensi cetakan uji } \textit{bending}) = 200 \text{ mm} \times 140 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$$

v_c (Dimensi cetakan uji tarik) = 300 mm x 150 mm x 5 mm

a.) Kebutuhan berat serat dan matriks pengujian *bending*

v_c uji *bending* : 140.000 mm³

70% x v_c : 98.000 mm³

20% x v_c : 28.000 mm³

10% x v_c : 14.000 mm³

-Menentukan fraksi berat matriks *epoxy* 70%

$$\begin{aligned} M_m &= \rho_m \times v_c \\ &= 1,14 \times 10^{-3} \text{ gr/mm}^3 \times 98.000 \text{ mm}^3 \\ &= 111,7 \text{ gr} \end{aligned}$$

-Menentukan fraksi berat serat eceng gondok 10%

$$\begin{aligned} M_e &= \rho_e \times v_c \\ &= 0,25 \times 10^{-3} \text{ gr/mm}^3 \times 14.000 \text{ mm}^3 \\ &= 3,5 \text{ gr} \end{aligned}$$

-Menentukan fraksi berat *baggage* 20%

$$\begin{aligned} M_b &= \rho_b \times v_c \\ &= 0,36 \times 10^{-3} \text{ gr/mm}^3 \times 28.000 \text{ mm}^3 \\ &= 10 \text{ gr} \end{aligned}$$

b.) Kebutuhan berat serat dan matriks pengujian tarik

v_c uji tarik : 225.000 mm³

70% x v_c : 157.500 mm³

20% x v_c : 45.000 mm³

10% x v_c : 22.500 mm³

-Menentukan fraksi berat matriks 70%

$$\begin{aligned} M_m &= \rho_m \times v_c \\ &= 1,14 \times 10^{-3} \times \text{gr/mm}^3 \times 157.500 \text{ mm}^3 \\ &= 179,55 \text{ gr} \end{aligned}$$

-Menentukan fraksi berat eceng gondok 10%

$$\begin{aligned} M_e &= \rho_e \times v_c \\ &= 0,25 \times 10^{-3} \text{ gr/mm}^3 \times 22.500 \text{ mm}^3 \\ &= 5,6 \text{ gr} \end{aligned}$$

-Menentukan fraksi berat *baggase* 20%

$$\begin{aligned} M_b &= \rho_b \times v_c \\ &= 0,36 \times 10^{-3} \text{ gr/mm}^3 \times 45.000 \text{ mm}^3 \\ &= 16,2 \text{ gr} \end{aligned}$$

7. Pembuatan komposit

Berdasarkan perhitungan fraksi volume sehingga didapatkan kebutuhan material penyusun komposit pada tabel berikut:

Tabel 3.5 Kebutuhan serat dan matriks untuk uji *bending*

| Variasi Sudut | Massa (gram) | | |
|-----------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| | <i>Epoxy</i> | Eceng gondok | <i>Baggase</i> |
| 45 ⁰ /45 ⁰ | 111,7 | 3,5 | 10 |
| 90 ⁰ /90 ⁰ | 111,7 | 3,5 | 10 |
| 45 ⁰ /90 ⁰ | 111,7 | 3,5 | 10 |
| -45 ⁰ /45 ⁰ | 111,7 | 3,5 | 10 |
| TOTAL | 446,8 | 14 | 40 |

Tabel 3.6 Kebutuhan serat dan matriks untuk uji tarik

| Variasi Sudut | Massa (gram) | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------------|----------------|
| | <i>Epoxy</i> | Eceng gondok | <i>Baggase</i> |
| 45 ⁰ /45 ⁰ | 179,55 | 5,6 | 16,2 |
| 90 ⁰ /90 ⁰ | 179,55 | 5,6 | 16,2 |
| 45 ⁰ /90 ⁰ | 179,55 | 5,6 | 16,2 |
| -45 ⁰ /45 ⁰ | 179,55 | 5,6 | 16,2 |
| TOTAL | 718,20 | 22,4 | 64,8 |

Langkah awal dalam pembuatan komposit adalah preparasi, alat dan bahan yang meliputi rangka cetak, kaca, timbangan digital, gelas ukur, *roller*, skrap resin *epoxy* A-B, *wax*, plastisin, serta serat eceng gondok dan ampas tebu yang telah diberi perlakuan. Langkah selanjutnya permukaan kaca yang berfungsi sebagai alas dan bagian dalam rangka cetak dilapisi dengan *wax* secara merata. Rangka cetak serta permukaan kaca yang telah diberi *wax* kemudian dijadikan satu, sudut dan celah-celah diantara keduanya kemudian diberi plastisin dengan tujuan agar saat penuangan resin tersebut tidak keluar melalui celah-celah tersebut.



Gambar 3.32 Preparasi cetakan komposit

Setelah melakukan preparasi alat dan bahan, langkah selanjutnya adalah pembuatan komposit yang dimulai dengan menakar resin *epoxy* A-B, serat tebu serta serat eceng gondok menggunakan timbangan digital sesuai tabel kebutuhan serat dan matriks di tiap variasinya. Untuk resin *epoxy* A-B dan serat tebu berat kebutuhan keseluruhan dibagi menjadi dua yang bertujuan sebagai lapisan atas dan lapisan bawah.



Gambar 3.33 Penakaran serat eceng gondok

Penuangan resin *epoxy* A-B pertama dilakukan secara konstan dibantu dengan menggunakan skrap sehingga mengisi seluruh ruang cetak. Separuh pertama dari berat keseluruhan serat tebu ditebar merata sebagai lapisan bawah.

Serat eceng gondok yang telah tersusun sesuai dengan dimensi cetak, variasi dan berat pada tabel kebutuhan kemudian diletakkan pada ruang cetak. Serat eceng gondok tersebut kemudian ditekan dan diratakan menggunakan *roller* sehingga mampu merekat. Separuh yang kedua dari keseluruhan berat serat tebu ditebar secara merata pula hingga mengisi seluruh rangka cetak. Resin *epoxy* A-B kedua dituang secara konstan hingga rata mengisi seluruh ruang cetak.



Gambar 3.34 Proses pembuatan komposit

Langkah terakhir, permukaan kaca yang berfungsi sebagai alat untuk menekan, meratakan serta membantu merekatkan antar muka lapisan komposit diberi pula dengan *wax*. Kaca tersebut kemudian diletakkan pada ruang cetak dengan posisi permukaan yang telah diberi *wax* berada dibagian bawah. Komposit akan mengering dengan rentang waktu 2 x 24 jam pada suhu ruangan.

8. Pembuatan spesimen

Langkah awal dalam pembuatan spesimen uji adalah menentukan standar spesimen uji. Dalam penelitian ini standar spesimen uji memakai standar ASTM. Pada pengujian *bending* menggunakan standar ASTM D790 – 03 (*Molding Materials*) dan pengujian tarik menggunakan standar ASTM D638 – 14 (Type

IV^B). Dari kedua standar pengujian yang telah didapat tersebut kemudian dilakukan pemilihan dimensi spesimen yang telah disesuaikan dengan dimensi cetak, tebal variabel kontrol, dan standar spesimen yang mampu di uji menggunakan mesin *Universal Testing Machine* pada laboratorium pengujian bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Setelah dimensi spesimen pengujian bending dan tarik sesuai. Langkah selanjutnya adalah menggambar 2D dan 3D menggunakan *software solidworks 2015*. Gambar 2D dan 3D standar spesimen pengujian bending dan tarik dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 3.7 Kebutuhan spesimen pengujian

| Varian | Pengujian | |
|--|----------------|-------|
| | <i>Bending</i> | Tarik |
| <i>Epoxy + serat tebu random – eceng gondok 45⁰/45⁰ – serat tebu random</i> | 5 | 5 |
| <i>Epoxy + serat tebu random – eceng gondok 90⁰/90⁰ – serat tebu random</i> | 5 | 5 |
| <i>Epoxy + serat tebu random – eceng gondok 45⁰/90⁰ – serat tebu random</i> | 5 | 5 |
| <i>Epoxy + serat tebu random – eceng gondok -45⁰/45⁰ – serat tebu random</i> | 5 | 5 |
| <i>Door Trim (Panel Assy Back Doortrim)</i> | 5 | 5 |
| Jumlah | 25 | 25 |

Hasil *print out* 2D dari gambar tersebut kemudian di tempel pada karton dan di potong sesuai dengan bentuknya untuk dijadikan sebagai mal. Papan komposit

yang telah kering serta dilepas kemudian dilakukan proses *machining* pada permukaannya menggunakan mesin *milling* untuk mendapatkan tebal papan komposit yang sesuai. Papan komposit yang telah dilakukan proses *machining* serta *panel assy back doortrim* kemudian digambar dengan mengacu pada bentuk mal dan kebutuhan spesimen.



Gambar 3.35 (a) Spesimen uji tarik (b) spesimen uji *bending*

Langkah akhir dalam pembuatan spesimen adalah memotong pola-pola yang telah terbentuk dan diberi tanda pada papan komposit dan *panel assy back doortrim* menggunakan gerinda tangan, serta melakukan pengamplasan agar dimensi dan bentuk spesimen yang diperoleh sesuai dengan standar.

9. Pengujian *Bending* dan Tarik

Sebelum memulai pengujian *bending* dan tarik, dimensi awal spesimen uji baik *bending* maupun tarik diukur kemudian dicatat untuk memudahkan proses pengujian khususnya input data dimensi yang dibutuhkan kedalam *software toronsoft 1.2*. Untuk pengujian *bending*, spesimen diberi tanda khusus pada dimensi *support span* serta jarak antar *supporting point* diatur sesuai dengan dimensi standar ASTM D790 – 03 yaitu 35,2 mm (toleransi 1 mm).

Proses pengujian bending diawali dengan *setting supporting point* dan *single loading pin* pada *compression space*. Setelah *PC* terkoneksi dengan Mesin *universal testing machine*, data dimensi awal spesimen yang dibutuhkan yaitu lebar (b) tebal (h) dan jarak *support span* (L) diinputkan pada program pengujian *bending software toronsoft 1.2*. Spesimen kemudian diletakkan pada *supporting point* sesuai dengan tanda yang telah ditentukan. Selanjutnya *single loading pin* diturunkan secara perlahan hingga menyentuh permukaan spesimen. Setelah semua tahap dilakukan dan spesimen *bending* siap diuji, teknisi kemudian melakukan proses pengujian menggunakan sistim yang saling terhubung antara mesin *universal testing machine* dan *software toronsoft 1.2* pada *PC*. Kode *ID* pada setiap pengujian dicatat dan disimpan untuk memudahkan dalam proses pencarian file pengujian. Setelah seluruh spesimen dilakukan pengujian, *file* data dari tiap spesimen kemudian dicari melalui *ID* yang telah dicatat kemudian di cetak.



Gambar 3.36 Proses pengujian *bending*

Sedangkan pada pengujian tarik, langkah awal yang dilakukan adalah *setting* sepasang alat bantu pencekam spesimen pada *tension space*. Data dimensi spesimen kemudian di input kedalam program pengujian tarik *software toronsoft 1.2*. Spesimen uji tarik yang telah dicekam kemudian dilakukan pengujian menggunakan sistim yang telah saling terhubung antara mesin *universal testing machine* dan *software toronsoft 1.2* pada *PC*. Setiap melakukan pengujian, kode *ID* dicatat serta disimpan untuk memudahkan dalam proses pencarian *file* pengujian. Setelah seluruh spesimen diuji, *file* data pengujian dari tiap spesimen kemudian dicari melalui *ID* yang telah dicatat kemudian di cetak.



Gambar 3.37 Proses pengujian tarik

10. Analisis Data dan Kesimpulan

Pengujian *bending* dan tarik material menghasilkan data yang tertera pada *print out*. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis sifat mekanik material dengan cara melakukan perbandingan data dari hasil *print out* dengan jurnal yang relevan. Data hasil pengujian bending pada *print out* digunakan pula untuk proses analisis berupa mencari nilai *flexural strength maximum*, *flexural strain*,

modulus elasticity berdasarkan formula atau persamaan sesuai dengan landasan teori. Sedangkan data *print out* pengujian tarik digunakan untuk mencari nilai *tensile strength*, *tensile strain*, *modulus elasticity* menggunakan formula atau persamaan sebenarnya.. Pada tahap penelitian ini kesimpulan yang akan didapatkan adalah berupa karakteristik material komposit

3.6 Teknik Pengumpulan Data

3.6.1 Dokumentasi

Data yang dikumpulkan menggunakan metode dokumentasi meliputi kutipan, gambar, foto, artikel, jurnal, serta *e-book* yang berkaitan dengan proses penelitian. Aktivitas yang dilakukan adalah mencatat serta mengabadikan *file* maupun data-data penting dalam setiap tahapan penelitian untuk digunakan pada proses analisis.

3.6.2 Uji Laboratorium

Uji laboratorium ditujukan untuk mengetahui sifat mekanik material komposit, khususnya dari pengujian *bending* dan tarik. Pengujian dilakukan di laboratorium pengujian bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang dengan hasil yang berupa *print out*.

3.6.3 Tabel Hasil Pengujian

Adanya tabel hasil pengujian bertujuan mempermudah proses pengolahan data yang telah diperoleh baik melalui *print out* maupun pengukuran manual. Tabel hasil pengujian merujuk pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3

3.7 Kalibrasi Instrumen

Kalibrasi adalah rangkaian kegiatan pengecekan dan pengaturan akurasi dari alat ukur, dengan cara membandingkannya dengan standar/tolak ukur baik nasional maupun internasional. Kalibrasi diperlukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan akurat dan konsisten dengan instrumen lainnya (Supriyanto, dkk 2018: 20). Tujuan daripada kalibrasi adalah untuk memastikan nilai hasil pengukuran tepat serta berkaitan dengan kinerja suatu alat ukur atau bahan acuan. Pencapaian tersebut dibandingkan langsung dengan suatu standar ukur maupun bahan acuan bersertifikat. Bukti dari hasil kalibrasi adalah sertifikat kalibrasi. Selain itu, terkadang juga terdapat label maupun stiker yang disematkan pada alat yang telah terkalibrasi (Kemendag, 2013: 9). Berikut ini merupakan alat ukur yang dilakukan proses kalibrasi yaitu:

3.7.1 Timbangan Digital

Kalibrasi pada timbangan digital dimulai dengan menekan tombol “ON” untuk menghidupkan alat ukur tersebut. Langkah berikutnya adalah dengan meletakkan sebuah benda pada permukaan timbang hingga muncul nilai ukur yang stabil. Langkah terakhir tekan tombol “TARE” untuk pengkalibrasian timbangan digital.

3.7.2 Jangka Sorong

Proses kalibrasi jangka sorong dapat dilaksanakan dengan beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

- a. Memutar baut pengunci rahang berlawanan arah jarum jam untuk mengatur serta menggeser skala vernier.

- b. Dorong skala vernier hingga masing-masing rahang saling bersentuhan satu dengan yang lainnya.
- c. Langkah terakhir apabila rahang yang saling bersentuhan tersebut menunjukkan angka nol yang tegak lurus dan bersesuaian antara skala nonius dengan skala utama, maka jangka sorong dinyatakan valid dan sudah terkalibrasi.

3.8 Teknik Analisis Data

Output dari pengujian *bending* dan tarik berupa *print out* data. Selanjutnya data tersebut akan dituangkan dalam bentuk tabel untuk mempermudah proses pembacaan. Lebih lanjutnya, item yang dibutuhkan akan dirata-rata kemudian disajikan dalam bentuk diagram batang yang sehingga mampu mempermudah proses analisis. Asumsi yang berasal dari diagram batang kemudian diperkuat oleh visualisasi spesimen hasil pengujian dan penelitian yang relevan, sehingga didapatkan kesimpulan pengaruh orientasi serat tiap varian pada kekuatan *bending* maupun tarik..

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data Hasil Pengujian

Berdasarkan pada tahapan-tahapan proses penelitian, pengujian material dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik serta kelayakan sebuah material. Terdapat dua pengujian yang dilaksanakan, yaitu pengujian *bending* serta pengujian tarik. Tujuan pengujian tersebut untuk mendapatkan nilai kekuatan *bending* atau tegangan *bending* serta kekuatan tarik atau tegangan tarik, pada material komposit berpenguat serat eceng gondok dan serat tebu bermatriks *epoxy*. Komposisi material komposit dibuat berdasarkan fraksi volume 30% serat alam (10% serat eceng gondok + 20% serat ampas tebu) dan 70% resin (*epoxy*). Selain itu diteliti pula varian sudut pada serat eceng gondok, secara singkat berikut merupakan varian tersebut: varian $45^0/45^0$, varian $90^0/90^0$, varian $-45^0/45^0$, varian $45^0/90^0$. Disamping itu diuji pula varian *panel assy back doortrim* dengan spesifikasi material yang terbuat dari *polyethylene* (PE) dan *polyetherketone* (PEK), yang digunakan sebagai kontrol. Data hasil pengujian *bending* dan tarik akan dijabarkan seagai berikut:

4.1.1 Data Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* yang telah dilaksanakan pada tiap varian mendapatkan data yang berupa: Beban yang mampu diterima (P), *dispalcement* atau defleksi (δ), kekuatan *bending* atau *maximum flexural stress* (σ), dan modulus elastisitas *bending* (E). Dengan merujuk pada hasil *print out* dan tabel hasil pengujian

bending pada Lampiran 7 dan Lampiran 9. Data yang telah diolah kemudian dituangkan dalam bentuk tabel-tabel sebagai berikut:

Data hasil dari pengujian *bending* adalah defleksi (δ) yang terjadi pada tiap spesimen yang diuji. Data defleksi tersebut disajikan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Defleksi pada spesimen uji *bending*

| Varian | Defleksi (mm) | | | Rata-rata |
|---|---------------|-------|-------|-----------|
| | Spes. | Spes. | Spes. | |
| | 1 | 2 | 3 | |
| <i>Doortrim</i> | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 4,9 |
| Komposit 45 ⁰ / 45 ⁰ | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| Komposit 90 ⁰ / 90 ⁰ | 4,7 | 4,5 | 4,5 | 4,6 |
| Komposit -45 ⁰ / 45 ⁰ | 5,1 | 4,5 | 4,5 | 4,7 |
| Komposit 45 ⁰ / 90 ⁰ | 4,5 | 4,9 | 4,5 | 4,6 |

Data penting lain yang didapat dari pengujian *bending* yaitu kekuatan *bending* atau *maximum flexural stress* (σ) melalui persamaan 2.10. Sampel data *doortrim* spesimen 1 digunakan sebagai korelasi antara penggunaan persamaan dengan hasil *print out* pada kekuatan *bending* (σ), berikut merupakan perhitungan tersebut:

Perhitungan kekuatan *bending doortrim* spesimen 1:

Diketahui:

$$P = 52 \text{ N} \quad b = 12,7 \text{ mm}$$

$$L = 35,2 \text{ mm} \quad h = 2,1 \text{ mm}$$

Maka nilai kekuatan *bending* dapat dicari sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma = \frac{3 \times 52 \text{ N} \times 35,2 \text{ mm}}{2 \times 12,7 \text{ mm} \times (2,1 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma = \frac{5491,2 \text{ N}}{112 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 49 \text{ Mpa}$$

Untuk data kekuatan *bending* atau *maximum flexural stress* (σ) sesuai dengan *print out* dapat dilihat pada 4.2

Tabel 4.2 Kekuatan *bending* spesimen uji *bending*

| Varian | Kekuatan bending (MPa) | | | Rata-rata |
|---|------------------------|-------|-------|-----------|
| | Spes. | Spes. | Spes. | |
| | 1 | 2 | 3 | |
| <i>Doortrim</i> | 50 | 50 | 55 | 51,7 |
| Komposit 45 ⁰ / 45 ⁰ | 15 | 20 | 15 | 16,6 |
| Komposit 90 ⁰ / 90 ⁰ | 30 | 30 | 35 | 31,7 |
| Komposit -45 ⁰ / 45 ⁰ | 45 | 45 | 40 | 43,3 |
| Komposit 45 ⁰ / 90 ⁰ | 55 | 50 | 50 | 51,7 |

Berdasarkan komparasi perhitungan manual dengan data pada Tabel 4.2 untuk *doortrim* spesimen 1 maka terdapat selisih 0,1 diantara keduanya. Merujuk pula data pada Tabel 4.2, kekuatan *bending* atau *maximum flexural stress* (σ) tertinggi ada pada varian *doortrim* dan komposit sudut serat eceng gondok 45⁰ / 90⁰ yaitu 51,7 MPa. Selanjutnya diikuti komposit varian sudut serat eceng gondok -45⁰ / 45⁰ dan 90⁰ / 90⁰ dengan nilai 43,3 MPa dan 31,7 MPa. Sedangkan nilai kekuatan *bending* terendah ada pada varian komposit 45⁰ / 45⁰ yaitu 16,6 MPa.



Gambar 4.1 Hasil pengujian *bending* varian 45⁰ / 45⁰

Nilai modulus elastisitas *bending* mampu didapat menggunakan persamaan 2.12. Sampel data varian 45⁰ / 90⁰ spesimen 3 digunakan untuk mengetahui kesamaan hasil perhitungan manual dengan data *printout*. Berikut merupakan perhitungan tersebut:

Perhitungan modulus elastisitas *bending* varian $45^0 / 90^0$ spesimen 3:

$$\begin{aligned} L &= 35,2 \text{ mm} & h &= 2,3 \text{ mm} \\ b &= 12,3 \text{ mm} & m &= 0,005 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Maka modulus elastisitas *bending* dapat dicari sebagai berikut

$$\begin{aligned} E &= \frac{L^3 m}{4 b h^3} \\ E &= \frac{(35,2 \text{ mm})^3 \times 0,005 \text{ N/mm}}{4 \times 12,3 \text{ mm} \times (2,3 \text{ mm})^3} \\ E &= \frac{218 \text{ N/mm}}{598 \text{ mm}} \\ E &= 0,36 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Sedangkan data modulus elastisitas *bending* (E) sesuai dengan hasil *print out* dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Modulus elastisitas pada spesimen uji *bending*

| Varian | Modulus Elastisitas (MPa) | | | Rata-rata |
|-------------------------|---------------------------|---------|---------|-----------|
| | Spes. 1 | Spes. 2 | Spes. 3 | |
| <i>Doortrim</i> | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Komposit $45^0 / 45^0$ | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Komposit $90^0 / 90^0$ | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Komposit $-45^0 / 45^0$ | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Komposit $45^0 / 90^0$ | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |

Terdapat selisih 0,4 antara perhitungan manual modulus elastisitas *bending* dengan data pada Tabel 4.3 untuk varian $45^0 / 90^0$ spesimen 3.



Gambar 4.2 Hasil pengujian *bending* varian $45^0 / 90^0$

4.1.2 Data Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik menghasilkan beberapa data penting yaitu: Beban tarik yang bekerja (P), kekuatan tarik atau *ultimate tensile strength* (σ_u), regangan atau *strain* (ε), dan modulus elastisitas tarik (E). Dengan merujuk pada hasil *print out* dan tabel hasil pengujian tarik pada Lampiran 8 dan Lampiran 10, maka disajikanlah data tersebut yang dapat dilihat pada tabel-tabel dan pembahasan berikut:

Tabel 4.4 Kekuatan tarik atau *ultimate tensile strength*

| Varian | Kekuatan Tarik (MPa) | | | Rata-rata |
|---|----------------------|-------|-------|-----------|
| | Spes. | Spes. | Spes. | |
| | 1 | 2 | 3 | |
| <i>Doortrim</i> | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Komposit 45 ⁰ / 45 ⁰ | 30 | 25 | 25 | 26,6 |
| Komposit 90 ⁰ / 90 ⁰ | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Komposit -45 ⁰ / 45 ⁰ | 35 | 30 | 25 | 30 |
| Komposit 45 ⁰ / 90 ⁰ | 30 | 30 | 30 | 30 |

Kekuatan tarik atau *ultimate tensile strength* (σ_u) dapat dicari menggunakan persamaan 2.16. Sampel data *doortrim* spesimen 3 digunakan sebagai korelasi antara perhitungan manual dengan hasil *print out* pada kekuatan tarik (σ_u), berikut merupakan perhitungan tersebut:

Perhitungan kekuatan tarik varian *doortrim* spesimen 3:

$$P = 412 \text{ N}$$

$$A = 13,2 \text{ mm}^2$$

Maka kekuatan tarik dapat dicari sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{412 \text{ N}}{13,2 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 30,7 \text{ MPa}$$

Terdapat selisih 0,7 antara data pada Tabel 4.4 dengan perhitungan manual untuk varian *doortrim* spesimen 3. Sedangkan berikut merupakan spesimen hasil pengujian tarik varian *doortrim*.



Gambar 4.3 Hasil pengujian tarik varian *doortrim*

Data penting lain yang didapat dari pengujian tarik adalah regangan. Dengan merujuk pada persamaan 2.17 untuk formula regangan tarik dan mengambil sampel varian komposit $90^0 / 90^0$ spesimen 3, berikut merupakan perhitungan regangan tarik varian tersebut:

Perhitungan regangan tarik varian komposit $90^0 / 90^0$ spesimen 3:

$$\Delta L = 3,6 \text{ mm}$$

$$L_0 = 13,2 \text{ mm}$$

Maka regangan tarik dapat dicari sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\varepsilon = \frac{3,6 \text{ mm}}{13,2 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon = \frac{3,6 \text{ mm}}{33,5 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon = 0,1$$

Tabel 4.5 Regangan pada spesimen uji tarik

| Varian | Regangan | | | Rata-rata |
|---|----------|-------|-------|-----------|
| | Spes. | Spes. | Spes. | |
| | 1 | 2 | 3 | |
| <i>Doortrim</i> | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Komposit 45 ⁰ / 45 ⁰ | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| Komposit 90 ⁰ / 90 ⁰ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Komposit -45 ⁰ / 45 ⁰ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Komposit 45 ⁰ / 90 ⁰ | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,04 |

Merujuk pada komparasi hasil perhitungan manual varian sudut serat eceng gondok 90⁰ / 90⁰ spesimen 3 dengan data *print out* pada Table 4.5, didapat nilai yang identik diantara keduanya yaitu 0,1. Data lain yang diperoleh dari hasil uji tarik yaitu modulus elastisitas (E). Dengan mengacu pada persamaan 2.18 untuk modulus elastisitas dan mengambil sampel spesimen 2, pada varian komposit sudut serat eceng gondok -45⁰ / 45⁰. Maka berikut merupakan hasil pengujian tarik dan perhitungan varian -45⁰ / 45⁰:

Gambar 4.4 Hasil pengujian tarik varian -45⁰ / 45⁰

Perhitungan modulus elastisitas varian komposit -45⁰ / 45⁰ spesimen 2:

$$\sigma = 30 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 0,1$$

Maka modulus elastisitas dapat dicari sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{30 \text{ MPa}}{0,1}$$

$$E = 300 \text{ MPa}$$

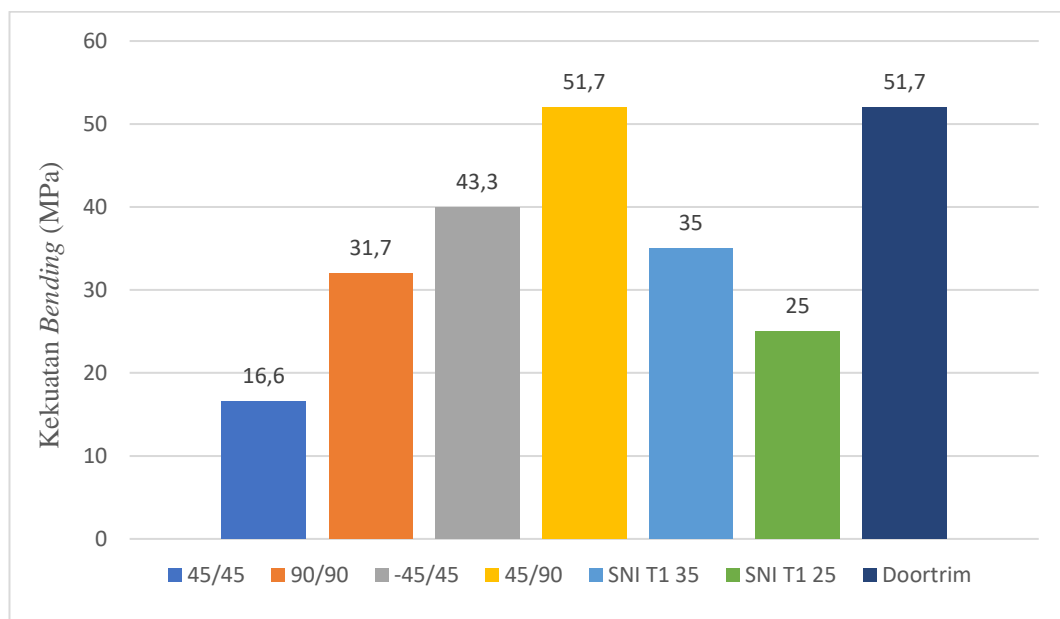
$$E = 0,3 \text{ GPa}$$

4.2 Analisis Data

Berdasarkan data hasil pengujian baik *bending* maupun tarik yang telah disajikan pada Sub Bab 4.1, maka terdapat analisis yang akan dijabarkan sebagai berikut:

4.2.1 Analisis Hasil Pengujian *Bending*

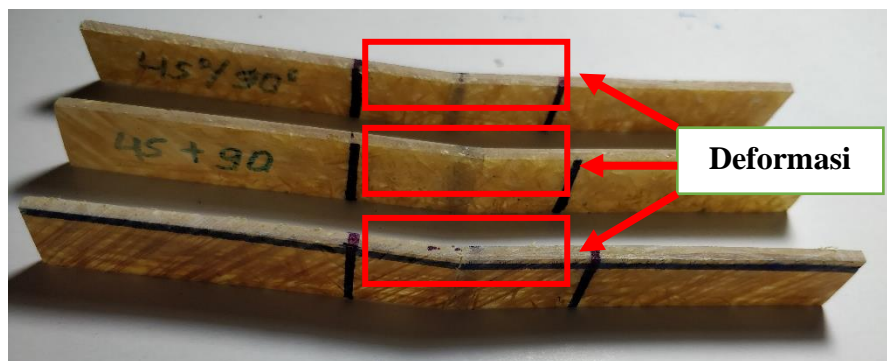
Merujuk data hasil pengujian *bending* pada Tabel 4.2 serta standar SNI 01-4449-2006. Sebagai langkah memudahkan proses analisis pengaruh orientasi serat komposit terhadap kekuatan *bending*, serta hasil perbandingannya dengan kontrol produk. Maka data kekuatan *bending* disajikan dalam bentuk diagram batang dan visualisasi sebagai berikut:



Gambar 4.5 Diagram perbandingan kekuatan *bending*

4.2.1.1 Analisis Nilai Kekuatan *Bending* Komposit

Mengacu Gambar 4.5, rata-rata kekuatan *bending* tertinggi komposit ada pada varian sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$ yaitu 51,7 MPa. Selanjutnya diikuti varian sudut serat eceng gondok $-45^0 / 45^0$ yaitu 43,3 MPa. Kedua varian komposit tersebut (kelompok A) merupakan varian dengan nilai rata-rata kekuatan *bending* terbaik diantara varian komposit lainnya.



Gambar 4.6 Visualisasi hasil pengujian *bending* varian $45^0 / 90^0$

Berdasarkan pada visualisasi gambar 4.6 diketahui varian komposit sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$, memiliki tingkat kelenturan dan ketangguhan (*stiffnes*) yang lebih baik diantara varian komposit lainnya. Terbukti dari penampang hasil pengujian *bending* yang menunjukkan adanya perubahan bentuk pada spesimen hasil uji, tanpa adanya perpatahan. Visualisasi tersebut menunjukkan adanya ikatan antar muka (*interface*) yang baik pada varian serat eceng gondok $45^0 / 90^0$ dengan serat tebu acak dan matriks *epoxy*. Kesempurnaan ikatan antar muka resin dan matriks akan berdampak pada meningkatnya kekuatan mekanis sebuah komposit (Prihajatno, dkk, 2018: 25).

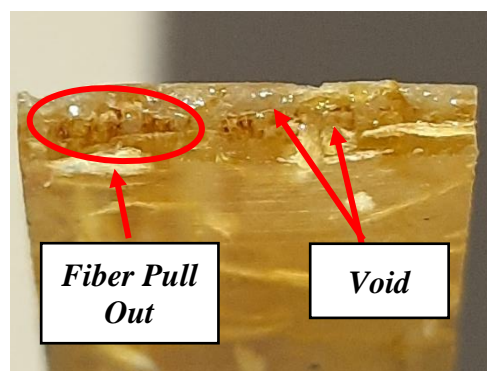
Sedangkan pada material komposit variasi sudut serat eceng gondok $90^0 / 90^0$ dan $45^0 / 45^0$ (Kelompok B) memiliki nilai tegangan *bending* atau kekuatan

bending yang lebih rendah. Rata-rata kekuatan *bending* dua varian tersebut hanya 31,7 MPa dan 20 MPa.



Gambar 4.7 Visualisasi hasil pengujian *bending* varian $90^{\circ} / 90^{\circ}$

Berdasarkan pada visualisasi gambar 4.7 diketahui varian komposit sudut serat eceng gondok $90^{\circ} / 90^{\circ}$ kelompok B, memiliki tingkat kelenturan dan ketangguhan (*stiffnes*) yang rendah. Sehingga menghasilkan material komposit yang tergolong memiliki sifat getas. Terbukti dari penampang hasil pengujian *bending* varian tersebut yang terjadi patah atau *fracture* dikarenakan tidak mampu menahan beban yang diberikan yaitu 37,3 N.



Gambar 4.8 Foto makro patahan varian $90^{\circ} / 90^{\circ}$

Bagian pada penampang patah komposit varian $90^{\circ} / 90^{\circ}$ (kelompok B) menunjukkan fenomena *fiber pull out*, hal ini mengindikasikan adanya gaya yang

tidak merata dan terpusat pada spesimen yang telah diuji. Serta banyaknya void sebagai salah satu faktor lemahnya ikatan antar muka matrik dan serat.

Dari kedua visualisasi penampang patah tersebut diasumsikan bahwa, varian serat eceng gondok $90^0 / 90^0$ memiliki ikatan antar muka yang lemah. Dalam komposit, beban yang bekerja pada matriks dipindahkan serta didistribusikan ke penguat melalui bidang antar muka (*interface*). Bidang antar muka yang lemah akan menghasilkan ketangguhan dan kekuatan yang rendah.

Persentase besarnya peningkatan kekuatan *bending* material komposit varian eceng gondok, $90^0 / 90^0$ dan $45^0 / 45^0$ (Kelompok B) dengan varian $45^0 / 90^0$ dan $-45^0 / 45^0$ (Kelompok A) dapat dicari menggunakan perhitungan berikut:

$$\frac{95-51,7}{51,7} \times 100\% = 83,7 \%$$

Dari perhitungan persentase tersebut didapat peningkatan kekuatan *bending* sebesar 83,7 % dari varian eceng gondok, $90^0 / 90^0$ dan $45^0 / 45^0$ (Kelompok B) menuju varian $45^0 / 90^0$ dan $-45^0 / 45^0$ (Kelompok A). Sehingga dapat diasumsikan bahwa orientasi serat berpengaruh terhadap kekuatan *bending* sebuah komposit.

4.2.1.2 Perbandingan kekuatan *bending* varian komposit, *panel assy back doortrim* dan SNI01-4449-2006

Berdasarkan diagram batang pada Gambar 4.5 nilai rata-rata kekuatan *bending* variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$ yaitu 51,7 MPa serta $-45^0 / 45^0$ yang bernilai 43,3 MPa, keduanya mampu berada diatas standar minimal kekuatan *bending* SNI untuk tipe T1 35 yaitu 35 MPa. Sedangkan untuk nilai rata-rata kekuatan *bending* variasi sudut serat eceng gondok $90^0 / 90^0$ hanya mampu memenuhi standar kekuatan *bending* SNI tipe T1 25. Sementara itu nilai kekuatan

bending yang memenuhi standar minimal kontrol produk *panel assy back doortrim* hanyalah variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$ yaitu 51,7 MPa.

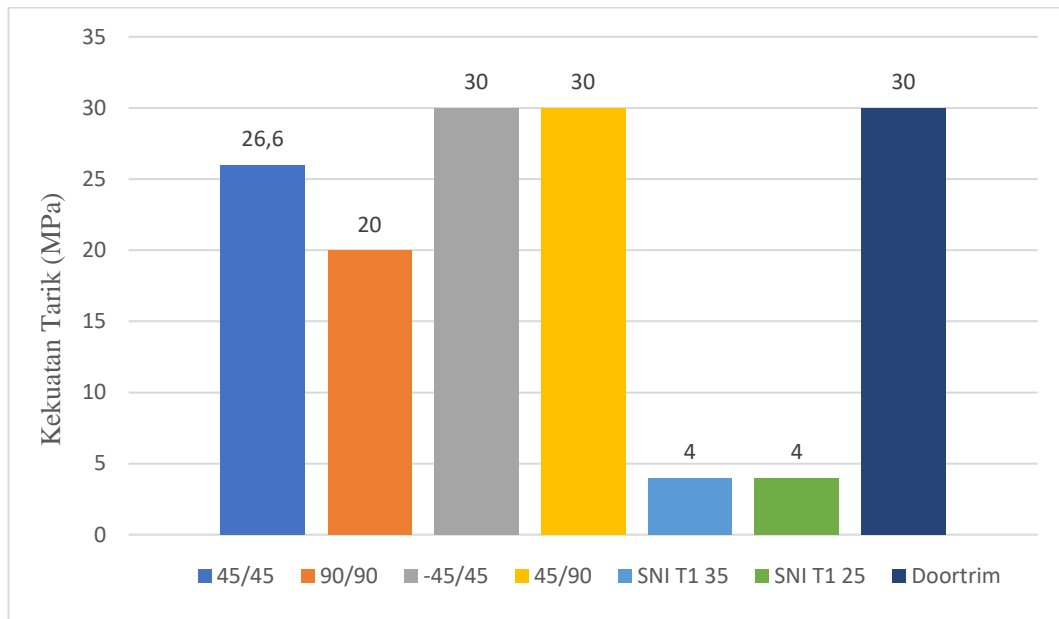


Gambar 4.9 Hasil pengujian bending varian $45^0/90^0$ dan doortrim

Dari analisis perbandingan diatas didapat bahwa, variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$ dengan nilai rata-rata kekuatan bending 51,7 MPa setara dengan kekuatan bending pada variabel kontrol yaitu *panel assy back doortrim*. Serta mampu memenuhi standar kekuatan bending SNI 01-4449-2006 tipe T1 35 yang telah ditetapkan untuk papan serat sebagai bahan dasar pembuat *doortrim*.

4.2.2 Analisis Hasil Pengujian Tarik

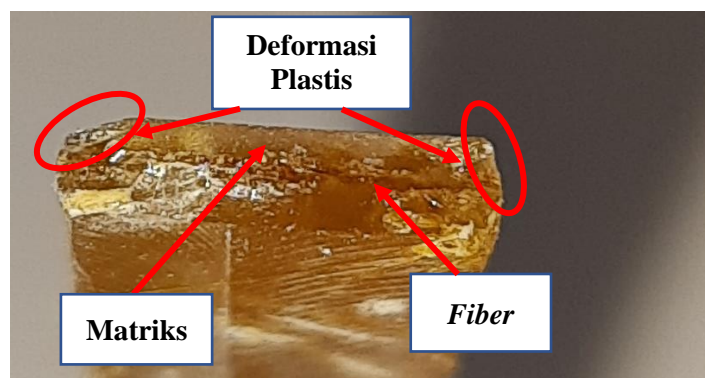
Mengacu data hasil pengujian tarik pada Tabel 4.4, serta standar SNI 01-4449-2006. Sebagai upaya untuk memudahkan proses analisis pengaruh orientasi serat komposit terhadap kekuatan tarik, serta hasil perbandingannya dengan kontrol produk. Maka disajikanlah dalam bentuk diagram batang dan visualisasi sebagai berikut:



Gambar 4.10 Diagram perbandingan kekuatan tarik

4.2.2.1 Analisis Nilai Kekuatan Tarik Komposit

Mengacu Gambar 4.10, rata-rata kekuatan tarik tertinggi komposit ada pada varian sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$ dan $-45^0 / 45^0$ dengan nilai yang identik yaitu 30 MPa. Kedua varian komposit tersebut (kelompok A) merupakan varian dengan nilai rata-rata kekuatan tarik terbaik diantara varian komposit lainnya.

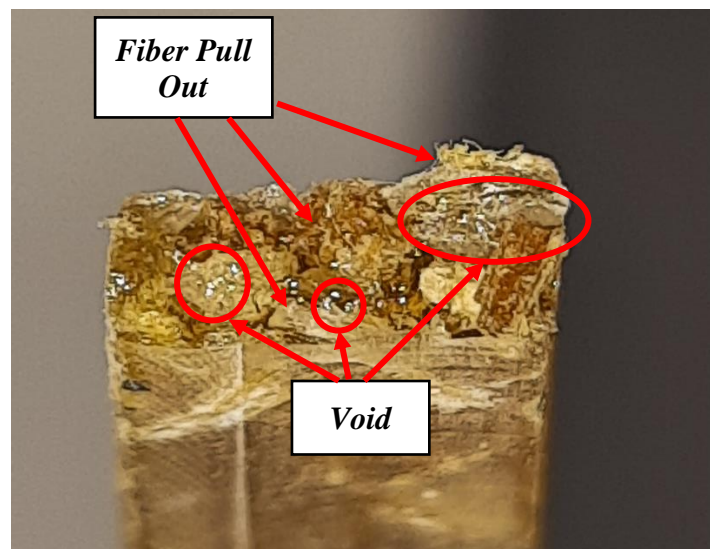


Gambar 4.11 Penampang patahan tarik varian $45^0/90^0$

Pada Gambar 4.11 bagian dalam penampang merah terlihat adanya penyusutan serta perubahan bentuk dan dimensi. Hal ini dapat diartikan bahwa patahan spesimen tersebut telah mengalami deformasi plastis. Serta tidak

terdapatnya fenomena delaminasi maupun *fiber pull out*, hal ini menandakan kekasaran permukaan yang dimiliki oleh varian $45^0/90^0$ (kelompok A) sangat baik. Sehingga berpengaruh pada ikatan (*interfacial bonding*) antara serat dan matriks. Adanya mekanisme *fiber pull out* mengindikasikan lemahnya ikatan (*interface*) antara serat dan matriks (Muhajir,dkk, 2016:7).

Sedangkan pada material komposit variasi sudut serat ecentrik $45^0 / 45^0$ dan $90^0 / 90^0$ (Kelompok B), memiliki nilai tegangan *bending* atau kekuatan *bending* yang lebih rendah. Rata-rata kekuatan *bending* dua varian tersebut hanya 26,6 MPa dan 20 MPa.



Gambar 4.12 Penampang patahan tarik varian $90^0/90^0$

Pada visualisasi gambar 4.12 pada penampang merah terlihat adanya fenomena *fiber pull out*. Serta terdapat banyak nya *void* di tiap bagian penampang patah varian $90^0 / 90^0$. Fenomena ini merupakan indikator utama lemahnya kekuatan tarik pada varian serat ecentrik $90^0 / 90^0$ (kelompok B). Kedua indikator tersebut berdampak pada lemahnya ikatan antar muka matriks dengan

serat. Lemahnya ikatan antar serat dengan matriks mengakibatkan banyaknya fenomena fiber pull out pada hasil uji tarik (Zulkifli,dkk, 2018: 94).

Persentase besarnya peningkatan kekuatan tarik material komposit varian eceng gondok, $90^0 / 90^0$ dan $45^0 / 45^0$ (Kelompok B) dengan varian $45^0 / 90^0$ dan $-45^0 / 45^0$ (Kelompok A) dapat dicari menggunakan perhitungan berikut:

$$\frac{30-23}{23} \times 100\% = 30,4 \%$$

Dari perhitungan persentase tersebut didapat peningkatan kekuatan tarik sebesar 30,4 % dari varian eceng gondok, $90^0 / 90^0$ dan $45^0 / 45^0$ (Kelompok B) menuju varian $45^0 / 90^0$ dan $-45^0 / 45^0$ (Kelompok A). Sehingga dapat diasumsikan bahwa orientasi serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik sebuah komposit.

4.2.2.2 Perbandingan kekuatan tarik varian komposit, *panel assy back*

doortrim dan SNI 01-4449-2006

Berdasarkan diagram batang pada Gambar 4.9 didapat bahwa nilai rata-rata kekuatan tarik variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$, $-45^0 / 45^0$, $45^0 / 45^0$ dan $90^0 / 90^0$ berada jauh melampaui standar minimal yang telah ditentukan untuk SNI tipe T1 35 dan T1 25. Sementara rata-rata nilai kekuatan tarik variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$ dan $-45^0 / 45^0$ setara atau mampu memenuhi standar nilai kekuatan tarik pada *panel assy back doortrim* yaitu 30 MPa.

Dari analisis perbandingan tersebut didapat bahwa variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$ dan $-45^0 / 45^0$ dengan nilai rata-rata kekuatan tarik 30 MPa, mampu memenuhi standar minimal kekuatan tarik yang telah ditentukan untuk SNI 01-4449-2006 tipe T1 35 dan T1 25 serta variabel kontrol yaitu *panel assy back doortrim*.

4.3 Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, serta merujuk pada data hasil pengujian khususnya pada sub bab 4.1 dan 4.2. Diketahui bahwa, *flexural strength* atau kekuatan bending sama dengan *maximum stress* atau tegangan maksimum pada diagram curva tegangan-regangan bending. Sedangkan faktor yang mempengaruhi validitas data pengujian khususnya nilai kekuatan *bending*, mengacu pada ASTM D 790 – 03 adalah homogenitas atau keseragaman antar spesimen uji, preparasi pra pengujian dan penggunaan persamaan $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$ sebagai pembandingnya. Pada spesimen penelitian ini dimensi mengacu standar yang telah ditentukan oleh ASTM D 790 – 03 yang dapat dilihat pada Lampiran 1. Sedangkan data aktual pada Lampiran 7 digunakan dalam persamaan $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$ menghasilkan selisih rata-rata 0,1 dengan data *printout*.

Hasil penelitian Pramono, dkk (2016), menunjukkan komposit dengan komposisi 20% ampas tebu – 10% serat alam lain – 70% resin polyester memiliki nilai kekuatan *bending* terbaik yaitu 25,66 MPa. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, dimana komposisi 20% ampas tebu – 10% eceng gondok 45⁰ / 90⁰ – 70% resin epoxy merupakan komposit dengan nilai kekuatan bending terbaik.

Sedangkan *ultimate tensile strength* atau kekuatan tarik akhir sama dengan *maximum stress* atau tegangan maksimum pada diagram curva tegangan-regangan tarik. Faktor yang mempengaruhi presisi atau tidaknya data pengujian kekuatan tarik, mengacu pada ASTM D638 – 14 adalah homogenitas atau keseragaman antar spesimen uji, preparasi pra pengujian dan penggunaan persamaan $\sigma = \frac{P}{A}$ sebagai

pembandingnya. Pada spesimen penelitian ini dimensi mengacu standar yang telah ditentukan oleh ASTM D638 – 14 (Type IV^B) yang dapat dilihat pada Lampiran 2. Sedangkan data aktual pada Lampiran 8 yang digunakan dalam persamaan $\sigma = \frac{P}{A}$ menghasilkan selisih rata-rata 0,7 dengan data *printout*.

Terdapat persentase peningkatan nilai tarik antara varian sudut serat eceng gondok kelompok B dengan kelompok A, sebesar 30,4 %. Hal ini relevan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Vinod dan Sudev (2014), dengan varian orientasi serat alam *inclined* ($-45^{\circ} / 45^{\circ}$), *bidirectional* ($90^{\circ} / 0^{\circ}$) dan *Unidirectional* ($90^{\circ} / 90^{\circ}$). Bahwa komposit serat alam *inclined* ($-45^{\circ} / 45^{\circ}$) memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 49,99 MPa. Sedangkan *Unidirectional* ($90^{\circ} / 90^{\circ}$) merupakan varian terendah dengan nilai kekuatan tarik 37,18 MPa, ataupun terjadi peningkatan nilai kuat tarik sebesar 34,4 % diantara keduanya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Merujuk pada analisis data yang telah dilakukan, sehingga mampu disimpulkan bahwa:

1. Orientasi serat berpengaruh terhadap kekuatan *bending* sebuah komposit.

Dimana jika terdapat perbedaan orientasi arah atau sudut serat dalam sebuah material komposit, maka kekuatan *bending* komposit tersebut akan semakin baik. Hal ini dibuktikan dengan nilai kekuatan *bending* variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$, yaitu 51,7 MPa yang mampu memenuhi standar nilai kekuatan *bending panel assy back doortrim* serta SNI 01-4449-2006 tipe 35 dan 25. Diikuti variasi sudut serat eceng gondok $-45^0 / 45^0$ dan $90^0 / 90^0$ dengan nilai kekuatan *bending* 43,3 MPa serta 31,7 MPa. Kedua varian tersebut dapat memenuhi standar minimal yang telah ditetapkan untuk SNI 01-4449-2006 tipe 35 dan 25. Sedangkan variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 45^0$ yang merupakan varian dengan nilai kekuatan *bending* terendah yaitu 16,6 MPa. Varian tersebut belum mampu memenuhi standar minimal kekuatan *bending* untuk *panel assy back doortrim*, SNI 01-4449-2006 tipe 35 maupun 25.

2. Orientasi serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik material komposit. Dimana apabila terdapat berbagai orientasi arah atau sudut serat pada sebuah material komposit, maka dapat disimpulkan pula kekuatan tarik material komposit tersebut semakin tinggi. Keadaan ini dibuktikan variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 90^0$ serta $-45^0 / 45^0$ yang memiliki kekuatan tarik 30 MPa. Kedua varian

tersebut mampu memenuhi standar minimal nilai kekuatan *bending panel assy back doortrim* serta SNI 01-4449-2006 tipe 35 dan 25. Sedangkan variasi sudut serat eceng gondok $45^0 / 45^0$ dengan nilai kekuatan tarik 26,6 MPa, serta variasi sudut serat eceng gondok $90^0 / 90^0$ yang merupakan varian dengan nilai kekuatan tarik terendah yaitu 20 MPa. Kedua varian tersebut hanya mampu memenuhi standar nilai kekuatan tarik SNI 01-4449-2006 tipe 35 dan 25.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, maka pada penelitian selanjutnya memperhatikan serta mempertimbangkan beberapa saran berikut:

1. Untuk penggunaan serat eceng gondok orientasi continuous, sebaiknya pengambilan serat pemisahan serat dari kulit batangnya dilakukan pada saat kondisi batang eceng gondok setengah kering. Dengan ciri, batang eceng gondok berwarna coklat muda.
2. Untuk mengantisipasi banyaknya komposisi pada larutan alkali, proses alkalisasi dilakukan apabila serat alam telah diperoleh dari proses pengolahan sebelumnya (pemisahan dari batang).
3. Untuk menghindari banyaknya *void* pada komposit. Dimensi dari serat tebu harus lebih pendek, serta mencoba pembuatan komposit dengan metode vakum.
4. Untuk mendapatkan dimensi spesimen yang lebih seragam / sama. Perlu dilakukan proses *machining* menggunakan CNC.
5. Untuk memenuhi standar mekanis keseluruhan SNI 01-4449-2006, perlu dilakukan pengujian mekanis lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abral, H., D. Kadriadi, A. Rodianus, P. Mastariyanto, Ilhamdi, S. Arief, S.M. Sapuan, dan M.R. Ishak. 2014. Mechanical Properties of Water Hyacinth Fibers – Polyester Composites Before and After Immersion in Water. *Materials and Design* 58: 125-129.
- Akca, E. dan A. Gursel. 2018. A Review on the Matrix Toughness of Thermoplastic Materials. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences* 3(2): 1-8
- Andreawan, A. 2019. Pengaruh Arah Orientasi Serat Ijuk dan Serat *E-Glass* Terhadap Kekuatan Geser Komposit Hybrid Dengan Resin Polyester. *JTM* 7(2): 119-124.
- Arief, S., Pratiko, dan Y. S. Irawan. 2016. Pengaruh Fraksi Volume Serat Kayu Gelam(Melaleuce Leucandendra) Kekuatan Tarik Dan Impak Komposit Bermatrik Polyester. *Jurnal Rekayasa Mesin* 7(3): 123-128
- ASM Handbook. 2001. *Volume 21 Composites*. United States of America: ASM International Handbook Committee. *E-Book*.
- ASM International. 2004. *Tensile Testing*. 2nd ed. United States of America: ASM International All Right Reserved. *E-Book*.
- ASTM D 7264. Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials. *ASTM International*: 1-11.
- ASTM D 3039. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Material. *ASTM International*: 1-13.
- Bhuvaneshwari, M. dan K. Sangeetha. 2016. Investigation of Physical, Chemical and Structural Characterization of Eichhornia Crassipes Fiber. *International Conference on Information Engineering, Management and Security* 1(1): 92-96.
- Bismarck, A., I. A. Askargorta, dan J. Springer. 2002. Surface Characterization of Flax, Hemp and Cellulose Fibers; Surface Properties and the Water Uptake Behavior. *Polymer Composites* 23(5): 873-894.
- Boontima, B., A. Noomhorm, C. Puttanlek, D. Uttapap, dan V. Rungsardthong. 2014. Mechanical Properties of Sugarcane Bagasse Fiber-Reinforced Soy Based Biocomposites. *J Polym Environ* 79(2): 97-106.
- Brown, R. 2002. *Handbook of Polymer Testing*. Rapra Technology Limited. *E-Book*.
- Budianto., M. T. Wahyudi, U. Dinata, Ruddianto, dan M. M. Eko. 2017. Strength Analysis on Ship Ladder Using Finite Element Method. *The 2nd International Joint Conference on Science and Technology*. Surabaya, Indonesia. 1-9.
- Callister, W. D. and J. D. G. Rethwisch. 2009. *Materials Science and Engineering an Introduction*. 8th ed. Wiley: John Wiley & Sons, Inc. *E-Book*.

- Campbell, F. C. 2010. *Structural Composite Materials*. ASM International The Materials Information Society. *E-Book*.
- Candido, V. S., A. C. R. da Silva, N. T. Simonassi, F. S. da Luz, dan S. N. Monteiro. 2017. Toughness of Polyester Matrix Composites reinforced with Sugarcane Bagasse Fibers Evaluated by Charpy Impact Tests. *J Mater Res Technol* 6(4): 334-338.
- Cannon, S. C., Munchen, M. Behnke, dan Vaterstten. 2014. Interior Trim Component for a Motor Vehicle. *Patent Application Publication* US 201402.11 498A1
- Ditjenbun. 2014. Swasembada Gula Nasional Bimbingan Teknis Tebu. *Direktorat Jendral Perkebunan Kementrian Pertanian*.
- Fahmi, H. dan H. Hermansyah. 2011. Pengaruh Orientasi Serat Pada Komposit Resin Polyester/Serat Daun Nenas Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Teknik Mesin* 1(1): 46-52.
- _____, dan N. Arifin. 2014. Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Resin Epoxy/Serat Glass dan Serat Daun Nenas Terhadap Ketangguhan. *Jurnal Teknik Mesin* 4(2): 84-89.
- _____, S. Hadi, dan F. M. Kapur. 2016. Analisis Kekuatan Komposit Resin diperkuat Serat Pinang. *Jurnal Teknik Mesin – ITP* 6(2): 86-91.
- Ghozali, M. Y., H. Sosiati, dan C. Budiantoro. 2017. Karakterisasi Sifat Tarik Komposit Laminat Hibrid Kenaf-E-Glass/Polyethylene (Pe). *Jurnal Material dan Proses Manufaktur* 1(1): 31-35
- Gunawan, Y., P. Aksar, dan L. O. Irfan. 2016. Analisa Pengaruh Ukuran Diameter Serat Tangkai Sagu Terhadap Sifat Meknaik Pada Material Komposit. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin* 2(2): 62-67.
- Harsi, N. H. Sari, dan Sinarep. 2015. Karakteristik Kekuatan Bending dan Kekuatan Tekan Komposit Serat Hybrid Kapas/Gelas Sebagai Pengganti Produk Kayu. *Dinamika Teknik Mesin* 5(2): 59-65.
- Hastuti, S., C. Pramono, dan Y. Akhmad. 2018. Sifat Mekanis Serat Eceng Gondok Sebagai Material Komposit Serat Alam yang Biodegradable. *Journal of Mechanical Engineering* 2(1): 22-28.
- Ilham, Bakri, dan R. Magga. 2019. Sifat Kuat Tarik Material Komposit Hibrid Berpenguat Serat Ijuk dan Sabut Kelapa Dengan Orientasi Serat Acak. *Jurnal Mekanikal* 10(2): 980-991.
- Kartini, R., H. Darmasetiawan, A. K. Karo, dan Sudirman. 2002. Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam. *Indonesian Journal of Materials Science* 3(3): 30-38.
- Karyanik, dan N. H. Sari. 2016. Analisis Sifat Mekanik Material Komposit Ecenggondok Berbahan Filler Ampas Singkong dengan Matrik Polyester. *Rekayasa, Energi, Manufaktur* 1(1): 17-22.

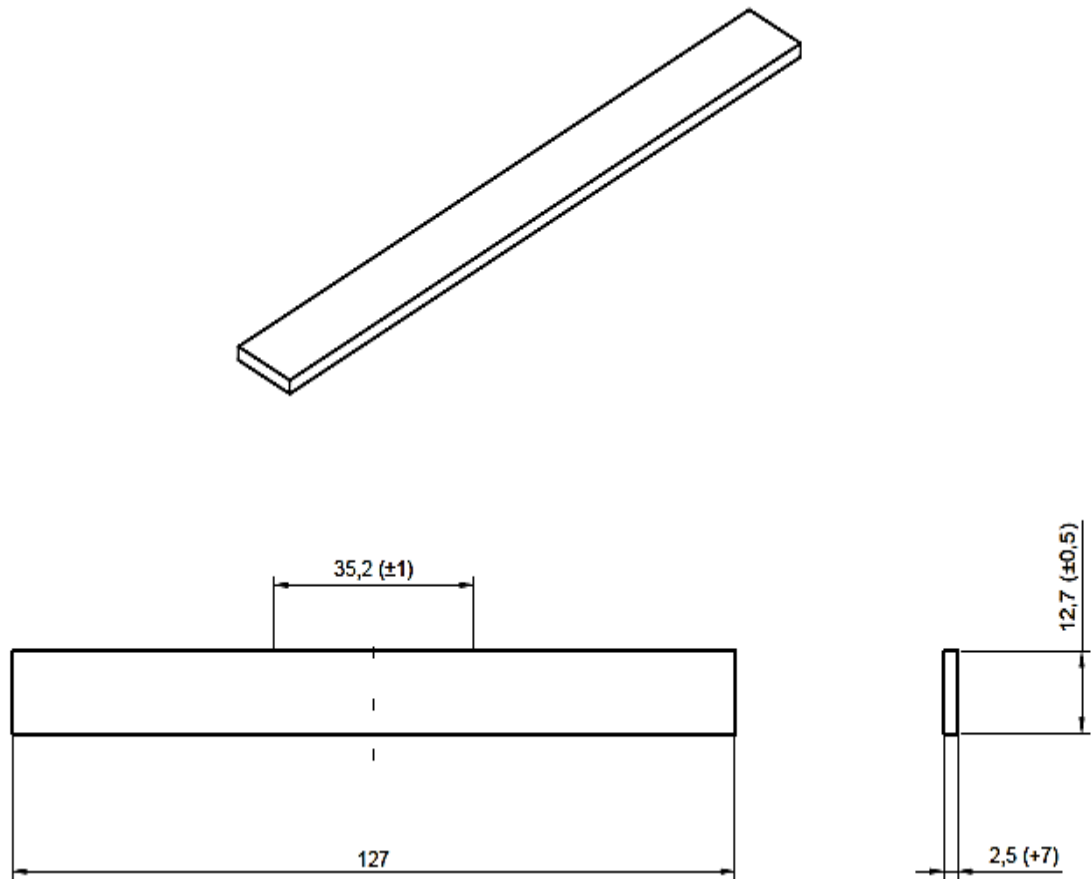
- Kaw, A. K. 2006. *Mechanical of Composites Materials*. 2nd ed. New York: Taylor & Francis Group. *E-Book*.
- Kementrian Perdagangan. 2013. Analisis Penggunaan Alat-Alat Ukur, Takar, Timbang dan Perlengkapannya (Uttp) dalam Perdagangan Barang. *Pusat Kebijakan Perdagangan Dalam Negeri*: 1-99.
- Kunarto, dan E. Ernawan. 2018. Serat Pelepah Pisang dan Eceng Gondok Sebagai Penguat Komposit Dengan Variasi Arah Serat Terhadap Uji Tarik dan Bending. *Jurnal Teknik Mesin UBL* 5(2): 1-4.
- Latief, A. E., N. D. Anggraeni, dan D. Hernady. 2019. Karakterisasi Mekanik Komposit Matriks Polipropilena High Impact dengan Serat Alam Acak dengan Metode Hand Lay Up Untuk Komponen Automotive. *Jurnal Rekayasa Hijau* 3(3): 241-247.
- Maharana, S. M., P. Samal, J. Dehuri, dan P. A. Mohanty. 2019. Effect of Fiber Content and Orientation on Mechanical Properties of Epoxy Composites Reinforced with Jute and Kevlar. *Proceedings School of Mechancial Sciences*. Indian Institute of Technology. India. 1-5.
- Mahmuda, E., S. Savetlana, dan Sugiyanto. 2013. Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ijuk Dengan Matrik Epoxy. *Jurnal FEMA* 1(3): 79-84.
- Maryanti, B., A. A. Sonief, dan S. Wahyudi. 2011. Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin* 2(2): 123-129.
- Muhajir, M., M. A. Mizar, dan D. A. Sudjimat. 2016. Analisa Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam Dengan Berbagai Varian Tata Letak. *Jurnal Teknik Mesin* 24(2): 1-8.
- Muslim, J., N. H. Sari, dan E. Dyah. 2013. Analisis Sifat Kekuatan Tarik dan Kekuatan Bending Komposit Hibryd Serat Lidah Mertua dan Karung Goni Dengan Filler Abu Sekam Padi 5% Bermatrik Epoxy. *Dinamika Teknik Mesin* 3(1): 26-33.
- Mutia, T., M. D. Sukardan, E. Novarini, C. Kasipah, dan A. W. Sana. 2018. Pemanfaatan Limbah Serat Kapas Dari Industri Pemintalan Untuk *Felt* Dan Papan Serat. *Arena Tekstil* 33(1): 37-46.
- Naufal, A., S. Jokosisworo, dan Samuel. 2016. Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Sudut Kmpuh V Terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan GTAW. *Jurnal Teknik Perkapalan* 4(1): 256-264.
- Pramono, M. D., M. Farid, dan S. T. Wicaksono. 2016. Pengaruh Komposisi Material Biokomposit dengan Matriks Polyester Berpenguat Serat Alam Terhadap Kekuatan Mekanik dan Fisik. *Jurnal Teknik ITS* 5(2): D212-D215.
- Pratiwi, J., dan J. Rahardjo. 2018. Perbaikan Alur Aktivitas VA/VE (TMMIN Proposal) di PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia. *Jurnal Titra* 6(2): 183-190

- Prihajatno, M., Y. Arafat, dan A. Nurfauzi. 2018. Karakterisasi Kekuatan Mekanis Hybrid Komposit Berpenguat Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus Tiliaceus*). *Dinamika Jurnal Teknik Mesin* 9(2): 17-29.
- Purboputro, P. I. 2006. Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Enceng Gondok Dengan Matriks Poliester. *Media Mesin* 7(2): 70-76.
- Rahman, A., M. Farid, dan H. Ardhyanta. 2016. Pengaruh Komposisi Material komposit dengan Matriks Polypropylene Berpenguat Serat Alam Terhadap Morfologi dan Kekuatan Sifat Fisik. *Jurnal Teknik ITS* 5(2): D209-D211.
- Runtuk, J. K., dan A. L. Maukar. 2020. Pemilihan Pemasok Dengan Mempertimbangkan Produksi Bersih/Green Manufacturing Pada Industri Otomotif. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri* 9(1): 33-44.
- Sabuin, A., K. Boimau, dan D. G. H. Adoe. 2015. Pengaruh Temperatur Pengovenan terhadap Sifat Mekanik Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serat Glass dan Serat Daun Gwang. *Jurnal Teknik Mesin Undana* 2(1): 69-78.
- Sideris, E., J. Venetis, dan V. Kytopoulos. 2018. The Stiffness of Short and Randomly Distributed Fiber Composites. *Wseas Transactions On Applied And Theoretical Mechanics* 13(1): 53-75.
- Siregar, I. C. R., H. Yudo, dan Kiryanto. 2017. Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk Pada Sambungan Pipa Baja dengan Menggunakan Kanpe Clear NF Sebagai Pengganti Las. *Jurnal Teknik Perkapalan* 5(4): 716-725.
- SNI 01-4449-2006. Standar Nasional Indonesia Papan Serat. *Badan Standarisai Nasional*: 1-37.
- Suban, S. L. dan M. Farid. 2015. Pengaruh Panjang Serat terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara dan Sifat Mekanik Komposit Serat Ampas Tebu dengan Matriks Gypsum. *Jurnal Teknik ITS* 4(1): 101-105.
- Supriyanto, A. A., R. M. Suhendar, A. Supendi, dan R. Bagus. 2018. Kalibrasi Alat Ukur Pressure Gauge Sistem Kontrol Level pada Flashtank 5 Calender. *ELEKTRA* 3(1): 19-24
- Surono, U. B. dan Sukoco. 2016. Analisa Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Serat Ijuk dengan Bahan Matrik Poliester. *Prosiding Seminar Nasional XI Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional. Yogyakarta. 298-303.
- Vinod, B. dan L. J. Sudev 2014. Study on The Influence of Fiber Orientation on Palf Reinforced Bisphenol Composites. *International Journal Of Mechanical Engineering And Technology (IJMET)* 5(9): 181-188.
- Widiarta, I. W., I. N. P. Nugraha, dan K. R. Dantes. 2017. Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Sifat Mekanik Komposit Berpenguat Serat Alam Batang Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceust*) Dengan Matrik Polyester. *Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin (JJPTM)* 8(2): 1-17.
- Widnyana, A., I. G. Rian, I. W. Surata, dan T. G. T. Nindhia. 2017. Tensile Properties of coconut Coir single fiber with alkali treatment and reinforcement effect on

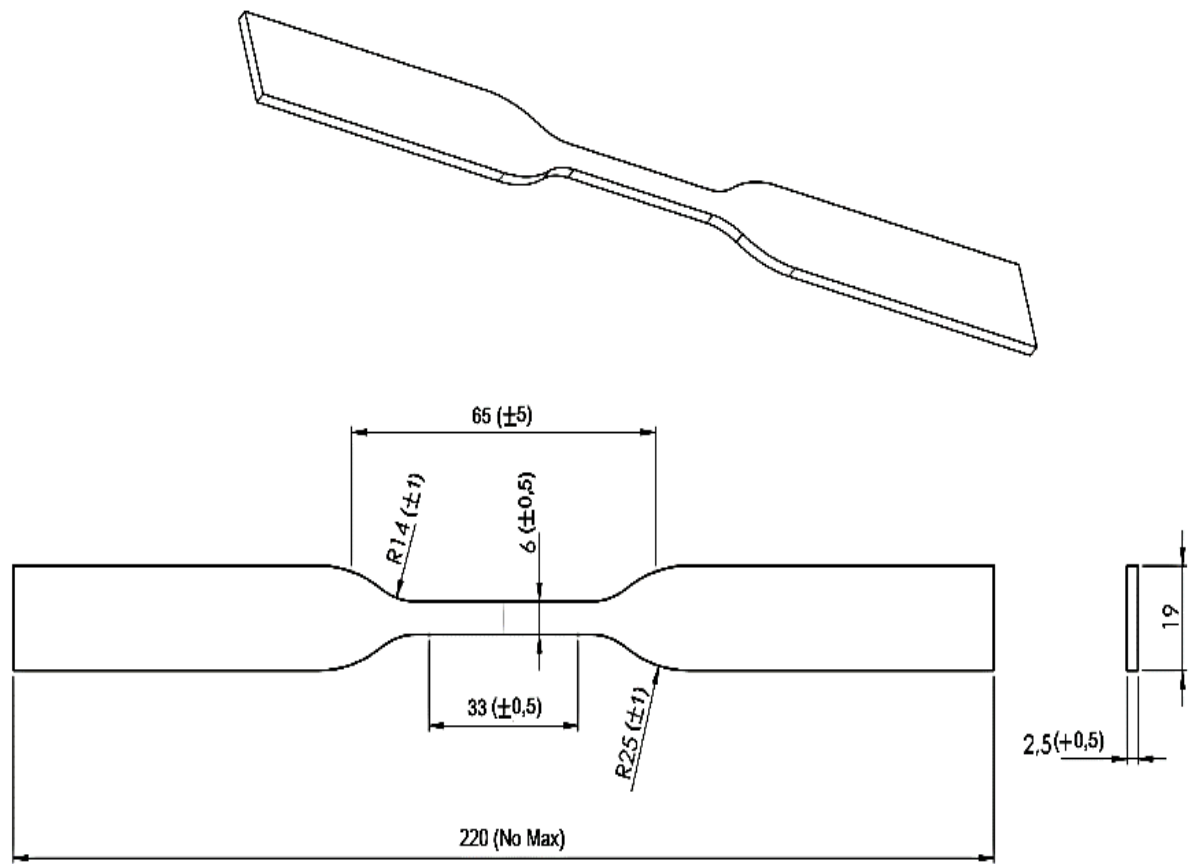
- unsaturated polyester polymer. *2018 2nd International Conference on Nanomaterials and Biomaterials*. Barcelona, Spain. 300-305.
- Wiranda, W. dan M. H. Harahap. 2015. Pengaruh Perendaman Filler Serat Ampas Tebu dengan Variasi Konsentrasi Naoh Terhadap Sifat Mekanik Komposit Resin Polyester. *Jurnal Einstein* 3(2): 31-37.
- Yani, M. dan F. Lubis. 2018. Pembuatan dan Penyelidikan Perilaku Mekanik Komposit Diperkuat Serat Limbah Plastik Akibat Beban Lendutan. *Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM* 4(2): 77-84.
- Yonathan, A., A. R. Prasetya, dan B. Pramudono. 2013. Produksi Biogas dari Eceng Gondok (*Eicchornia Crassipes*): Kajian Konsistensi dan Ph Terhadap Biogas Dhasilkan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 2(2): 211-215.
- Yulianto, R. dan Yandri. 2018. Pembuatan Modifikasi Alat Uji Tarik di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Batam. *Zona Mesin* 9(1): 24-32.
- Zulkifli. dan I. B. Dharmawan. 2019. Analisa Pengaruh Perlakuan Alkali dan Hidrogen Peroksida Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Serat Sabut Kelapa Bermatriks Epoxy. *Jurnal Polimesin* 17(1): 41-46.
- Zulkifli., H. Hermansyah, dan S. Mulyanto. 2018. Analisa Kekuatan Tarik dan Bentuk Patahan Komposit Serat Sabuk Kelapa Bermatriks Epoxy terhadap Variasi Fraksi Volume Serat. *Jurnal Teknologi Terpadu* 6(21): 90-95.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar teknik spesimen pengujian *bending* (mm)



Lampiran 2. Gambar teknik spesimen pengujian tarik (mm)



Lampiran 3. Spesimen pengujian *bending* **$45^{\circ} / 45^{\circ}$**  **$90^{\circ} / 90^{\circ}$** ***Doortrim*** **$-45^{\circ} / 45^{\circ}$**  **$45^{\circ} / 90^{\circ}$** ***Epoxy 100%***

Lampiran 4. Spesimen pengujian tarik**-45° / 45°****45° / 90°****45° / 45°*****Doortrim*****90° / 90°*****Epoxy 100%***

Lampiran 5. Spesimen hasil pengujian *bending*

1. Varian $45^0 / 45^0$



2. Varian $90^0 / 90^0$



3. Varian $45^0 / 90^0$



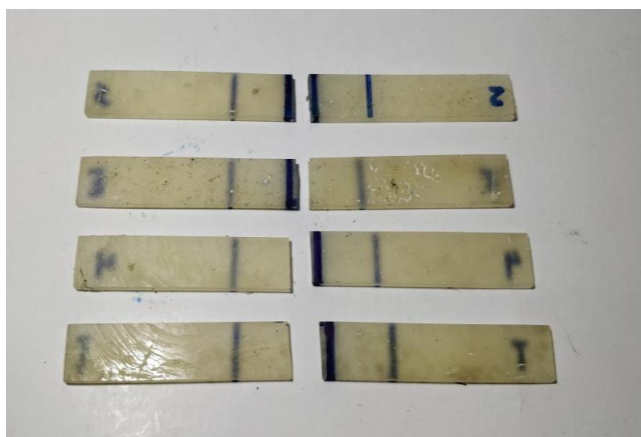
4. Varian $-45^{\circ} / 45^{\circ}$



5. Varian *dootrim*



6. Varian *Epoxy 100%*



Lampiran 6. Spesimen hasil pengujian tarik

1. Varian $45^0 / 45^0$

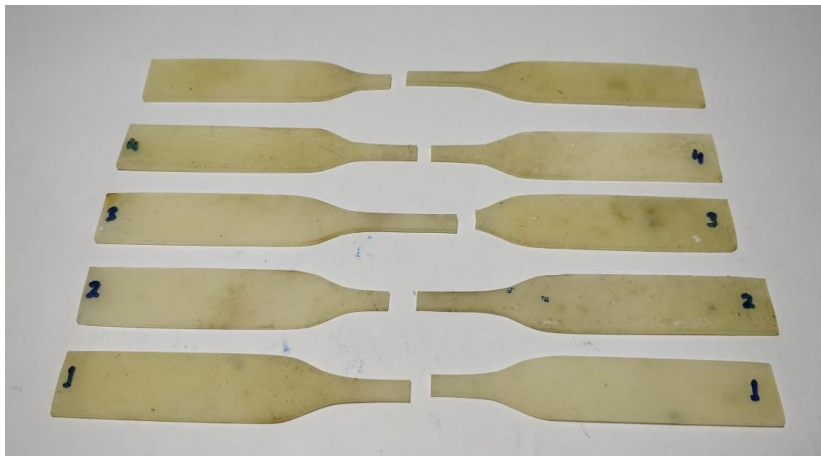


2. Varian $90^0 / 90^0$



3. Varian $45^0 / 90^0$

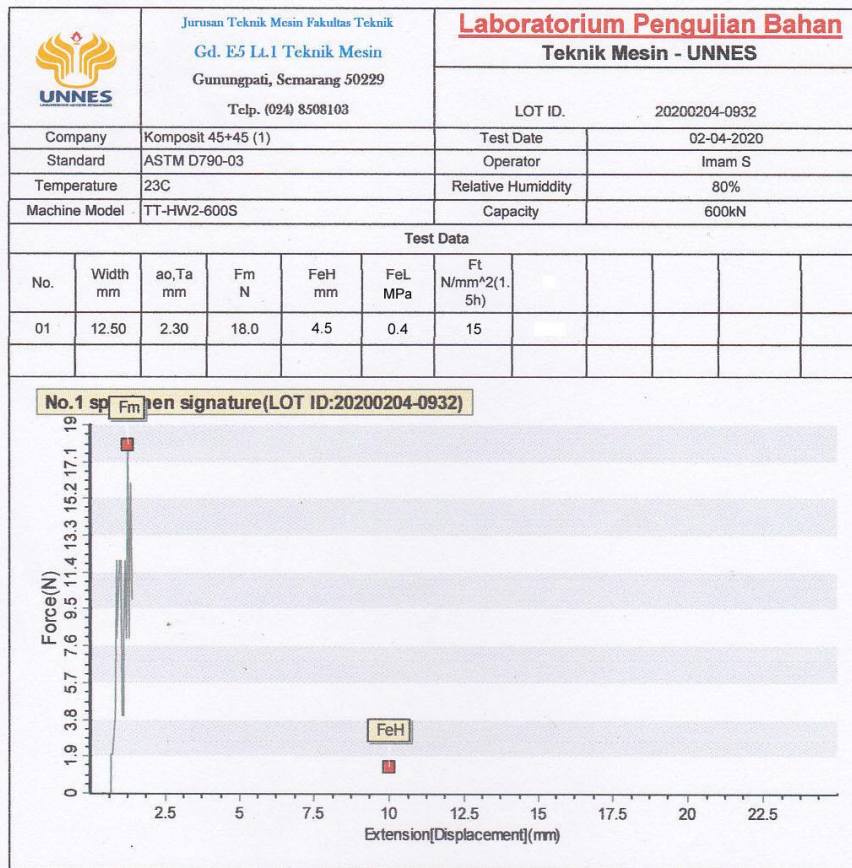


4. Varian $-45^{\circ} / 45^{\circ}$ 5. Varian *Doortrim*6. Varian *Epoxy* 100%

Lampiran 7. Print out hasil pengujian bending

1. Varian 45⁰ / 45⁰

Spesimen 1

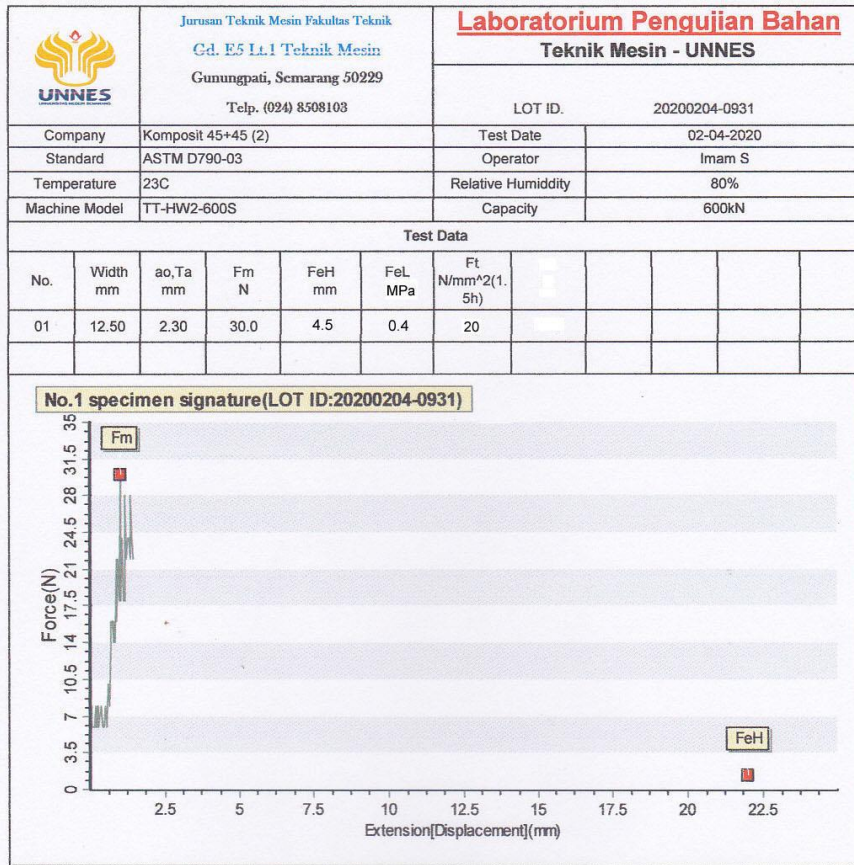


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 2

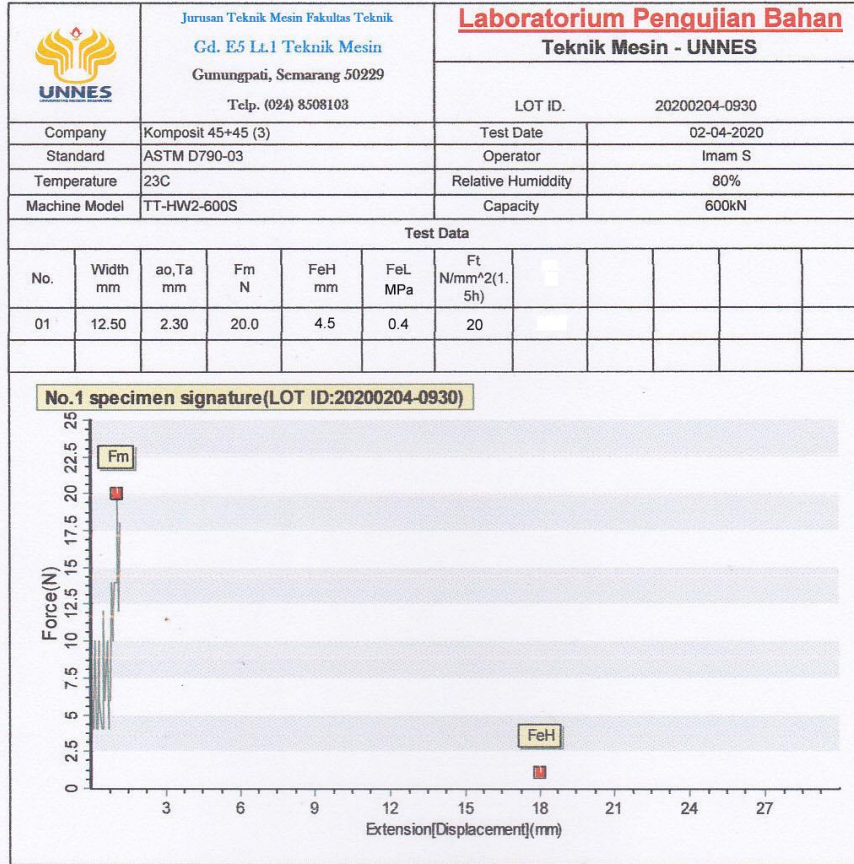


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



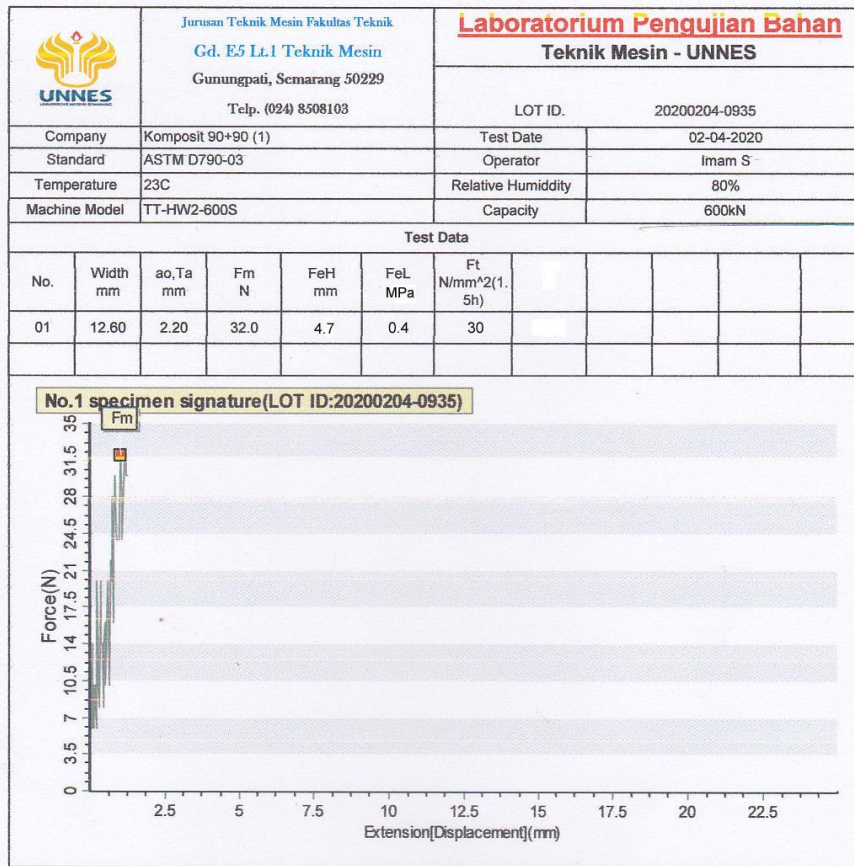
Operator:

QC:

Page 1

2. Varian 90⁰ / 90⁰

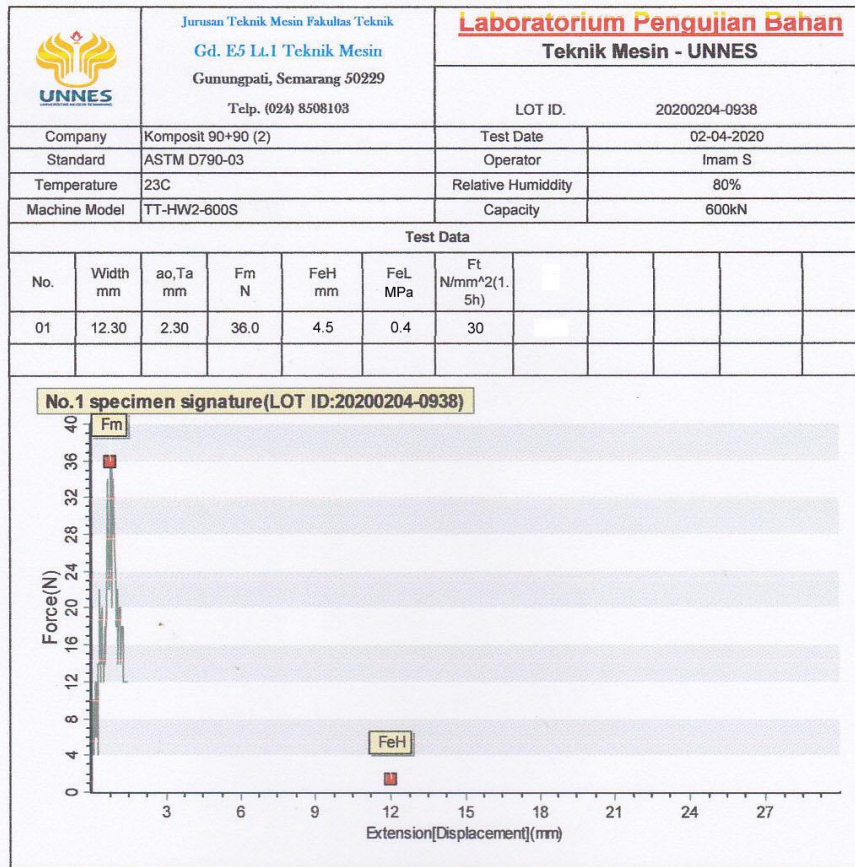
Spesimen 1



Operator:

QC:

Spesimen 2

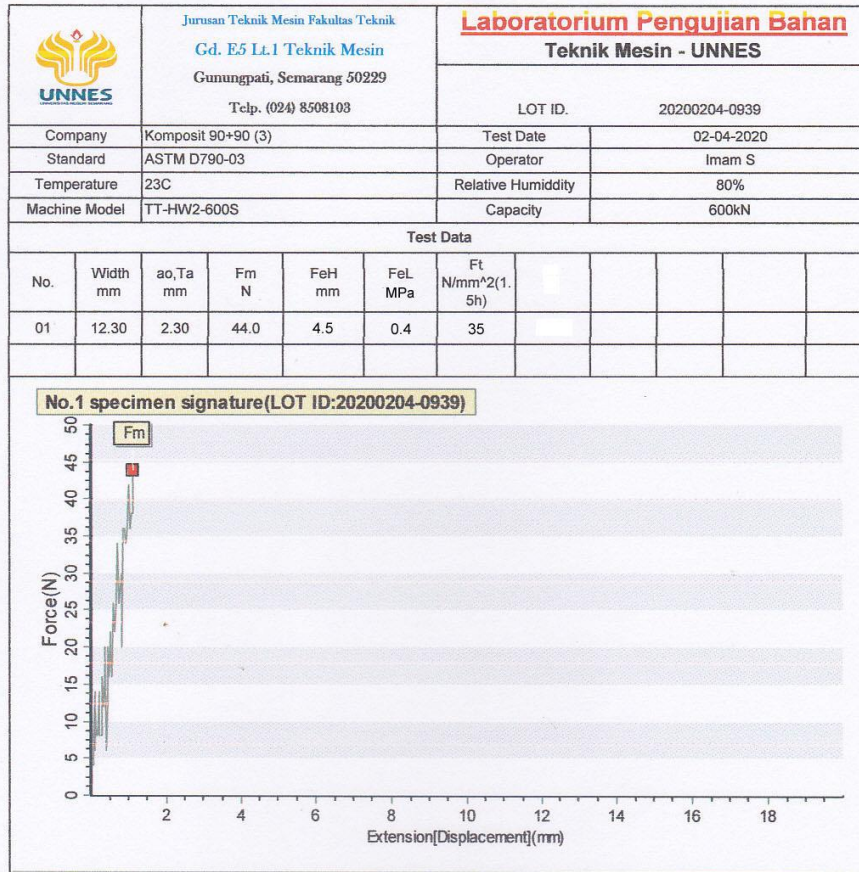


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



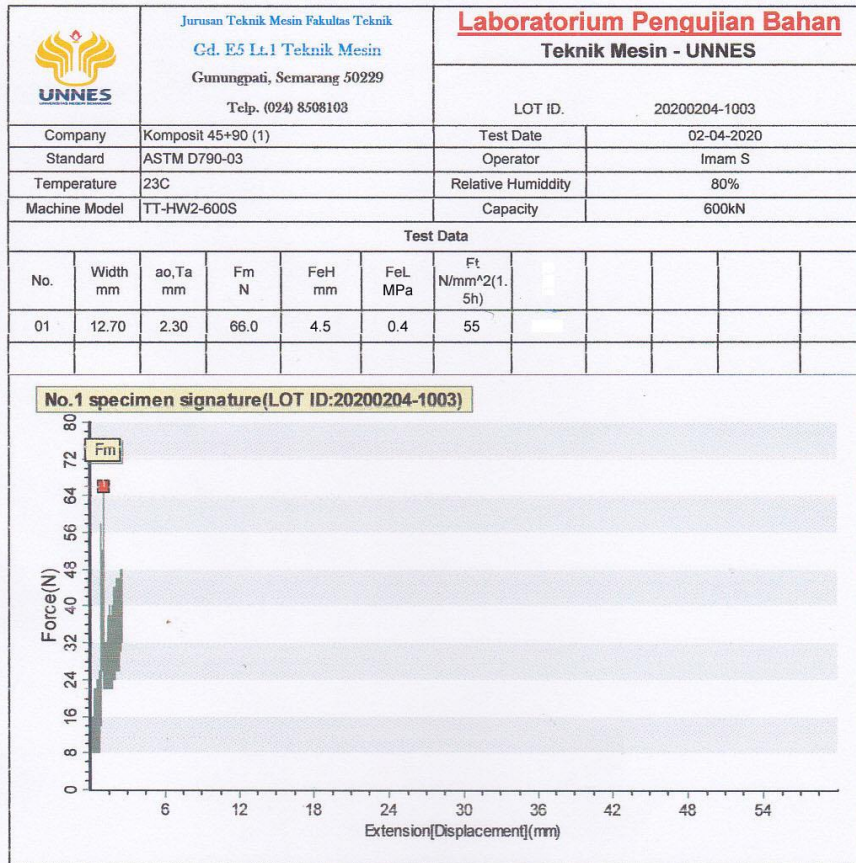
Operator:

QC:

Page 1

3. Varian 45⁰ / 90⁰

Spesimen 1

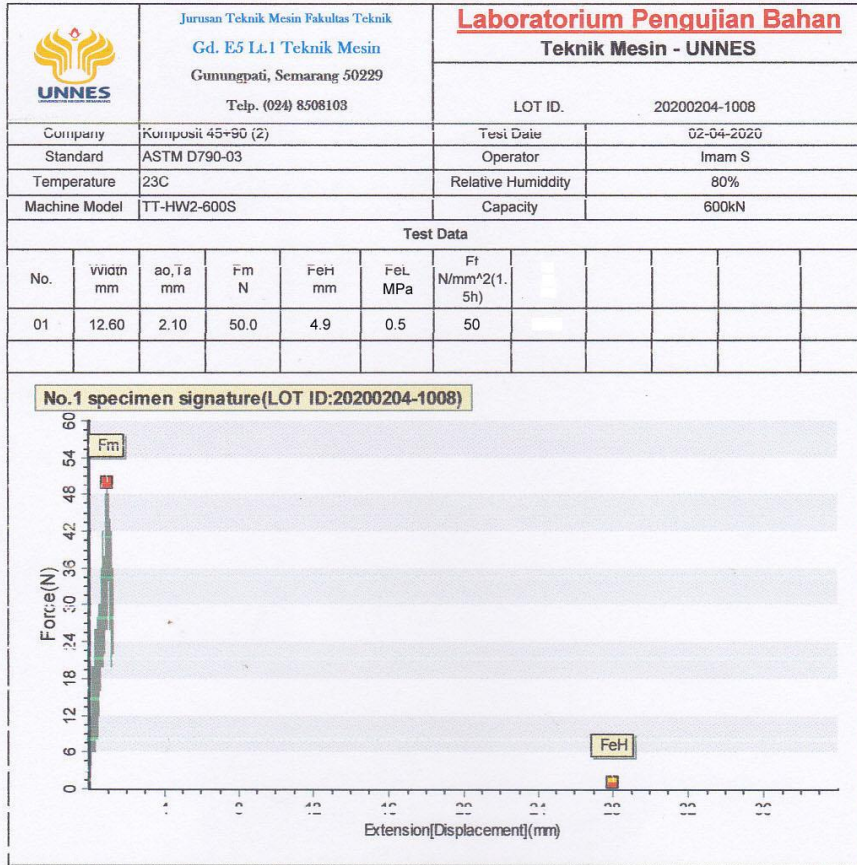


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 2

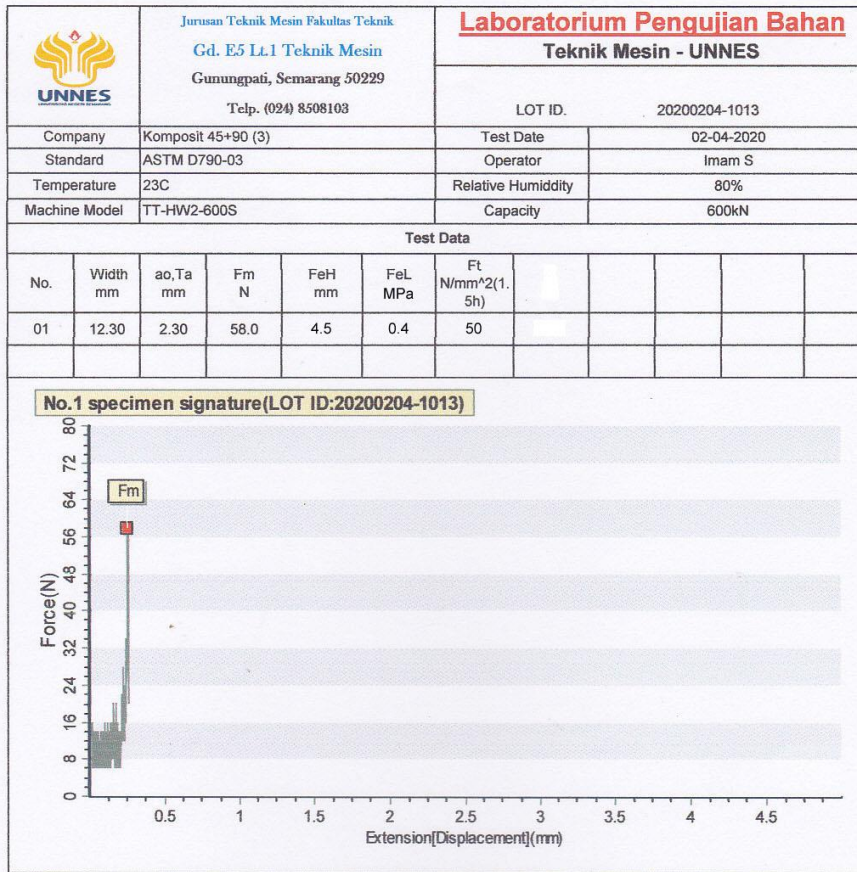


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



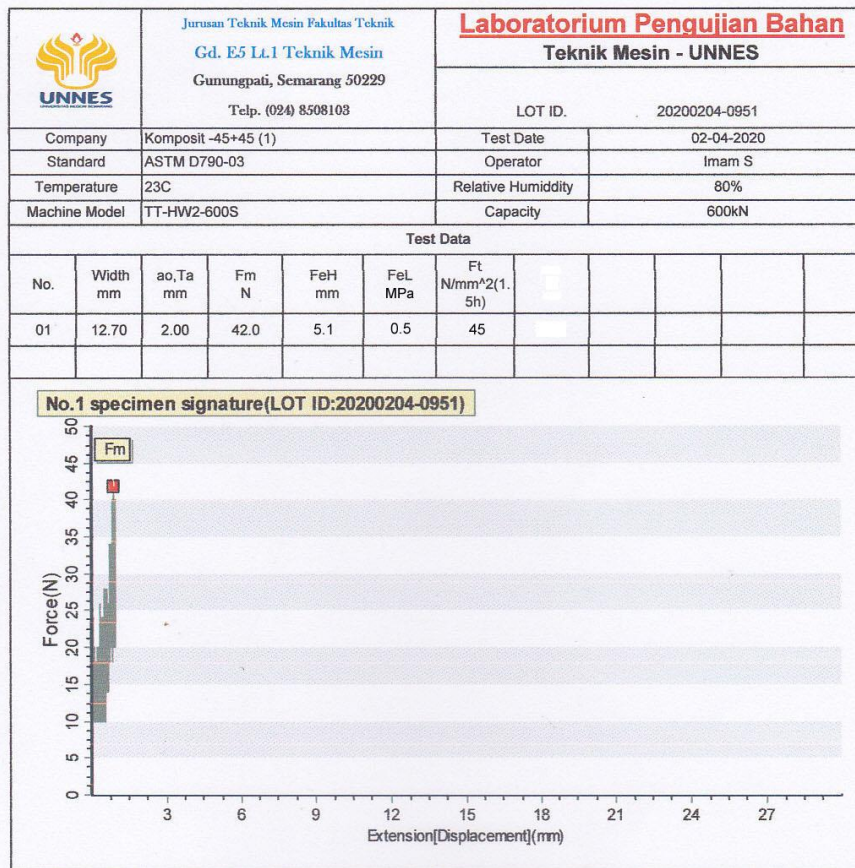
Operator:

QC:

Page 1

4. Varian $-45^0/45^0$

Spesimen 1

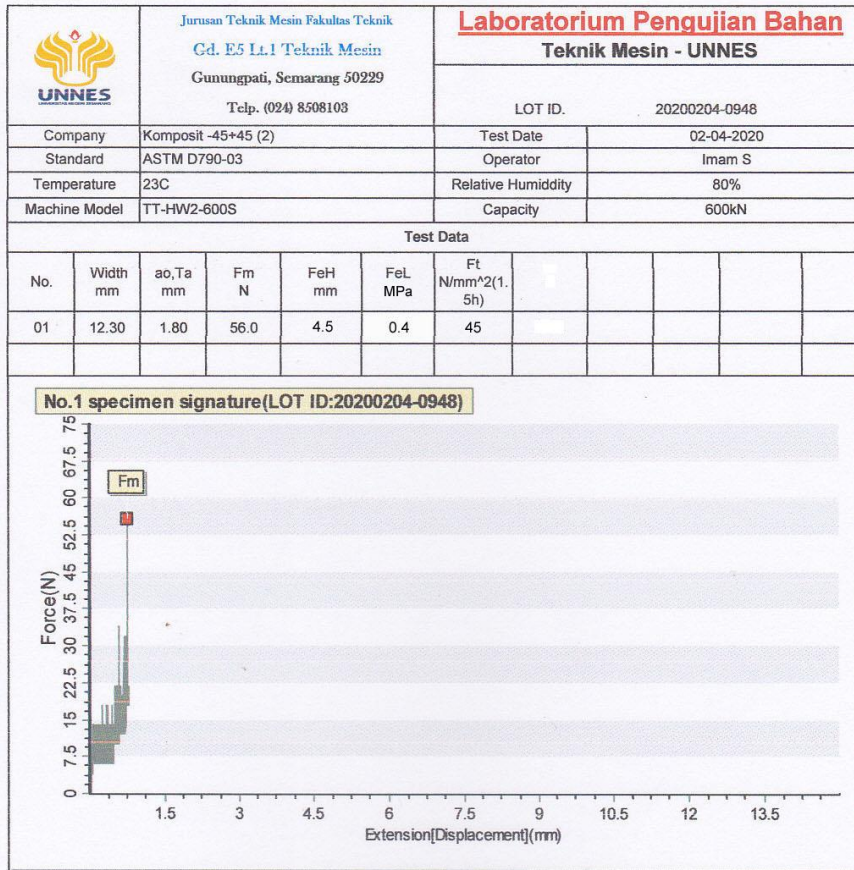


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 2

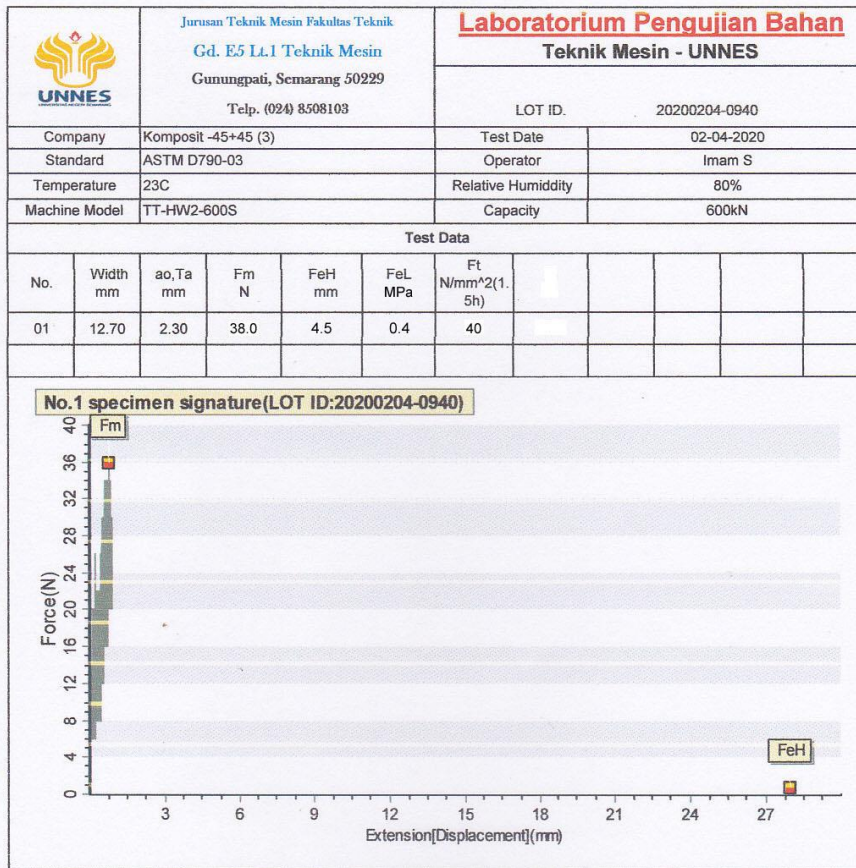


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



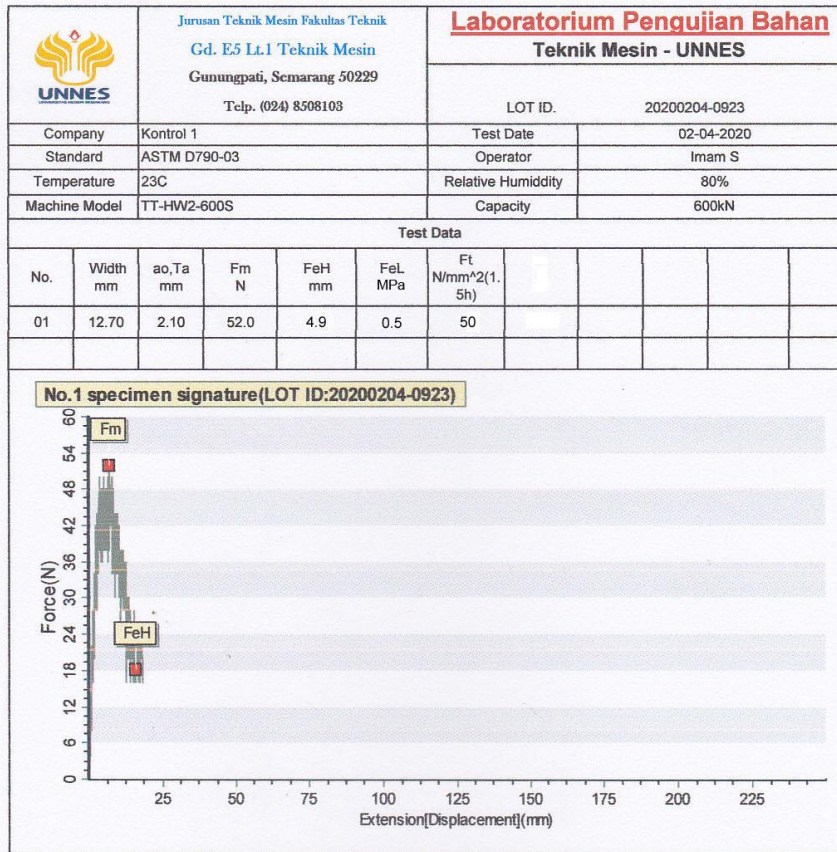
Operator:

QC:

Page 1

5. Varian Doortrim

Spesimen 1

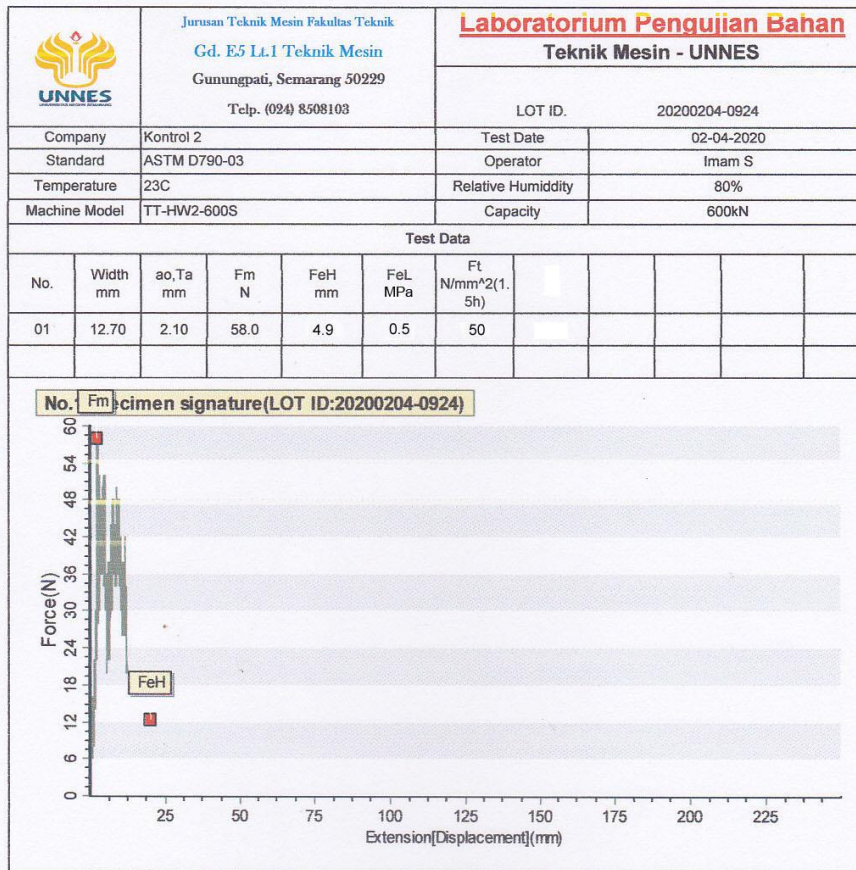


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 2

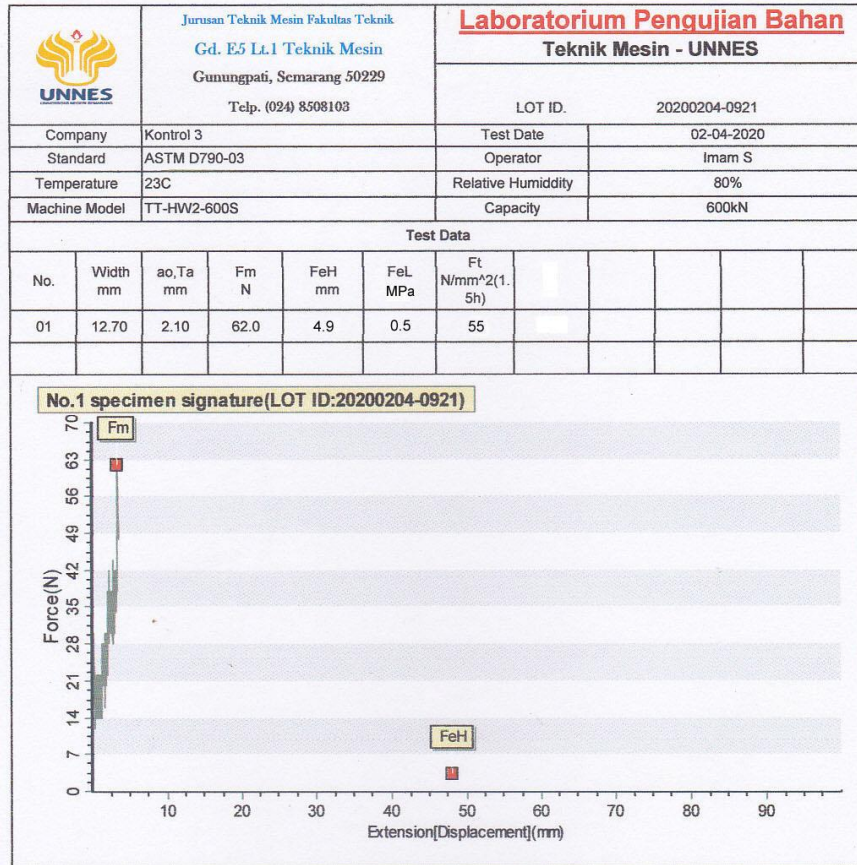


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



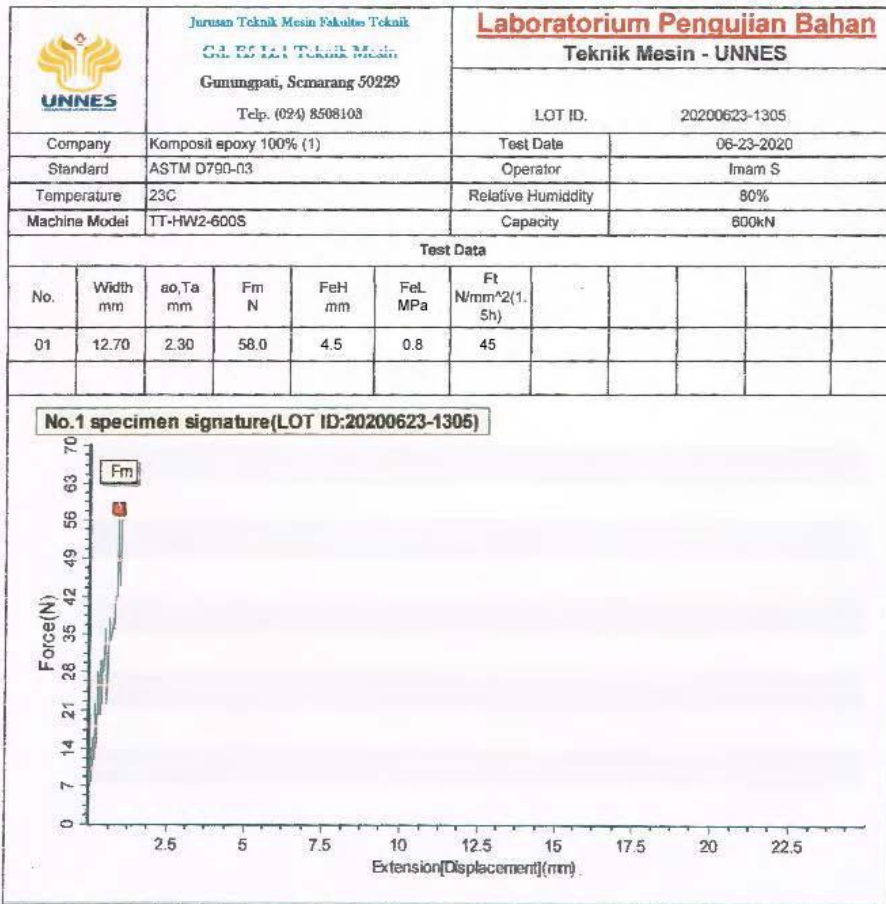
Operator:

QC:

Page 1

6. Varian Epoxy 100%

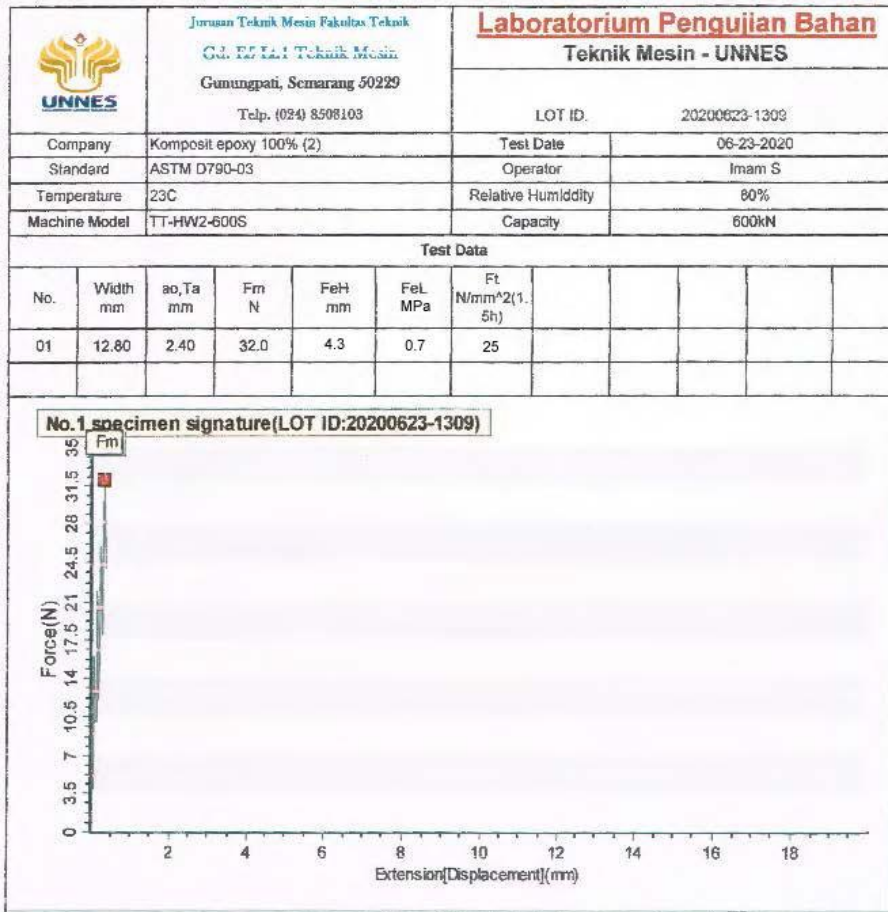
Spesimen 1



Operator:

QC:

Spesimen 2

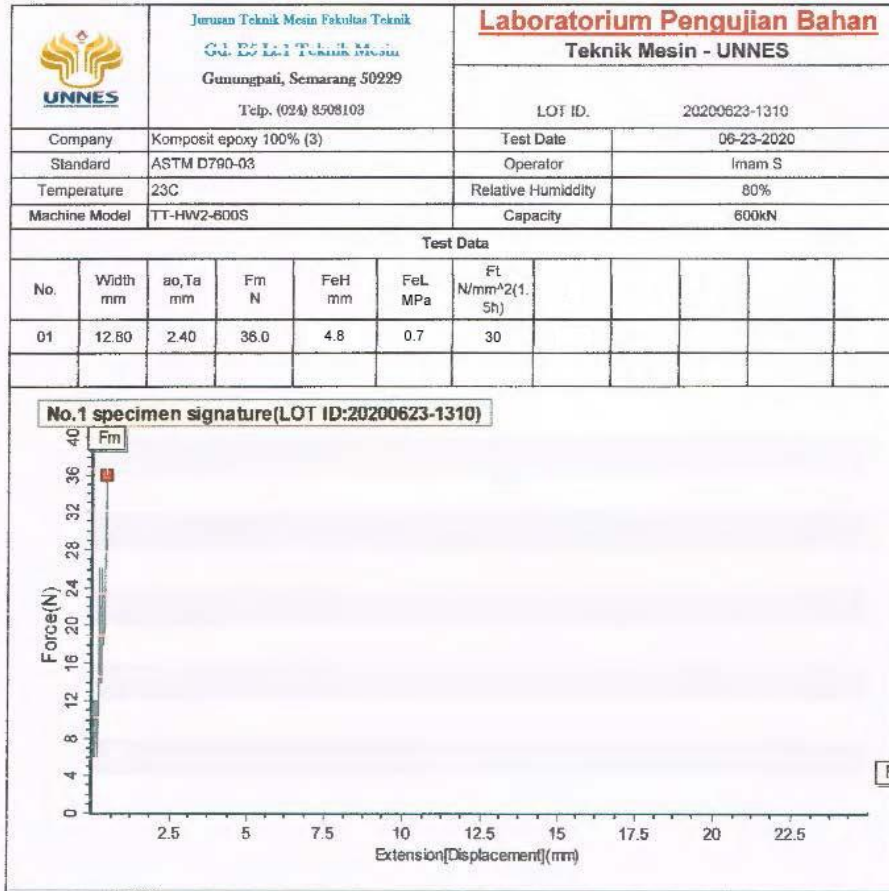


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



Operator:

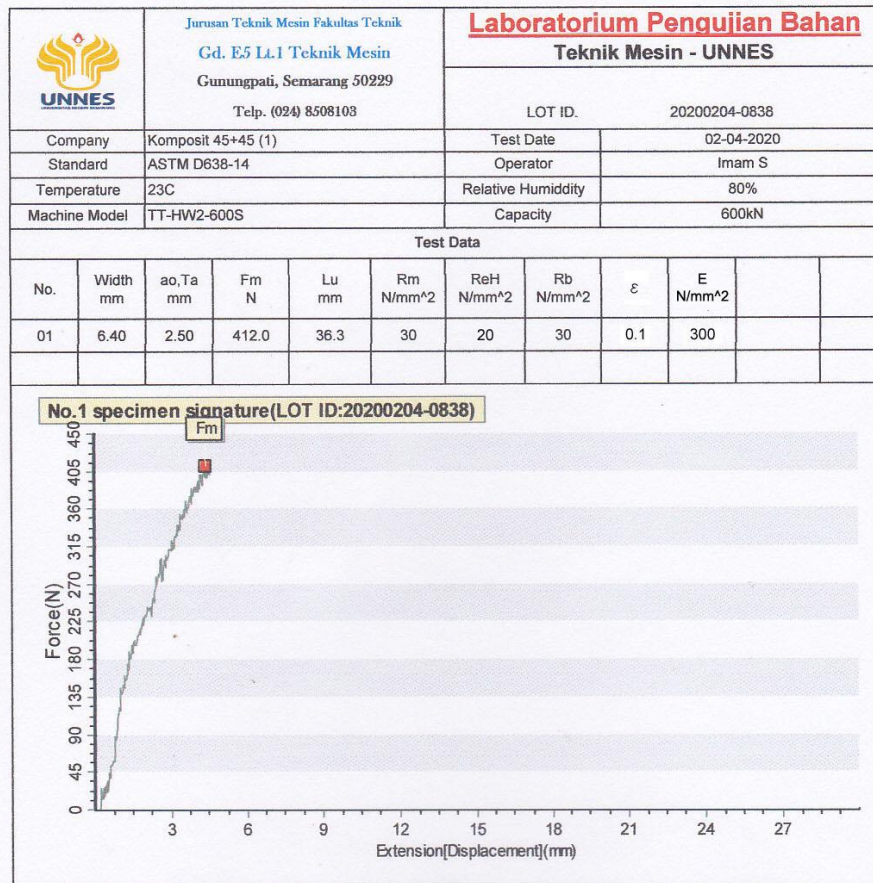
QC:

Page 1

Lampiran 8. Print out hasil pengujian tarik

1. Varian 45⁰ / 45⁰

Spesimen 1

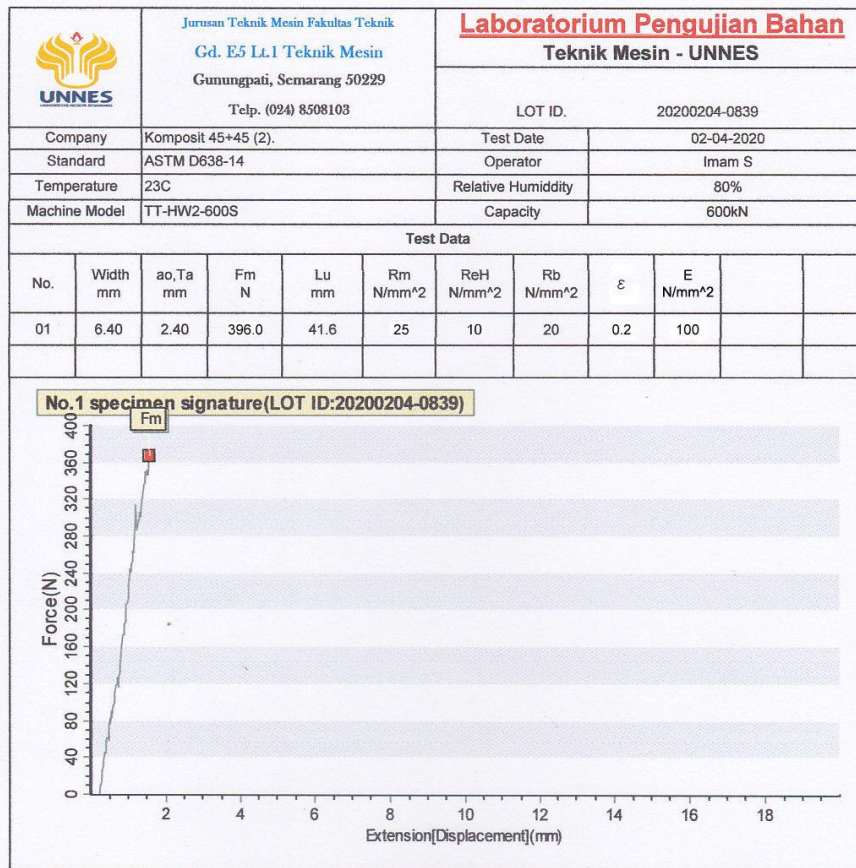


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 2

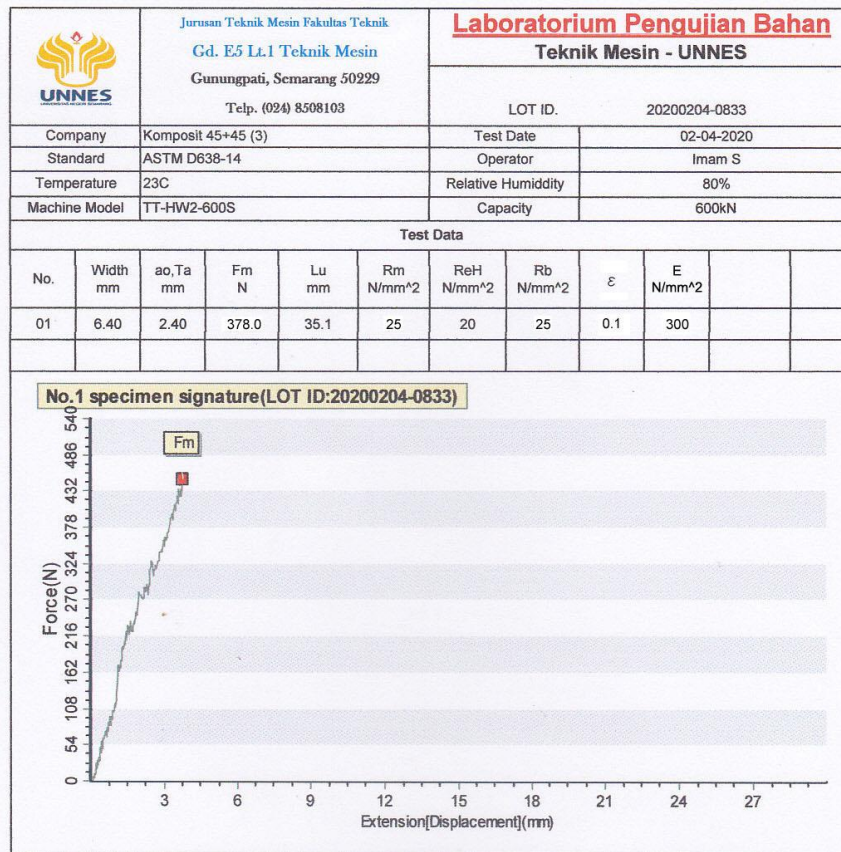


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



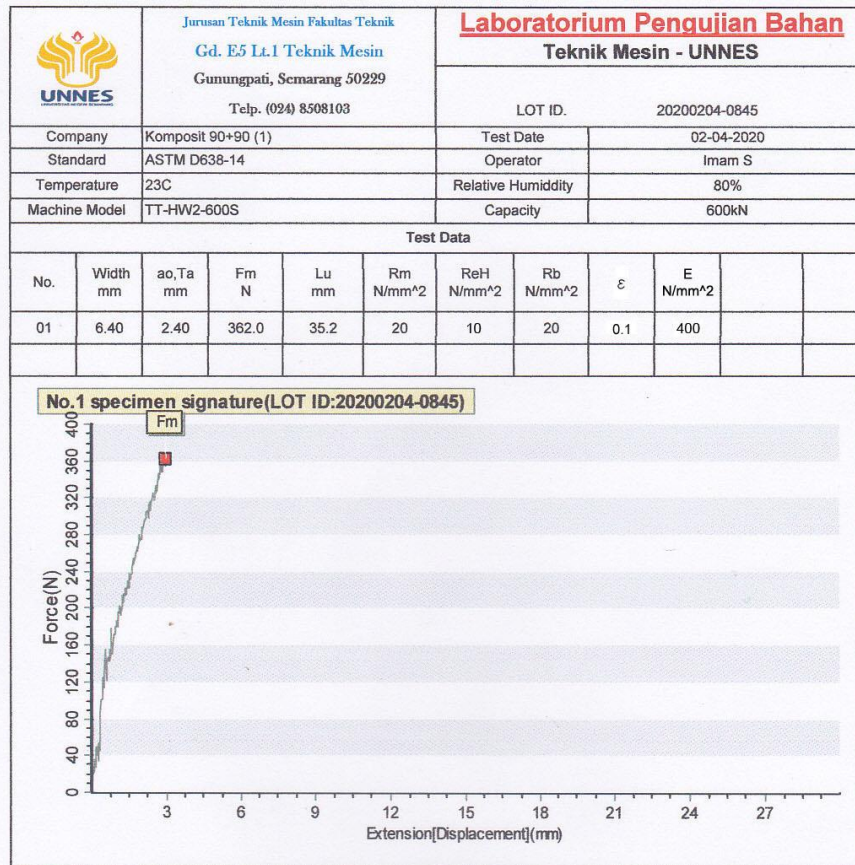
Operator:

QC:

Page 1

2. Varian 90⁰ / 90⁰

Spesimen 1

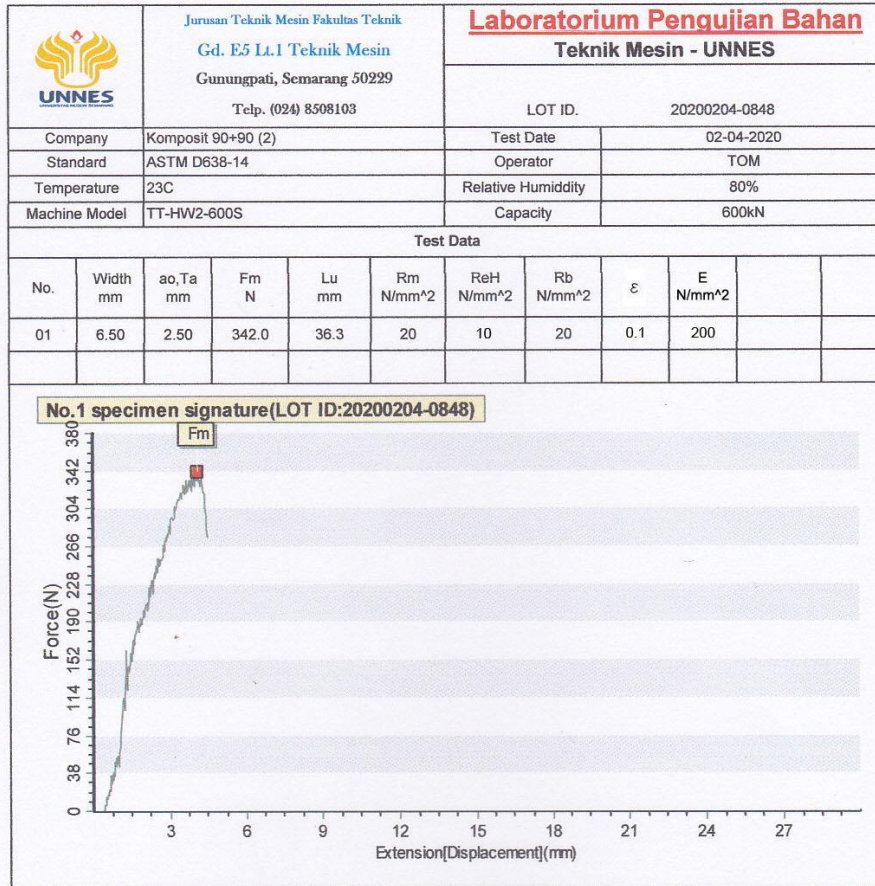


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 2

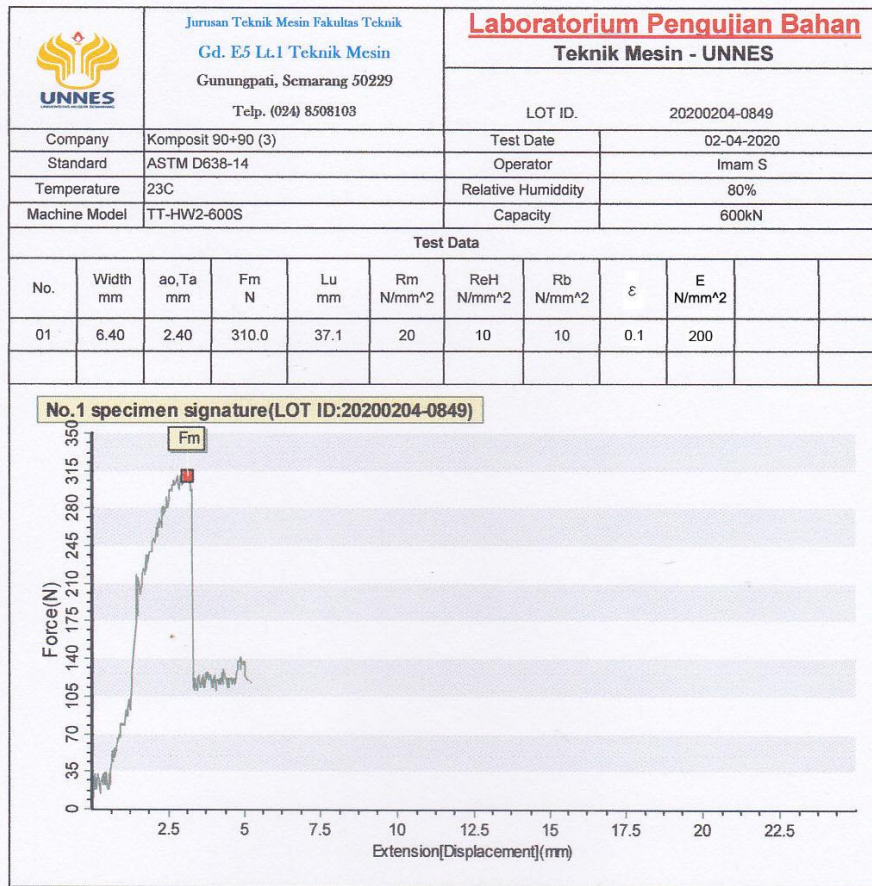


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



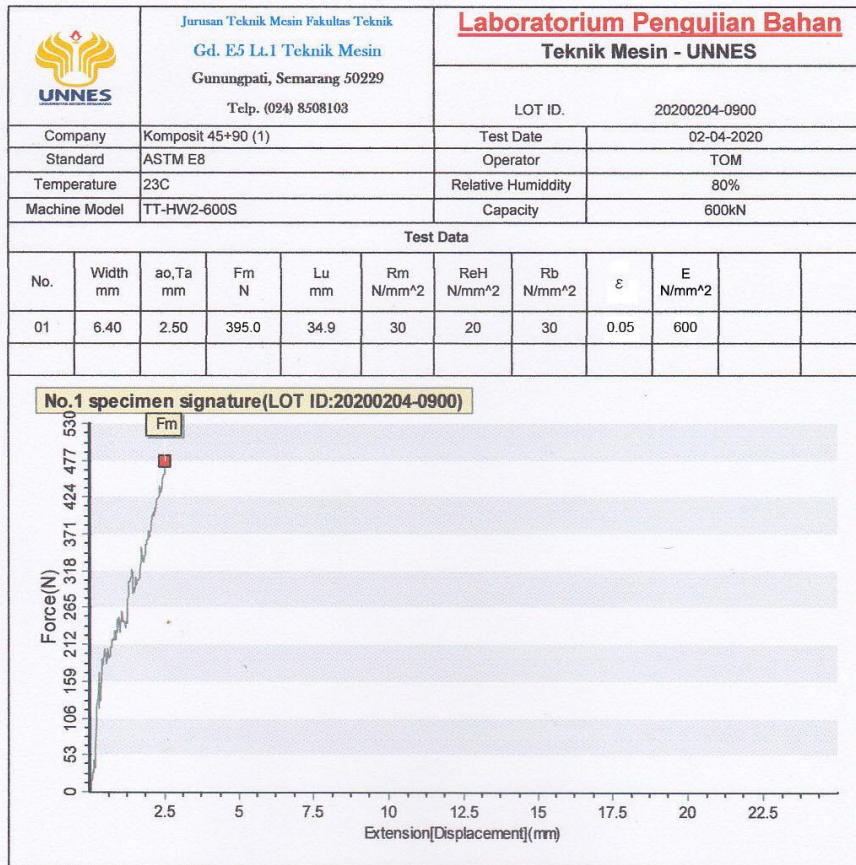
Operator:

QC:

Page 1

3. Varian 45⁰ / 90⁰

Spesimen 1

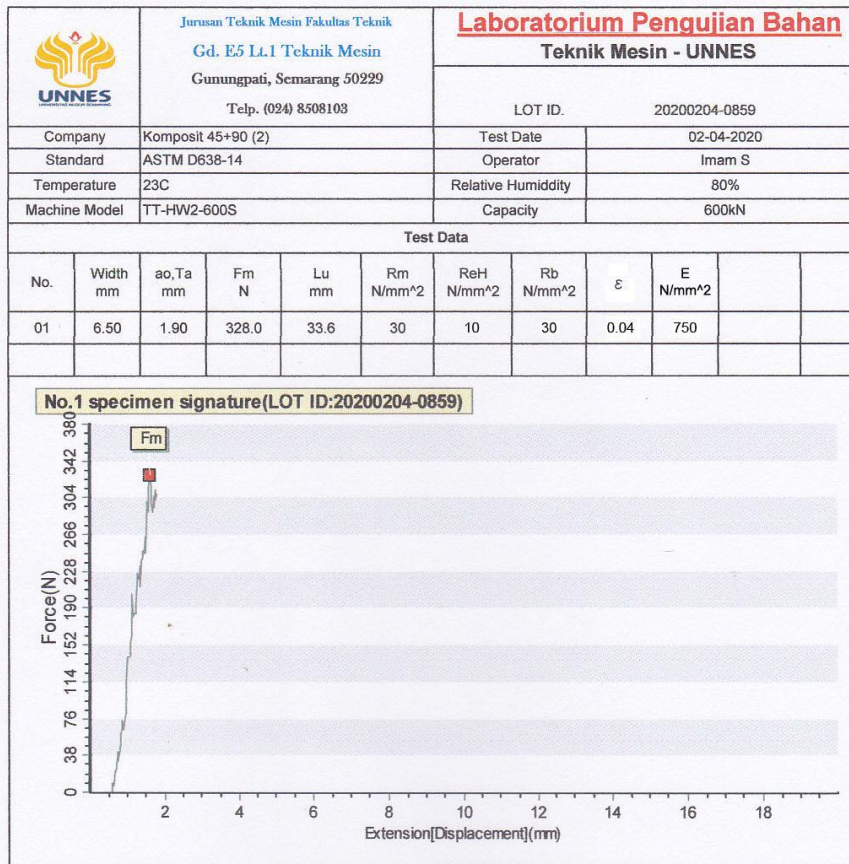


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 2

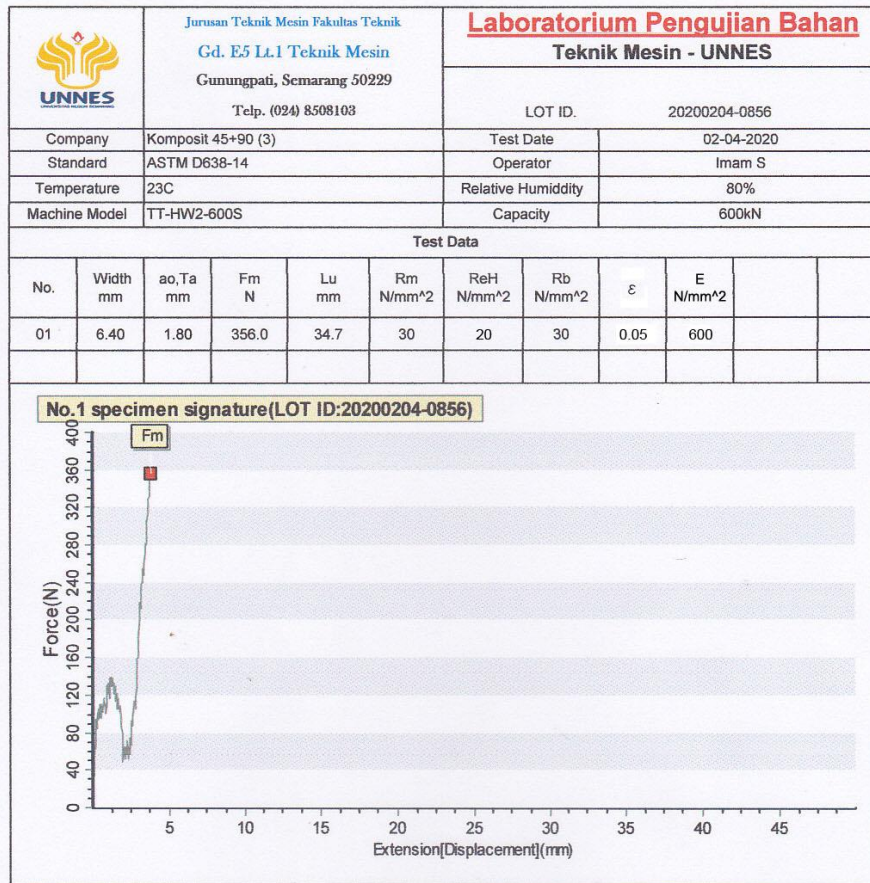


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3




Operator:

QC:

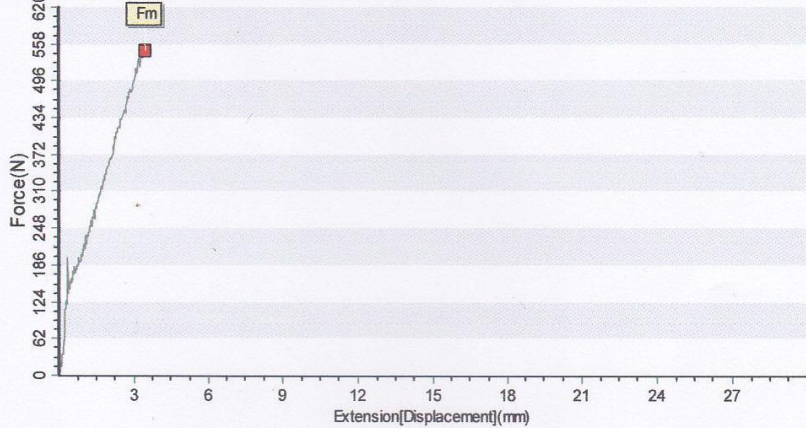
Page 1

4. Varian $-45^0 / 45^0$

Spesimen 1

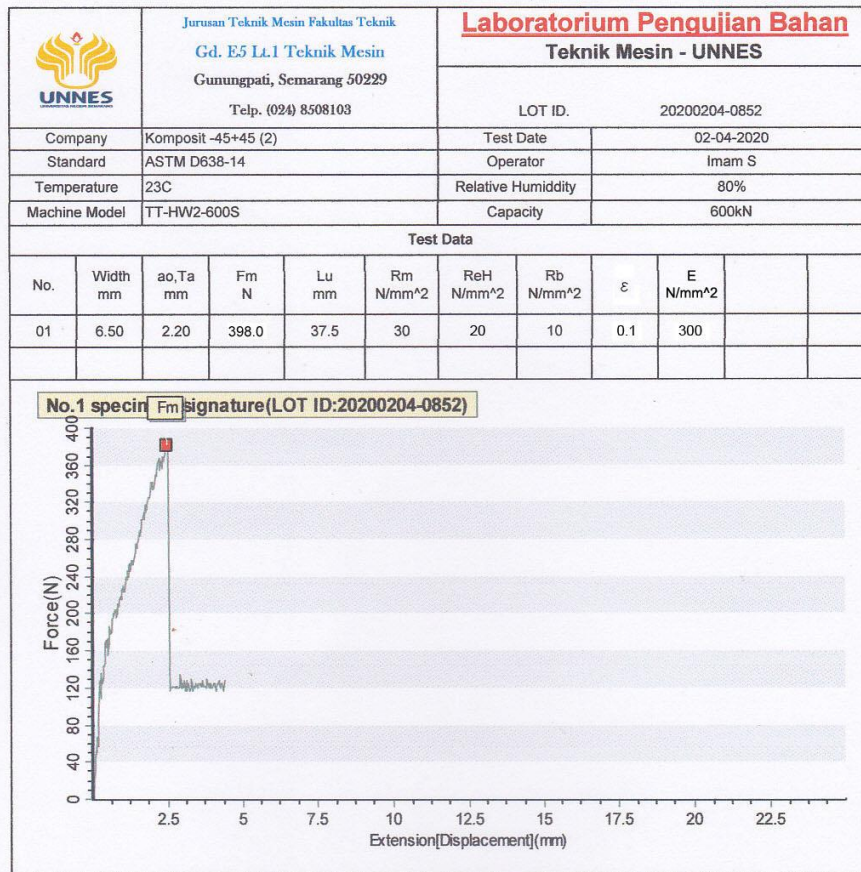
|  | Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 Lt.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103 | | Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin - UNNES | | | | | | | | |
|---|---|------------------------|--|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----|---------------------|--|--|
| | Company: Komposit -45+45 (1) | | LOT ID: 20200204-0854 | | | | | | | | |
| Standard: ASTM D638-14 | | Test Date: 02-04-2020 | | | | | | | | | |
| Temperature: 23C | | Operator: Imam S | | | | | | | | | |
| Machine Model: TT-HW2-600S | | Relative Humidity: 80% | | | | | | | | | |
| | | Capacity: 600kN | | | | | | | | | |
| Test Data | | | | | | | | | | | |
| No. | Width mm | ao, Ta mm | Fm N | Lu mm | Rm N/mm ² | ReH N/mm ² | Rb N/mm ² | ε | E N/mm ² | | |
| 01 | 6.40 | 2.40 | 427.0 | 35.0 | 35 | 25 | 35 | 0.1 | 800 | | |

No.1 specimen signature (LOT ID:20200204-0854)



Operator: _____ QC: _____ Page 1

Spesimen 2

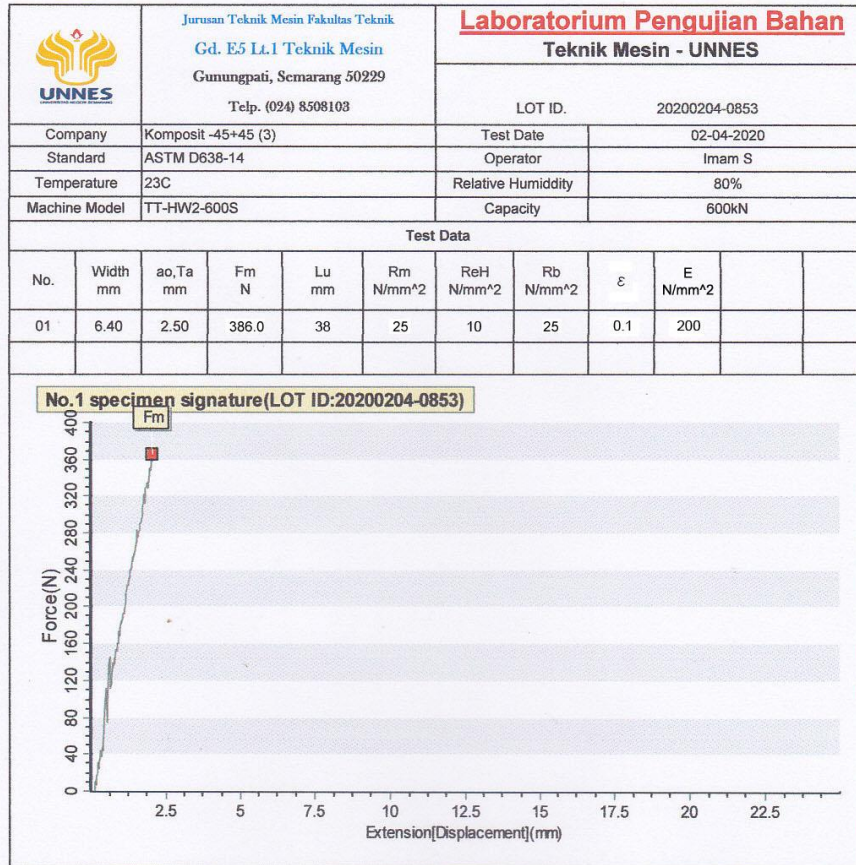


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



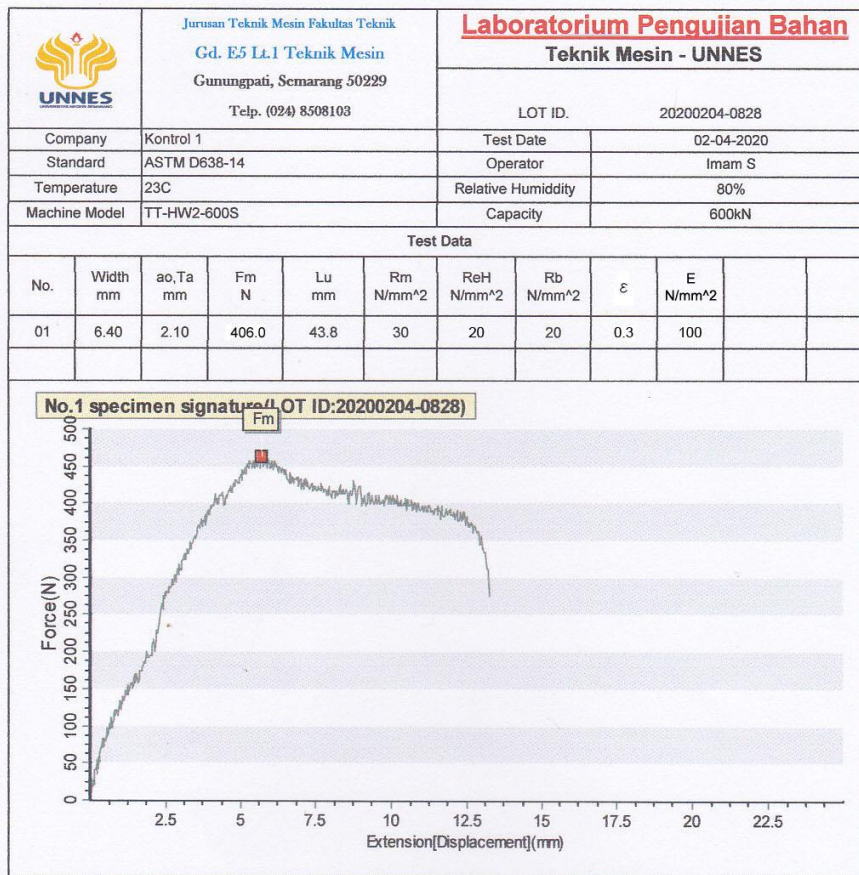
Operator:

QC:

Page 1

5. Varian Doortrim

Spesimen 1

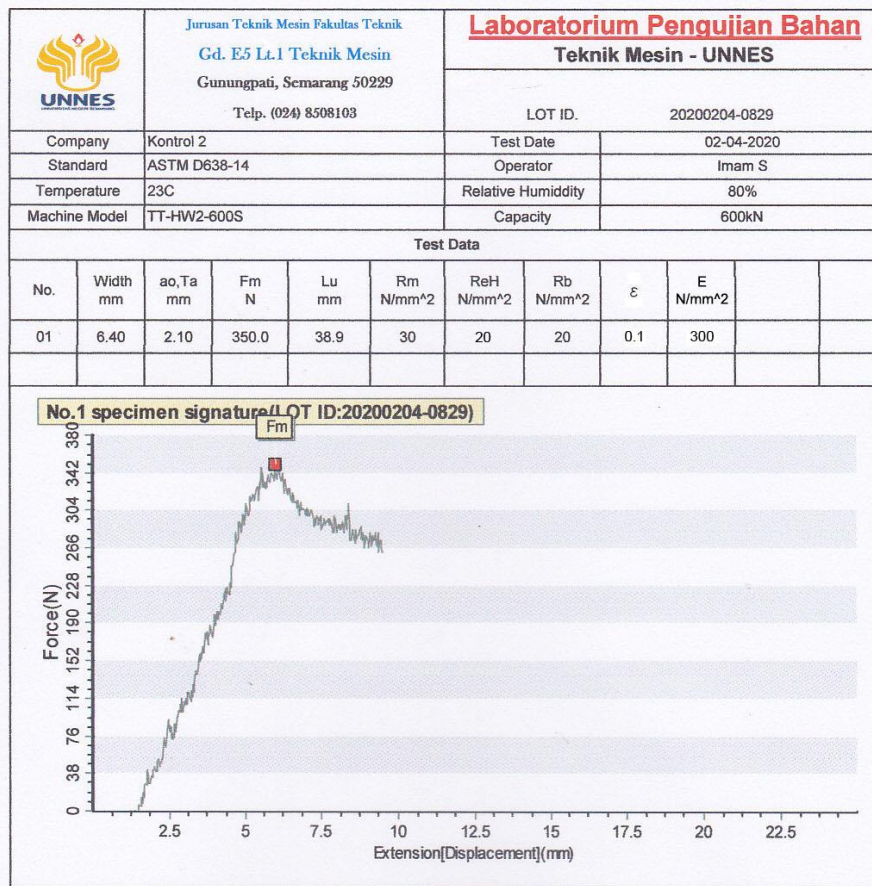


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 2

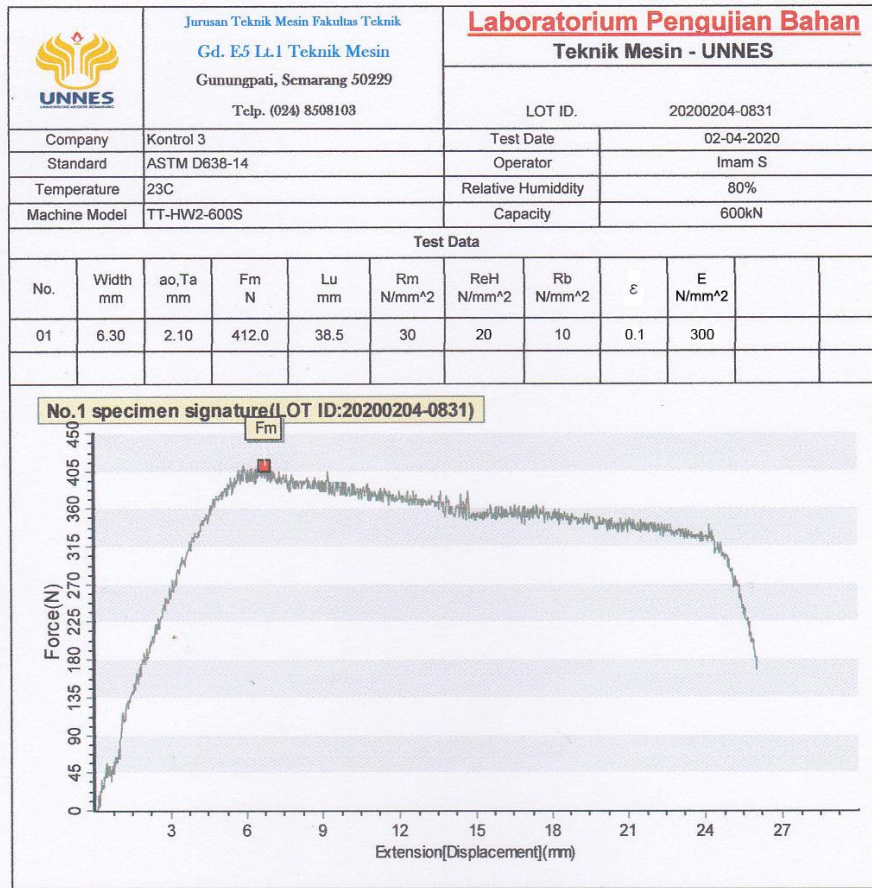


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



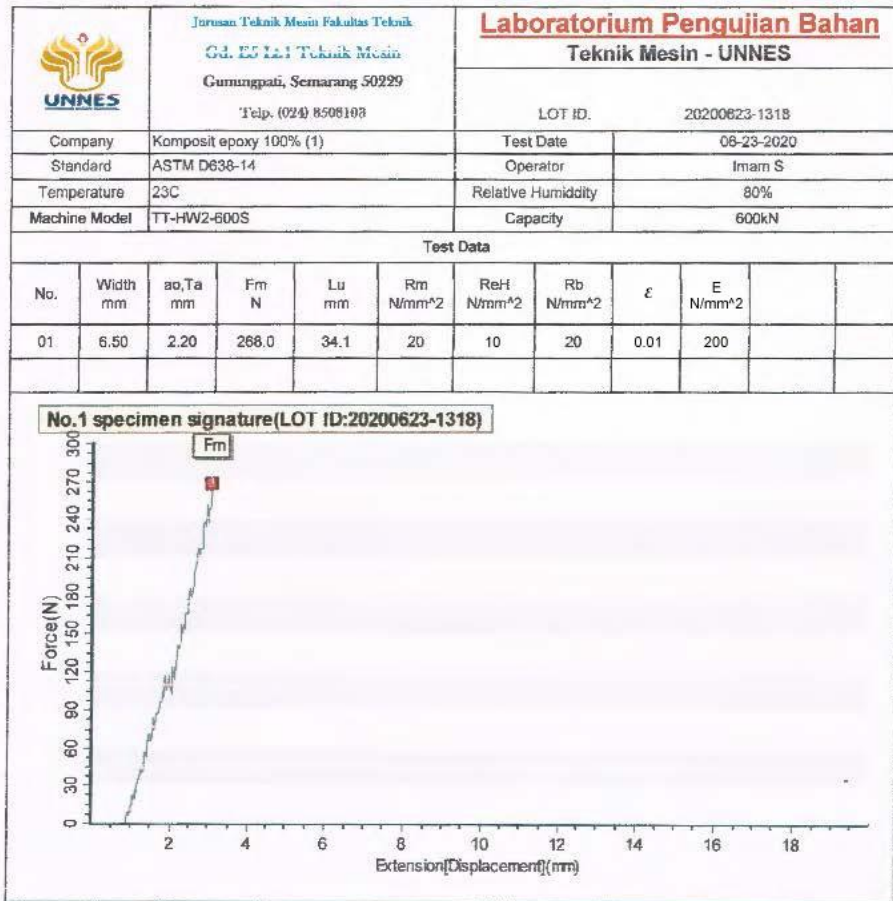
Operator:

QC:

Page 1

6. Varian epoxy 100%

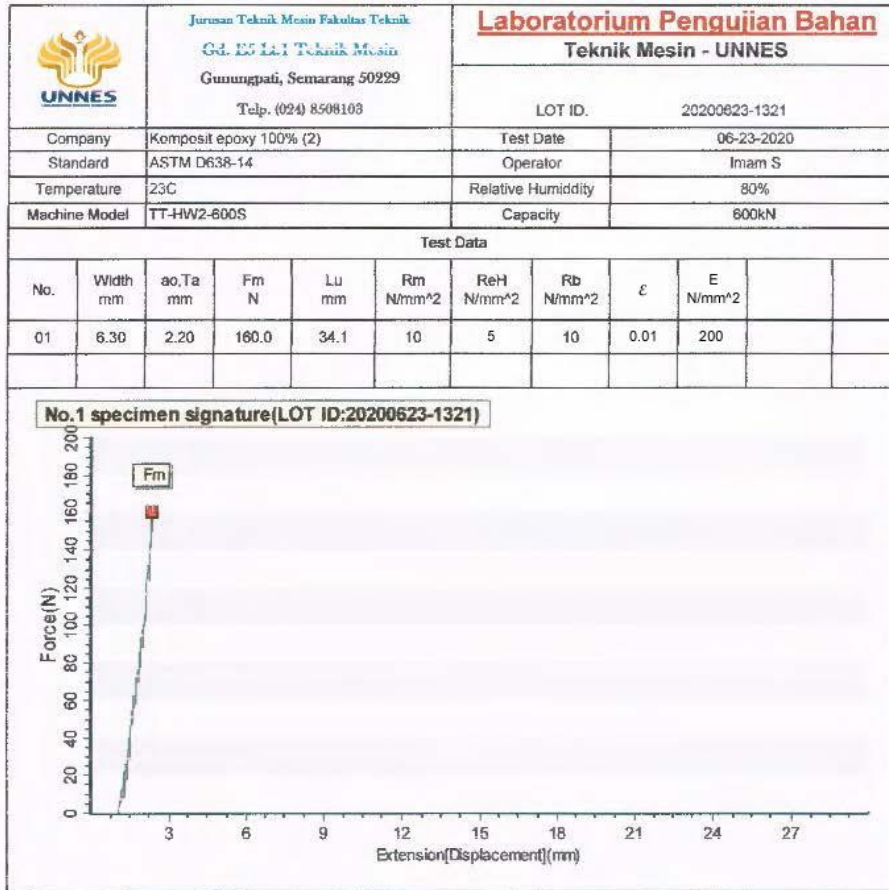
Spesimen 1



Operator:

QC:

Spesimen 2

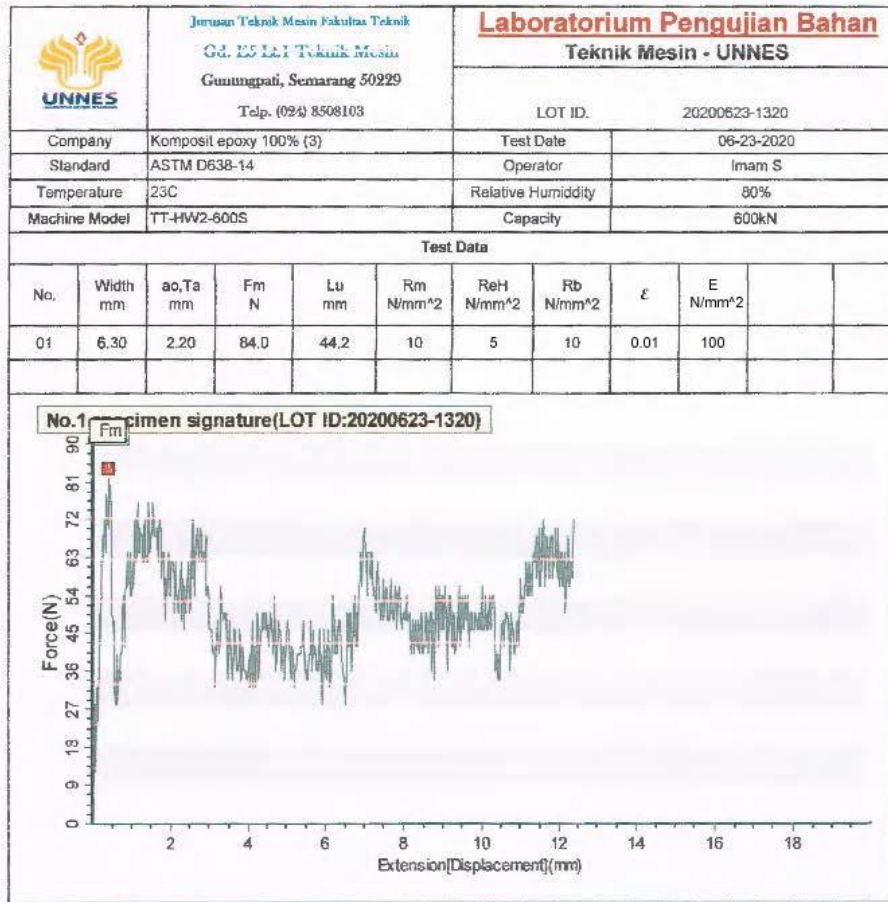


Operator:

QC:

Page 1

Spesimen 3



Operator:

QC:

Page 1

Lampiran 9. Tabel Data Pengujian *Bending*

| Varian | Spesimen | Dimensi (mm) | | | P (N) | δ (mm) | E (MPa) | σ (MPa) |
|------------------------|-----------|--------------|------|-----|----------|------------------|------------|-------------------|
| | | L | b | h | | | | |
| <i>Doortrim</i> | 1 | 35,2 | 12,7 | 2,1 | 52 | 4,9 | 0,5 | 50 |
| | 2 | 35,2 | 12,7 | 2,1 | 58 | 4,9 | 0,5 | 50 |
| | 3 | 35,2 | 12,7 | 2,1 | 62 | 4,9 | 0,5 | 55 |
| | Rata-rata | | | | 57,3 | 4,9 | 0,5 | 51,7 |
| Komposit 45° / 45° | 1 | 35,2 | 12,5 | 2,3 | 18 | 4,5 | 0,4 | 15 |
| | 2 | 35,2 | 12,5 | 2,3 | 30 | 4,5 | 0,4 | 20 |
| | 3 | 35,2 | 12,5 | 2,3 | 20 | 4,5 | 0,4 | 15 |
| | Rata-rata | | | | 22,7 | 4,5 | 0,4 | 16,6 |
| Komposit 90° / 90° | 1 | 35,2 | 12,6 | 2,2 | 32 | 4,7 | 0,4 | 30 |
| | 2 | 35,2 | 12,3 | 2,3 | 36 | 4,5 | 0,4 | 30 |
| | 3 | 35,2 | 12,3 | 2,3 | 44 | 4,5 | 0,4 | 35 |
| | Rata-rata | | | | 37,3 | 4,6 | 0,4 | 31,7 |
| Komposit -45° / 45° | 1 | 35,2 | 12,7 | 2,0 | 42 | 5,1 | 0,5 | 45 |
| | 2 | 35,2 | 12,3 | 2,3 | 56 | 4,5 | 0,4 | 45 |
| | 3 | 35,2 | 12,7 | 2,0 | 38 | 4,5 | 0,4 | 40 |
| | Rata-rata | | | | 45,3 | 4,7 | 0,4 | 43,3 |
| Komposit 45° / 90° | 1 | 35,2 | 12,7 | 2,3 | 66 | 4,5 | 0,4 | 55 |
| | 2 | 35,2 | 12,6 | 2,1 | 50 | 4,9 | 0,5 | 50 |
| | 3 | 35,2 | 12,3 | 2,3 | 58 | 4,5 | 0,4 | 50 |
| | Rata-rata | | | | 58 | 4,6 | 0,4 | 51,7 |
| <i>Epoxy</i> 100% | 1 | 35,2 | 12,7 | 2,3 | 58 | 4,5 | 0,8 | 45 |
| | 2 | 35,2 | 12,8 | 2,4 | 32 | 4,3 | 0,7 | 25 |
| | 3 | 35,2 | 12,8 | 2,4 | 36 | 4,8 | 0,7 | 30 |
| | Rata-rata | | | | 42 | 4,5 | 0,7 | 33,3 |

Lampiran 10. Tabel Data Pengujian Tarik

| Varian | Spesimen | Dimensi | | | P (N) | σ_y (MPa) | σ_u (MPa) | ϵ | E (GPa) |
|------------------------|-----------|------------|-------------------------|--------------------|----------|---------------------|---------------------|------------|------------|
| | | Lo (mm) | A (mm ²) | ΔL (mm) | | | | | |
| <i>Doortrim</i> | 1 | 33,5 | 13,4 | 10,3 | 406 | 20 | 30 | 0,3 | 0,1 |
| | 2 | 33,5 | 13,4 | 5,4 | 350 | 20 | 30 | 0,1 | 0,3 |
| | 3 | 33,5 | 13,2 | 5,0 | 412 | 20 | 30 | 0,1 | 0,3 |
| | Rata-rata | | | | 389 | 20 | 30 | 0,2 | 0,2 |
| Komposit 45° / 45° | 1 | 33,5 | 16,0 | 2,8 | 412 | 20 | 30 | 0,1 | 0,3 |
| | 2 | 33,5 | 15,4 | 8,1 | 396 | 20 | 25 | 0,2 | 0,1 |
| | 3 | 33,5 | 15,4 | 1,6 | 378 | 20 | 25 | 0,1 | 0,3 |
| | Rata-rata | | | | 395 | 20 | 26,6 | 0,1 | 0,2 |
| Komposit 90° / 90° | 1 | 33,5 | 15,4 | 1,7 | 362 | 10 | 20 | 0,1 | 0,4 |
| | 2 | 33,5 | 16,3 | 2,8 | 342 | 10 | 20 | 0,1 | 0,2 |
| | 3 | 33,5 | 15,4 | 3,6 | 310 | 10 | 20 | 0,1 | 0,2 |
| | Rata-rata | | | | 338 | 10 | 20 | 0,1 | 0,3 |
| Komposit -45° / 45° | 1 | 33,5 | 15,4 | 1,5 | 427 | 30 | 35 | 0,1 | 0,8 |
| | 2 | 33,5 | 14,3 | 3,5 | 398 | 20 | 30 | 0,1 | 0,3 |
| | 3 | 33,5 | 16,0 | 4,5 | 386 | 25 | 25 | 0,1 | 0,2 |
| | Rata-rata | | | | 403 | 25 | 30 | 0,1 | 0,4 |
| Komposit 45° / 90° | 1 | 33,5 | 16,0 | 1,4 | 395 | 20 | 30 | 0,05 | 0,6 |
| | 2 | 33,5 | 12,4 | 1,1 | 328 | 10 | 30 | 0,04 | 0,7 |
| | 3 | 33,5 | 11,5 | 1,2 | 356 | 20 | 30 | 0,05 | 0,6 |
| | Rata-rata | | | | 359 | 16,6 | 30 | 0,05 | 0,6 |
| <i>Epoxy</i> 100% | 1 | 33,5 | 14,3 | 0,6 | 268 | 10 | 20 | 0,01 | 0,2 |
| | 2 | 33,5 | 13,8 | 0,6 | 160 | 10 | 15 | 0,01 | 0,2 |
| | 3 | 33,5 | 13,8 | 0,7 | 184 | 10 | 10 | 0,01 | 0,1 |
| | Rata-rata | | | | 204 | 10 | 15 | 0,01 | 0,2 |