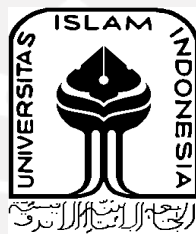


**PEMANFAATAN SERAT ECENG GONDOK UNTUK
PEMBUATAN *SHIN GUARDS CUSTOMIZABLE***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh:

Nama : Moh. Yasir Amri

No. Mahasiswa : 16525055

NIRM : 2016060865

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2021

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya Moh. Yasir Amri menyatakan bahwa tugas akhir yang berjudul “Pemanfaatan Serat Eceng Gondok Untuk Pembuatan *Shin Guards Customizable*” adalah karya yang saya tulis dan susun dengan tangan saya sendiri serta dengan kesadaran penuh. Dengan ini menyatakan dengan sungguh-sungguh dan tanpa adanya paksaan dari pihak manapun, bahwa di dalam tugas akhir saya tidak ada karya orang lain yang saya salinan dan/atau tiru. Apabila dikemudian hari pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai hukum yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 20 November 2021



Moh. Yasir Amri

16525055

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMANFAATAN SERAT ECENG GONDOK UNTUK
PEMBUATAN *SHIN GUARDS CUSTOMIZABLE***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Moh. Yasir Amri

No. Mahasiswa : 16525055

NIRM : 2016060865

Yogyakarta, 19 November 2021

Pembimbing I,



Faisal Arif Nurgesang, ST, M. Sc.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PEMANFAATAN SERAT ECENG GONDOK UNTUK
PEMBUATAN *SHIN GUARDS CUSTOMIZABLE***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Moh. Yasir Amri

No. Mahasiswa : 16525055

NIRM : 2016060865

Tim Penguji

Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc.

Ketua

Tanggal : 03 Desember 2021

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.

Anggota I

Tanggal : 29 November 2021

Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng., Ph.D.

Anggota II

Tanggal : 02 Desember 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk agama, bangsa, dan negara, penuntut ilmu serta sebagai penghargaan bagi diri saya sendiri karena mampu melewati semua ini

Teruntuk kedua orang tua saya yang tercinta, kakak-kakak saya dan sahabat saya yang selalu mendoakan, dan membimbing saya dalam berproses, serta berkembang dalam menuntut ilmu yang bermanfaat dan barokah ini.

Untuk siapapun yang memberikan pengalaman dan ilmu di dalam kehidupan saya semoga Allah Subhanahu wa Ta'ala membalasnya dengan balasan yang terbaik.

Semoga kita semua sukses di dunia dan akhirat nanti!



HALAMAN MOTTO

“Man Jadda Wa Jada”

(Barangsiapa yang bersungguh-sungguh, maka ia akan dapat)

Pepatah Arab

“Jika ingin hidup bahagia, jadilah orang yang qona’ah (menerima apa yang sudah diberikan Allah Subhanahu Wa Ta’ala)”

Moh. Yasir Amri

“Orang berhak berbicara tentang kita dan kita berhak untuk tidak mendengarkan”

Agnes Monica

“Jangan pernah ceritakan masalahmu kepada siapapun. 20% tidak peduli dan 80% lainnya senang anda punya masalah”

Lou Holtz

“Ilmu pengetahuan tanpa agama adalah pincang. Agama tanpa ilmu adalah buta”

Albert Einstein

“Al-Qur’an is not a book of SCIENCE, but a book of SIGNS”

Dr. Zakir Naik

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

QS. Al-Baqarah: 286

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi wa Barokatuh.

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, tuhan semesta alam yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah serta inayah-Nya sehingga kita selalu dalam kenikmatan iman dan islam. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan nabi agung kita, Nabi Muhammad Shalallahu 'alaihi Wa Salam yang telah mengantarkan kita semua ke jalan yang terang benderang.

Dengan pertolongan-Nya pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir ini telah selesai walaupun banyak kendala dan rintangan yang dihadapi oleh penulis selama penelitian tugas akhir ini. Penelitian tugas akhir yang disusun oleh penulis ini bertujuan untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) di Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tidak lupa ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah serta inayah-Nya dalam menjalani kehidupan di dunia dan akhirat.
2. Kedua orang tua saya yang telah membimbing, mengayomi dan memberi semangat serta doa kapanpun dan dimanapun.
3. Kakak-kakak saya yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada saya.
4. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng, selaku ketua program studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Bapak Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu membimbing, mengarahkan dan menasihati serta meluangkan waktunya dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Gus Rajif Daenal Maula, Lc. beserta keluarga yang selalu memberikan nasehat dan bimbingan ilmu keagamaan. Tidak lupa segenap keluarga

- mahasantri PP. Nailul Ula Center yang memberikan semangat selama masa perkuliahan, maaf jika saya termasuk santri yang sulit diatur.
7. Tim mobil listrik Ulil Albab Student Center (UASC), khususnya divisi mekanik komposit yang telah banyak memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
 8. Syahrul Rosikhan Putra, Dhimas Adi Waluyo, Luthfi Ali Masykur, kawan-kawan yang telah membantu dan memberikan masukan dalam proses penyusunan dan pelaksanaan tugas akhir.
 9. M. Haikal Izkyoga dan Eka Richo Tantowi yang tidak bosan memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
 10. Kawan Kopa Kopi dan Lor Kidul Bersatu seperjuangan yang menjadi tempat bercanda dan berkeluh kesah, semoga diberikan kesuksesan semua.
 11. Seluruh mahasiswa dan karyawan Universitas Islam Indonesia, khususnya mahasiswa dan karyawan prodi Teknik Mesin.
 12. Kepala Laboratorium Manufaktur Universitas Sanata Dharma yang telah mengizinkan untuk mengikuti pengujian impak material.

Akhir kata, kesempurnaan hanya milik Allah Subhanahu Wa Ta'ala, sedangkan makhluk-Nya banyak salah dan lupa, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai perbaikan untuk penulis di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini memberikan manfaat dan barokah bagi semua pihak. Terima kasih.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wa Barokatuh.

Yogyakarta, 14-10-2021

Penyusun



Moh. Yasir Amri

16525055

ABSTRAK

Eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) merupakan tumbuhan gulma yang pertumbuhannya sangat cepat dan dapat menimbulkan berbagai kerugian di lingkungan perairan. Diketahui bahwa serat Eceng gondok cukup potensial untuk dijadikan bahan komposit karena kandungan serat kasar cukup banyak dan kualitas serat cukup kuat untuk dijadikan produk olahraga seperti *shin guards*. *Shin guards* merupakan produk yang membutuhkan kekuatan dan kenyamanan saat digunakan. Dengan menggunakan metode komposit *sandwich* untuk menambah kekuatan serta penggabungan teknologi 3D *printing* dan 3D *scan* untuk mendapatkan kenyamanan saat digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan fisik dan mekanik komposit serat Eceng gondok. Tahapan yang dilakukan adalah dengan pengujian impact dan foto makro dengan menggunakan parameter orientasi serat, dan fraksi volume sebesar 30%. Dari hasil pengujian kekuatan impact rata-rata yang optimal pada serat yaitu arah serat 90° sebesar 0,0100 J/mm^2 . Karena arah pembebanan tegak lurus dengan arah serat. Sedangkan hasil pengujian foto makro menunjukkan bahwa spesimen memiliki sifat material getas dan kegagalan yang terjadi pada spesimen yaitu *debonding*, *fiber pull out*, dan delaminasi. Hasil pengujian produk prototipe *shin guards* pada penggunaannya, pengguna sudah merasa nyaman dengan bentuknya, tetapi masih sedikit berat.

Kata kunci: Eceng gondok, komposit *sandwich*, fraksi volume, pengujian impact.

ABSTRACT

Water hyacinth (Eichornia Crassipes) is a weed that grows very fast and can cause various losses in the aquatic environment. It is known that water hyacinth fiber has the potential to be used as a composite material because of its lots of fiber content and high quality fiber which is strong enough to be used as sports products such as shin guards. The shin guards are products that require strength and comfort during use. Using the sandwich composite method for increased strength and combining 3D printing and 3D scanning technologies for comfort when used. This study aims to determine the physical and mechanical strength of water hyacinth fiber composites. The steps carried out are impact testing and macro photography using fiber orientation parameters, and volume fraction of 30%. From the results testing the optimal average impact strength on the fiber is 90° fiber direction 0.0100 J/mm². Because the direction of loading is perpendicular to the direction of the fiber. While the results of the macro photo test show that the specimen has brittle material properties and the failures that occur in the specimen are debonding, fiber pull out and delamination. The results of testing the prototype shin guard on its use, users already feel comfortable with its shape, but it is still a little heavy.

Keywords: Water hyacinth, sandwich composite, volume fraction, impact testing.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	1
Halaman Motto	2
Kata Pengantar.....	3
Abstrak	5
Daftar Isi	7
Daftar Tabel.....	9
Daftar Gambar	10
Daftar Notasi.....	13
Bab 1 Pendahuluan	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah.....	16
1.3 Batasan Masalah	16
1.4 Tujuan Penelitian	17
1.5 Manfaat Penelitian	17
1.6 Sistematika Penulisan	17
Bab 2 Tinjauan Pustaka	19
2.1 Kajian Pustaka	19
2.2 Eceng Gondok.....	20
2.2.1 Klasifikasi Eceng Gondok.....	20
2.2.2 Karakteristik Serat Eceng Gondok	22
2.3 Komposit.....	22
2.3.1 Klasifikasi Komposit	23
2.3.2 Komposit <i>Sandwich</i>	28
2.3.3 Fraksi Volume Komposit	30
2.4 <i>Hand Lay-Up</i>	31
2.5 Pengujian Impak	31
2.6 <i>Tibia Fracture</i> (Patah Tulang Kering).....	36

2.7	Teknologi <i>3D Scan</i>	38
Bab 3	Metode Penelitian	39
3.1	Alur Penelitian	39
3.2	Persiapan Penelitian	41
3.2.1	Peralatan yang digunakan.....	41
3.2.2	Bahan-bahan yang digunakan.....	44
3.2.3	Perhitungan Komposisi Komposit.....	47
3.2.4	Pembuatan Spesimen Uji Impak.....	49
3.3	Proses Pengujian Impak.....	52
3.3.1	Dimensi Spesimen Uji Impak.....	52
3.3.2	Proses Pengujian Impak	53
3.4	Proses <i>3D Scanner</i>	54
3.4.1	Kriteria Desain <i>Shin Guards</i>	54
3.4.2	<i>3D Scanning</i> Kaki Pengguna.....	56
3.4.3	Desain Produk Prototipe.....	57
3.5	Pengujian Pada Responden.....	59
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	60
4.1	Hasil Pengujian dan Pembahasan Pengujian Impak.....	60
4.2	Pengamatan Foto Makro	65
4.3	Hasil dan Pembahasan Perancangan <i>Shin Guards</i>	69
4.3.1	Proses <i>3D Printing</i>	69
4.3.2	Proses Pembuatan Cetakan Produk Prototipe.....	70
4.3.3	Proses Pembuatan Produk Prototipe <i>Shin Guards</i>	72
4.4	Hasil Pengujian Produk prototipe <i>Shin Guards</i>	75
Bab 5	Penutup.....	76
5.1	Kesimpulan	76
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	76
Daftar Pustaka	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Klasifikasi eceng gondok	20
Tabel 2-2 Karakteristik serat eceng gondok	22
Tabel 2-3 Karakteristik Resin 268 BQTN	26
Tabel 3-1 Tabel Alat-alat yang digunakan	44
Tabel 3-2 Hasil Perhitungan Komposisi Komposit Serat 30%	49
Tabel 4-1 Spesifikasi alat uji impak	60
Tabel 4-2 Hasil pengujian impak spesimen arah serat acak	61
Tabel 4-3 Hasil pengujian impak spesimen arah serat 0°	61
Tabel 4-4 Hasil pengujian impak spesimen arah serat 45°	61
Tabel 4-5 Hasil pengujian impak arah serat 90°	61
Tabel 4-6 Hasil Perhitungan standar deviasi	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Tumbuhan eceng gondok yang hidup liar	21
Gambar 2-2 Ilustrasi komposit	23
Gambar 2-3 Macam-macam serat penguat komposit	24
Gambar 2-4 Ilustrasi komposit partikel	24
Gambar 2-5 Komposit laminasi.....	25
Gambar 2-6 <i>Continuous Fiber Roving</i>	27
Gambar 2-7 <i>Chopper Strand Mat</i>	27
Gambar 2-8 <i>Woven Roving/Serat Anyam</i>	28
Gambar 2-9 Struktur Komposit <i>Sandwich</i>	28
Gambar 2-10 Metode <i>hand lay-up</i>	31
Gambar 2-11 Dimensi Spesimen Pengujian Impak.....	32
Gambar 2-12 Posisi Spesimen Uji Impak <i>Charpy</i>	32
Gambar 2-13 Alat Uji Impak <i>Charpy</i>	34
Gambar 2-14 Jenis perpatahan pengujian impact.....	35
Gambar 2-15 Proses 3D Scanner.....	38
Gambar 3-1 Cetakan kaca spesimen uji	41
Gambar 3-2 Pipet.....	42
Gambar 3-3 Kuas.....	42
Gambar 3-4 Sarung tangan	43
Gambar 3-5 Amplas	43
Gambar 3-6 <i>Thinner</i>	44
Gambar 3-7 Serat eceng gondok	45
Gambar 3-8 <i>Fiberglass</i>	45
Gambar 3-9 Resin.....	46
Gambar 3-10 Katalis.....	46
Gambar 3-11 <i>Wax release agent</i>	47
Gambar 3-12 (a) Bahan komposit, (b) Arah serat 0° dan 90°, (c) Arah serat 45° 50	
Gambar 3-13 Spesimen (<i>core</i>) Komposit <i>sandwich</i>	51
Gambar 3-14 <i>Core</i> Komposit <i>sandwich</i> yang sudah dilapisi <i>skin fiberglass</i>	52
Gambar 3-15 Dimensi spesimen uji impact ASTM E23 tipe A.....	52

Gambar 3-16 Spesimen uji impak serat eceng gondok	53
Gambar 3-17 Alat uji <i>Impact Charpy</i>	53
Gambar 3-18 Pengukuran <i>shin guards</i> yang ideal.....	54
Gambar 3-19 <i>Ankle shin guards</i>	55
Gambar 3-20 <i>Strap shin guards</i>	55
Gambar 3-21 <i>Slip-in shin guards</i>	56
Gambar 3-22 (a) Proses pemindaian <i>3D scan</i> , (b) Hasil <i>3D scanning</i>	57
Gambar 3-23 Pembuatan Desain	57
Gambar 3-24 Pembentukan desain	58
Gambar 3-25 Pengaturan ketebalan desain <i>shin guards</i>	58
Gambar 3-26 Desain produk <i>shin guards</i>	59
Gambar 4-1 Grafik standar deviasi terhadap sudut β	62
Gambar 4-2 Grafik hubungan energi serap dengan arah serat komposit	63
Gambar 4-3 Grafik hubungan kekuatan impak dengan arah serat komposit	63
Gambar 4-4 Spesimen setelah pengujian	64
Gambar 4-5 Kegagalan pada spesimen A.....	65
Gambar 4-6 Foto makro spesimen A.....	66
Gambar 4-7 Kegagalan pada spesimen B.....	66
Gambar 4-8 Foto makro spesimen B.....	67
Gambar 4-9 Kegagalan pada spesimen C.....	67
Gambar 4-10 Foto makro spesimen C.....	68
Gambar 4-11 Kegagalan pada spesimen D.....	68
Gambar 4-12 Foto makro spesimen D.....	69
Gambar 4-13 Proses menentukan parameter menggunakan software Cura	70
Gambar 4-14 (a) Proses pencetakan, (b) Hasil pencetakan	70
Gambar 4-15 Proses <i>finishing master</i> cetakan	71
Gambar 4-16 Proses memberi pinggiran pada <i>master</i> cetakan	71
Gambar 4-17 Hasil cetakan getas	71
Gambar 4-18 Hasil pembuatan cetakan kedua	72
Gambar 4-19 Hasil produk prototipe yang telah kering	73
Gambar 4-20 Produk prototipe yang sudah diproses <i>finishing</i>	73
Gambar 4-21 Produk merek Specs	74

Gambar 4-22 Produk prototipe dipakai responden.....75



DAFTAR NOTASI

μ = Koefisien kehalusan atau kekasaran

V = Volume (cm^3 atau ml)

p = Panjang material (mm)

ℓ = Lebar material (mm)

t = Tinggi material (mm)

ρ = Massa jenis material (g/cm^3)

m = massa material (Kg atau g)

E_{serap} = Energi serap (J)

g = Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

R = Panjang lengan pendulum (m)

α = Sudut pendulum sebelum diayunkan

β = sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen

HI = Kekuatan Impak (J/mm^2)

A_0 = Luas penampang di bawah takikan (mm^2)

s = Standar deviasi

x_i = Nilai x ke- i

n = Banyaknya sampel

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan dan pemanfaatan serat komposit seperti serat karbon, serat *fiberglass*, dan serat sintetis lainnya saat ini semakin berkembang pesat. Penggunaan serat sintetis berkembang sangat cepat karena memiliki kekuatan yang tinggi, mudah diatur dan tahan korosi. Walaupun mudah pengaplikasiannya, limbah serat tersebut menyebabkan masalah baru bagi kehidupan manusia seperti sulit terurai oleh mikroorganisme dan menjadi polusi udara jika dilakukan pembakaran. Untuk mengatasi permasalahan serat sintetis maka diperlukan pengembangan komposit serat alam seperti nanas, rami, dan eceng gondok sebagai penguatnya karena memiliki keunggulan dibandingkan serat sintetis yaitu ramah lingkungan, keberadaannya melimpah, dan cukup kuat.

Serat eceng gondok yang dikenal dengan nama ilmiah *Eichornia Crassipes* merupakan tumbuhan gulma perairan yang cukup potensial untuk dikembangkan sebagai serat alam (Putri & Mahyudin, 2019). Eceng gondok merupakan tumbuhan dengan populasinya sangat melimpah tetapi pengendaliannya kurang baik, maka dari itu, diperlukan pengembangan bahan baku penguat komposit yang berbasis serat alam (*natural fiber*), salah satunya dengan memanfaatkan serat eceng gondok. Kandungan serat kasar cukup banyak yang terdapat pada eceng gondok berpotensi menjadi bahan baku alternatif sebagai serat penguat dalam bidang komposit alami. Diharapkan dengan menggunakan serat alami eceng gondok memiliki harga murah, mudah didapat, dan ramah lingkungan, disamping itu juga bisa mengatasi polusi lingkungan.

Sudah banyak pengembangan serat eceng gondok untuk mendapatkan kekuatan serat yang tinggi seperti pembuatan rompi anti peluru. Untuk menghasilkan serat yang kuat dapat dilakukan perlakuan alkali menggunakan larutan basa seperti NaOH. Namun dalam UU RI No. 32 tahun 2009 larutan NaOH ini termasuk golongan zat B3 yang dapat mencemarkan dan/atau merusak, membahayakan, kesehatan lingkungan hidup serta kelangsungan hidup manusia,

dan makhluk hidup lain. Serta kendala lain dari hasil penelitian (Yudo & Kiryanto, 2012) karakteristik serat eceng gondok yang pendek dan tidak seragam menyebabkan serat tidak cocok untuk pola anyaman. Maka dari itu, dibutuhkan penelitian arah serat untuk mengetahui kekuatan serat optimal tanpa perlakuan alkali. Pemanfaatan serat alam tanpa perlakuan alkali disamping mampu menghasilkan kekuatan yang tinggi juga tidak merusak lingkungan sehingga dapat dijadikan salah satu produk dibidang olahraga, yaitu pembuatan *shin guards* menggunakan serat alam.

Di Universitas Islam Indonesia sudah tersedia fasilitas lapangan berstandar internasional untuk bermain sepak bola. Tentu hal ini sangat disayangkan jika para pemain tidak didukung dengan peralatan yang dapat menunjang performa dalam bermain. Dengan memanfaatkan teknologi *rapid prototyping*, salah satunya *3D print* yang saat ini sudah mulai berkembang pesat dalam berbagai bidang olahraga. Hal ini sangat mendukung dalam pembuatan peralatan pemain secara khusus sesuai kebutuhan pemain untuk menunjang performa dan kenyamanan dalam bermain. Penggunaan teknologi *3D print* mampu menghasilkan suatu produk yang khas, cepat, mudah, dan hemat dalam penggunaan material (Waluyo, 2021). Disamping itu produk yang dihasilkan akan lebih presisi dan detail sesuai bentuk kaki pengguna secara cepat daripada pembuatan secara manual, salah satunya dapat diaplikasikan dalam pembuatan *shin guards*. Pembuatan secara khusus ini diperlukan desain model 3D dari bentuk dan geometri pada kaki pemain. Oleh karena itu, dibutuhkan metode *reverse engineering* seperti *3D scan* untuk memperoleh bentuk bagian kaki pengguna secara detail. Kemudian pemodelan diolah menggunakan *Computer Aided Design (CAD)* dan selanjutnya dicetak menggunakan *3D printing*.

Dengan memanfaatkan teknologi komposit dengan metode sederhana seperti *hand lay-up*, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa kekuatan impak serat eceng gondok sehingga mampu menghasilkan serat dengan spesifikasi yang diinginkan dalam pembuatan prototipe *shin guards*. Sekaligus menjadi alternatif pemanfaatan gulma tumbuhan perairan ini. Dengan demikian, mampu menciptakan peluang dengan mengubah eceng gondok menjadi tumbuhan yang bermanfaat.

1.2 Rumusan Masalah

Eceng gondok yang tersedia secara melimpah di sepanjang perairan di Indonesia dan pemanfaatannya yang belum maksimal menyebabkan kerugian di lingkungan perairan. Sudah banyak penelitian serat eceng gondok yang dilakukan sebagai pengembangan material penguat komposit berbasis serat alam. Disamping itu, hal ini juga sebagai bentuk pengendalian tumbuhan ini supaya tidak merugikan perairan di Indonesia. Untuk itu, rumusan masalah pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana cara memperoleh bentuk *shin guards* yang sesuai dengan kebutuhan penggunaannya berbasis serat alam?
2. Bagaimana pengaruh arah serat pada komposit *sandwich* eceng gondok?
3. Bagaimana cara mengetahui sifat fisik dan mekanik komposit serat eceng gondok?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, batasan masalah penulisan ini antara lain:

1. Material yang digunakan adalah serat eceng gondok.
2. Melakukan pengujian dampak untuk mengetahui sifat mekanik dan fisik material.
3. Menggunakan resin *Unsaturated Polyester Resin SHCP 268 BQTN*.
4. Tidak membahas antropometri orang Indonesia.
5. Fraksi volume serat yang digunakan sebesar 30%.
6. Standar spesimen pengujian dampak adalah ASTM E23 tipe A.
7. Komposit dibuat dengan arah serat acak, 0°, 45°, dan 90°.
8. Menggunakan struktur komposit *sandwich* dan metode komposit *hand lay-up*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Pemanfaatan serat eceng gondok untuk pembuatan *shin guards* berbasis alam.
2. Mengetahui pengaruh variasi arah serat terhadap kekuatan impact komposit berpenguat serat eceng gondok.
3. Mengetahui sifat fisik dan mekanik komposit serat eceng gondok dalam pengujian impact dan foto makro.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses pembuatan struktur komposit *sandwich* dan cara pengujian impact pada serat eceng gondok.
2. Sebagai pengembangan material komposit berbasis serat alami.
3. Menjadikan eceng gondok sebagai bahan komposit bernilai jual, murah, dan sebagai alternatif pengendalian lingkungan.
4. Mengetahui kenyamanan *shin guards* berbasis serat alam pada penggunaannya

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan penelitian ini disusun terdiri dari beberapa bab dan sub bab. Laporan penelitian ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri dari beberapa sub bab, yaitu menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka dan dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini. Bab ini digunakan sebagai ilmu dasar dalam proses penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Alur penelitian dibahas dalam bab ini, mulai dari studi literatur, observasi, perancangan, dan proses pembuatan prototipe mengenai topik penelitian ini.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini hasil dan analisa serta pembahasan penelitian dijelaskan dalam bab 4 ini.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini berisikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Sepak bola adalah salah satu olahraga yang paling populer di dunia, begitu juga di Indonesia. Di Indonesia sendiri sepak bola berkembang dengan cepat sehingga mencetak pemain-pemain muda yang berbakat. Dibalik perkembangan sepak bola, angka cedera yang dialami pemain juga meningkat 13% (Boden, 1998). Hal ini tidak bisa dihindari karena pemain lebih banyak mengalami benturan (*impact*), langsung atau tidak langsung dengan pemain lain, dan lingkungan permainan sepak bola.

Penggunaan *shin guards* atau dikenal dengan istilah deker merupakan salah satu pencegahan untuk mengurangi cedera pada tulang kering. Fungsi utama *shin guards* adalah melindungi tulang kering dari benturan (Tatar dkk., 2014). Dalam pembuatan *shin guards* tidak ada ketentuan ukuran dan material khusus yang digunakan. Kriteria *shin guards* yang dibutuhkan yaitu kuat, ringan, dan nyaman dipakai pemain serta lapisan yang lembut supaya dapat mengurangi risiko cedera (Boden, 1998).

Dengan perkembangan teknologi *3D printing* dan *3D scan* mampu menghasilkan produk *shin guards* yang sesuai kriteria pengguna. Dengan penggabungan dua teknologi ini dapat membuat produk yang dinilai lebih efektif dan efisien, karena mampu membuat produk khusus bagi pengguna secara cepat mudah, dan menghemat bahan yang digunakan serta hasil produk lebih presisi dan detail serta nyaman saat digunakan.

Pemanfaatan serat alam sebagai bahan komposit dewasa ini mulai banyak dikembangkan, salah satunya adalah eceng gondok. Hasil penelitian (Prasetyaningrum dkk., 2009) bahwa harga impak terbaik serat eceng gondok tanpa perlakuan alkali sebesar $0,0023 \text{ J/mm}^2$. Dari hasil ini masih belum mampu dijadikan bahan pembuatan *shin guards*, karena masih terlalu getas. Maka dari itu, dibutuhkan metode lain dalam proses pembuatannya seperti metode pembuatan komposit menggunakan metode *sandwich* yang bertujuan untuk

menambah kekuatan komposit tersebut. Metode lain yang bisa digunakan yaitu dengan memvariasikan arah serat untuk mengetahui kekuatan serat yang optimal. Dalam penelitian (Yudo & Kiryanto, 2012) menggunakan orientasi arah serat sederhana, yaitu 0°, 45°, dan 90° sebagai acuan pengujian untuk memenuhi kekuatan spesimen menurut Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Penggunaan arah serat tersebut dinilai sudah mampu untuk mengetahui kekuatan serat tanpa perlu menguji setiap derajat arah serat. Sedangkan pada penelitian (Syahrial & Huda, 2018) orientasi serat 45° memiliki defleksi terkecil pada semua posisi lambung kapal dan tingkat keamanan tertinggi jika dilihat dari kriteria kegagalannya daripada orientasi serat 0°, 15°, dan 30°.

Pembuatan produk prototipe dengan metode komposit *sandwich* yaitu metode komposit khusus yang memberikan lapisan *skin* (kulit) pada *core* (inti) komposit agar memberikan kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi. Dalam menentukan komposisi serat, resin dan katalis serta banyaknya lapisan *skin* sangat mempengaruhi kekuatan komposit *sandwich* tersebut.

2.2 Eceng Gondok

2.2.1 Klasifikasi Eceng Gondok

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) merupakan salah satu tumbuhan gulma yang hidup dengan cara terapung di wilayah perairan. eceng gondok termasuk dalam famili *Pontederiaceae*. Untuk klasifikasi tumbuhan ini adalah sebagai berikut Tabel 2-1 (Winata, 2011):

Tabel 2-1 Klasifikasi eceng gondok

Sub kingdom	Spermatophyta
Divisi	Magnoliophyta
Kelas	Liliopsida
Famili	Pontederiaceae
Jenis	Eichornia
Spesies	Eichornia Crassipes solms

Secara fisik tumbuhan ini dapat dikenali dengan ciri-ciri daun berbentuk telur dan berwarna hijau mengkilap jika terkena sinar matahari. tangkai dari tumbuhan ini berbentuk silinder dapat tumbuh hingga 40 cm, setiap tunas memiliki 5-7 tangkai dan berdiameter 1 cm. Tumbuhan ini dapat berkembangbiak dengan cepat. Dengan perkembangbiakan secara vegetatif dalam waktu kurang dari 10 hari tumbuhan ini dapat berkembangbiak dua kali lipat.



Gambar 2-1 Tumbuhan eceng gondok yang hidup liar

Eceng gondok memiliki kemampuan menyerap limbah perairan yang baik sehingga wilayah yang ditumbuhi eceng gondok tidak akan mencemari lingkungan. Di negara lain, seperti Cina memanfaatkan tumbuhan ini sebagai fitoremediasi di wilayah perairan karena dapat menyerap zat kimia nitrogen, fosfat, dan zat organik. Selain itu tumbuhan ini juga dapat menyerap logam-logam berat seperti Kromium (Cr), Timbal (Pb), Tembaga (Cu), Magnesium (Mg), dan Seng (Zn) dengan baik, kemampuan penyerapan eceng gondok pada umur muda lebih baik daripada eceng gondok tua (Winata, 2011).

Suatu perairan dapat diketahui bahwa air yang disaring eceng gondok sudah bersih, bisa dilihat dari sekitaran wilayah perairan yang awalnya dipenuhi limbah, sekarang sudah dipenuhi dengan satwa air. Akan tetapi, tumbuhan ini tidak bisa dibiarkan hidup bebas karena kemampuan penyerapan zat kimia dan logam berat akan berkurang sehingga dibutuhkan peremajaan dalam waktu tertentu (Putera, 2012).

2.2.2 Karakteristik Serat Eceng Gondok

Penelitian yang dilakukan oleh Gani dengan judul “*Journal of Biological Science*” pada tahun 2002 (Putera, 2012) karakteristik serat eceng gondok adalah sebagai berikut:

Tabel 2-2 Karakteristik serat eceng gondok

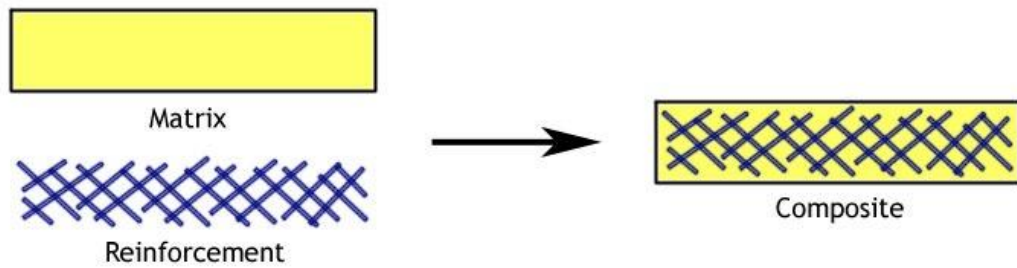
Massa jenis (gr/cm^3)	0,25
Sifat putih (whiteness) (%)	22,2
Kehalusan (fineness) (μ)	35
Kekuatan tarik (tensile strength) (MPa)	18 - 33

Berdasarkan Tabel 2-2 diatas, dapat diketahui karakteristik serat eceng gondok cukup kuat, selain sebagai kerajinan tangan serat ini bisa dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit. Disamping bahan mudah didapat, murah serta bisa digunakan sebagai upaya penanggulangan pada pertumbuhan tanaman ini, sehingga dapat mengurangi risiko banjir, penyumbatan irigasi dan pencemaran lingkungan.

2.3 Komposit

Composite atau sering disebut komposit merupakan penggabungan dari dua kata yaitu “*to compose*” yang berarti menggabungkan. Secara istilah komposit adalah menggabungkan dua bahan atau lebih yang berbeda sifat materialnya untuk menghasilkan material ketiga yang lebih bermanfaat. Berbeda dari penggabungan mikroskopis, penggabungan ini unsur pendukungnya sudah tidak bisa terlihat. Penggabungan komposit yaitu secara makroskopis sehingga unsur pendukungnya masih bisa terlihat (serat dan matriks) (Jones, 1998).

Secara umum komposit terdiri dari dua jenis material pembentuknya, yaitu penguat (*reinforcement*) yang berfungsi sebagai penguat material komposit dan matriks berfungsi sebagai material pengikat. Ada beberapa hal yang akan mempengaruhi sifat dan karakteristik dari komposit, yaitu sifat dan karakteristik penguat (*reinforcement*), orientasi serat dan rasio penguat



Gambar 2-2 Ilustrasi komposit

Sumber: (Nawanti, 2018)

Keunggulan dari material komposit adalah menggabungkan unsur-unsur unggul dari masing-masing material pembentuknya dan bertujuan untuk menghasilkan sifat material pembaharuan, sehingga bisa saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang dimiliki pada material pembentuknya. Menurut (Jones, 1998) sifat-sifat yang dapat diperbaharui dari komposit antara lain:

- a. Kekuatan (*Strength*)
- b. Kekakuan (*Stiffness*)
- c. Ketahanan korosi (*Corrosion resistance*)
- d. Ketahanan gesek (*Wear resistance*)
- e. Berat (*Weight*)
- f. Ketahanan lelah (*Fatigue life*)
- g. Tahan lama

2.3.1 Klasifikasi Komposit

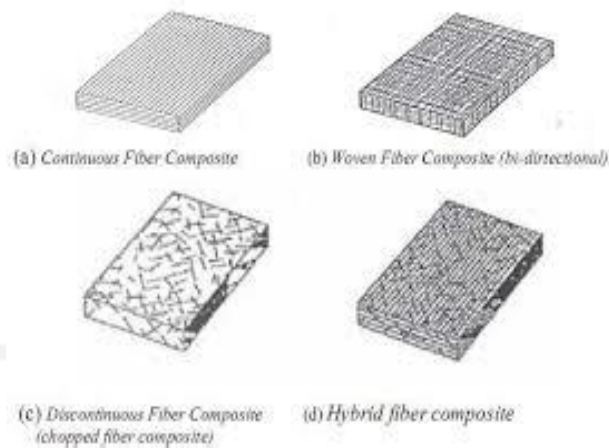
Klasifikasi dari komposit bisa dibedakan berdasarkan material penguat (*reinforcement*) dan matriks.

2.3.1.1 Komposit Berdasarkan Material Penguat (*Reinforcement*)

Klasifikasi komposit berdasarkan material penguatnya dibagi menjadi empat macam (Jones, 1998), yaitu:

1. Komposit Serat (*Fibrous Composite*)

Merupakan komposit dengan satu lapisan dengan menggunakan penguat berupa serat. Serat ini bisa disusun acak atau disusun dengan orientasi tertentu seperti serat anyam.

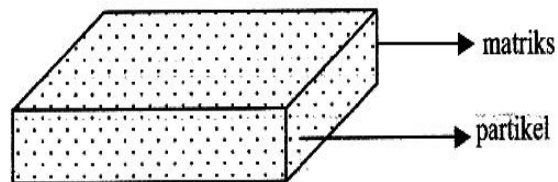


Gambar 2-3 Macam-macam serat penguat komposit

Sumber: (Gibson, 1994)

2. Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Jenis komposit ini menggunakan lapisan berupa serbuk mikroskopis sebagai penguatnya. Biasanya komposit ini tidak hanya menggunakan satu jenis serbuk bisa menggunakan lebih dari satu jenis serbuk dalam satu matriks. Seperti halnya dengan matriks, serbuk ini bisa terbuat dari logam atau non logam.

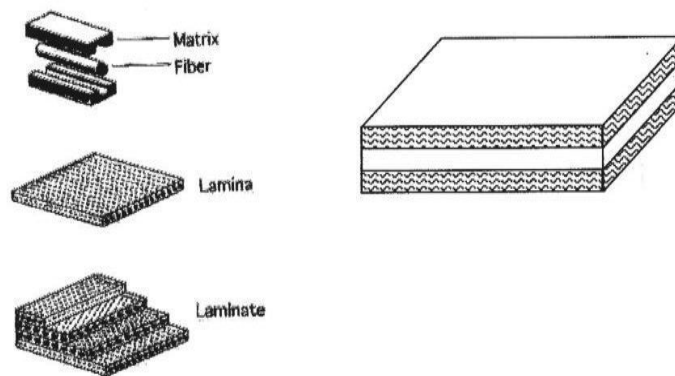


Gambar 2-4 Ilustrasi komposit partikel

Sumber: (Gibson, 1994)

3. Komposit Lapis (*Laminate Composite*)

Komposit laminasi terdiri dari dua lapis atau lebih dan pada setiap lapisannya memiliki sifat serta karakteristik sendiri. Terkadang komposit ini terdiri dari bermacam-macam material pembentuk dalam satu matriks.



Gambar 2-5 Komposit laminasi

Sumber: (Gibson, 1994)

4. Campuran (*Hybrid Composite*)

Komposit ini adalah kombinasi dari ketiga komposit, yaitu komposit serat, komposit partikel dan komposit laminasi.

2.3.1.2 Komposit Berdasarkan Material Pengikat (Matriks)

Matriks atau material pengikat merupakan material penyusun komposit yang paling dominan (Ermawan, 2018). Matriks penyusun komposit bisa berasal dari polimer, logam atau keramik. Penggunaan matriks pada komposit bertujuan agar meneruskan beban, sehingga penguat pada komposit harus melekat pada matriks dan ada kesesuaian antara penguat dan matriks tersebut. Pada umumnya matriks yang sering digunakan dalam industri adalah yang memiliki ketahanan terhadap panas yang tinggi (Diharjo & Triyono, 2003).

Ada banyak jenis matriks yang digunakan dalam pembuatan komposit, salah satunya adalah matriks polimer. Matriks polimer atau yang sering disebut resin terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *thermoplastic* dan *thermoset* (Nayiroh, 2013).

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic merupakan jenis polimer yang dapat dilunakkan dan dikeraskan berulang kali (*recycle*). Polimer ini dapat meleleh jika dipanaskan pada suhu tertentu (mengikuti perubahan suhu) dan dapat kembali mengeras bila didinginkan (*reversible*).

2. *Thermoset*

Thermoset merupakan jenis polimer yang mempunyai sifat kebalikan dari *Thermoplastic* (*irreversible*) dimana polimer ini jika didinginkan tidak

akan kembali ke bentuk semula dan jika dipanaskan pada suhu tertentu polimer ini akan hangus menjadi arang.

Matriks dalam penelitian ini menggunakan resin *Thermoset* yaitu *Unsaturated Polyester Resin 268 BQTN*. Dimana resin ini memiliki densitas sebesar $1,13 \text{ gr/cm}^3$. Adapun karakteristik resin *Unsaturated Polyester Resin 268 BQTN (SHCP 268 BQTN Resin, 2014)* sebagai berikut Tabel 2-3:

Tabel 2-3 Karakteristik Resin 268 BQTN

Karakteristik	Nilai	Test Method	Keterangan
<i>Density</i> (massa jenis)	1,13 gr/cm^3	ASTM D1475	25°C
<i>Barcol Hardness</i>	48	ASTM D2583-67	-
<i>Heat Distortion Temp.</i>	67,3°C	ASTM D648-72	-
<i>Water Absorption</i>	0,35%	ISO-62-1980	7 hari
<i>Flexural strength</i>	8,4 Kgf/mm^2	ASTM D790	-
<i>Flexural Modulus</i>	536,1 Kgf/mm^2	ASTM D790	-
<i>Tensile Strength</i>	3 Kgf/mm^2	ASTM D638	-
<i>Impact Strength</i>	3,9 Kgf/mm^2	ASTM D256	-
<i>Elongation</i>	3,2%	ASTM D638-72	-

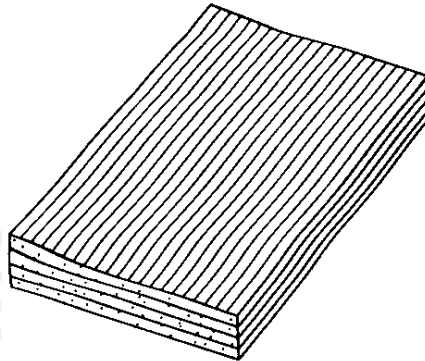
Untuk mempercepat pengerasan resin dibutuhkan bahan tambahan berupa katalis. Penggunaan katalis ini dibatasi sebanyak 1% dari volume resin (Maliku dkk., 2015), karena jika terlalu banyak penggunaan katalis akan mempercepat proses pengerasan resin, disamping itu juga menyebabkan resin menjadi getas dan menyebabkan resin terbakar.

2.3.1.3 Orientasi Serat

Dalam pembuatan komposit, orientasi/arah serat sangat berpengaruh pada kekuatan komposit, secara garis besar penyusunan orientasi serat dibagi sebagai berikut (Gibson, 1994):

1. *Unidirectional/Continuous Fiber*, yaitu dalam pembuatan komposit serat satu dengan serat lainnya disusun secara paralel. kebanyakan penyusunan arah serat ini secara 0° , 90° atau 45° . Kekuatan terbesar dalam susunan ini terdapat pada serat yang tersusun sejajar dengan

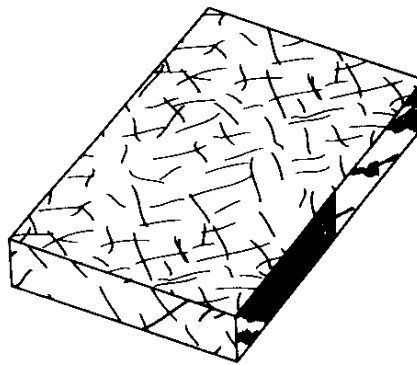
arah serat, sedangkan kekuatan terkecil terdapat pada serat yang tersusun secara tegak lurus dengan arah serat.



Gambar 2-6 *Continuous Fiber Roving*

Sumber: (Gibson, 1994)

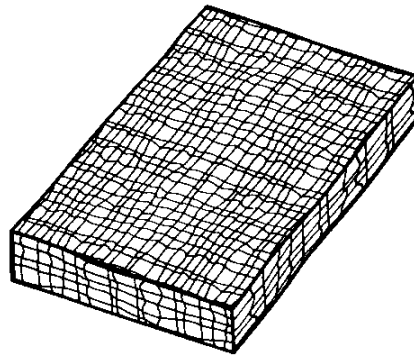
2. *Chopper Strand Mat* (serat acak), yaitu penyusunan arah serat komposit secara acak. Dalam penyusunan arah serat acak bisa diketahui dengan melihat susunan seratnya yang tidak beraturan. Arah serat acak memiliki nilai kekuatan yang sama pada satu titik. Serat acak biasanya digunakan untuk produk yang membutuhkan kekuatan sedang. Arah serat ini banyak menggunakan metode *hand lay-up*.



Gambar 2-7 *Chopper Strand Mat*

Sumber: (Gibson, 1994)

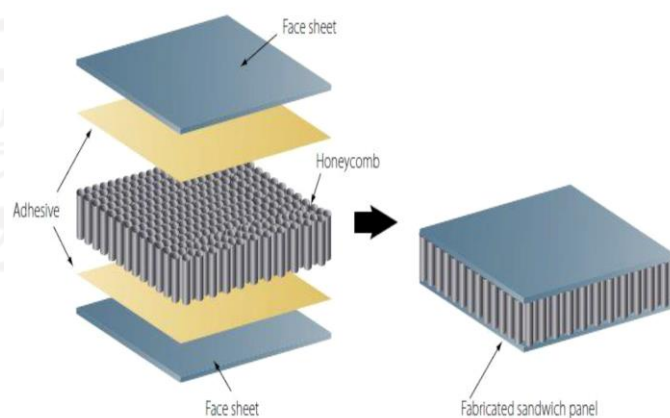
3. *Bidirectional/Woven Roving*, yaitu serat komposit yang disusun secara tegak lurus (orthogonal). Penyusunan serat seperti ini biasanya disebut susunan serat anyam. Kekuatan terbesar dalam susunan serat anyam terdapat pada arah serat 0° dan 90° , sedangkan kekuatan terkecil terdapat pada arah serat 45° .



Gambar 2-8 *Woven Roving*/Serat Anyam
Sumber: (Gibson, 1994)

2.3.2 Komposit *Sandwich*

Berdasarkan strukturnya komposit dibagi menjadi dua, yaitu struktur laminasi dan struktur *sandwich*. Komposit *sandwich* merupakan salah satu struktur komposit khusus yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit *sandwich* merupakan gabungan dari tiga lapisan yang terdiri dari permukaan kulit (*skin*) dan inti (*core*) diantara lapisan *skin*. Pembuatan komposit *sandwich* bertujuan untuk mendapatkan struktur komposit yang ringan, tetapi memiliki kekakuan (*stiffness*) dan kekuatan (*strength*) yang tinggi. Struktur komposit jenis ini sangat cocok untuk menahan beban lentur (*bending*), dampak (*impact*), peredam getaran dan suara (Nayiroh, 2013).



Gambar 2-9 Struktur Komposit *Sandwich*
Sumber: (Fathoni, 2019)

Dalam pembuatan komposit *sandwich*, bahan yang digunakan harus memiliki kriteria, yaitu ringan, tahan korosi, dan tahan panas serta murah. Dengan menggunakan bahan yang ringan dan murah akan menghasilkan komposit yang memiliki sifat ringan, kaku dan kuat. Disamping itu, banyaknya lapisan *skin* dan ketebalan *core* juga mempengaruhi kekuatan yang dihasilkan komposit *sandwich*. Dengan menggunakan 2 lapis serat sebagai *skin* mampu meningkatkan kekuatan komposit *sandwich*, begitu juga sebaliknya semakin tebal *core* akan menyebabkan kekuatan komposit *sandwich* menurun (Azwar dkk., 2016).

2.3.2.1 *Skin* (Permukaan Kulit)

Skin merupakan bagian yang berfungsi untuk menahan beban dari luar. Penggunaan bahan pembentuk *skin* dalam komposit *sandwich* dapat menggunakan semua bahan yang berbentuk lembaran tipis. Karakteristik bahan *skin* diantaranya (Lukkassen & Meidell, 2007):

- a. Memiliki kekakuan yang baik, tetapi memberikan kelenturan juga.
- b. Mampu menahan beban tarik, *bending* dan impak.
- c. Bentuk akhir permukaan rata.
- d. Tahan terhadap lingkungan (kimia, sinar UV atau panas).

2.3.2.2 *Core* (Inti)

Core dalam komposit *sandwich* disamping meningkatkan ketebalan komposit, juga harus memiliki sifat yang ringan. Diharapkan *core* komposit *sandwich* menambah kekakuan dalam struktur ini. Sifat yang harus dimiliki material *core* dalam struktur ini sebagai berikut:

- a. Densitas rendah.
- b. Memiliki *Shear modulus* dan *Shear strength* tinggi.
- c. Menambah kekakuan.
- d. Mampu meredam panas dan peredam suara.

Dalam pembuatan komposit *sandwich* bahan penyusun *core* yang paling banyak digunakan adalah kayu sengon laut atau balsa, *polyurethane* (PU), PVC, *foam*, dan bahan berstruktur *honeycomb*.

2.3.3 Fraksi Volume Komposit

Fraksi volume adalah jumlah kandungan serat dan matriks yang terdapat dalam pembentukan komposit (Nawanti, 2018). Penggunaan istilah fraksi volume biasanya digunakan sebagai acuan pencampuran volume (%) antara serat dan matriks agar terdistribusi secara merata dalam pembuatan komposit berkekuatan tinggi. Tidak hanya menentukan persentase serat, fraksi volume juga digunakan dalam menentukan campuran resin (matriks) dan katalis, sehingga komposisi sesuai dengan yang dibutuhkan dan hasilnya lebih maksimal.

Perhitungan campuran bahan komposit untuk menentukan fraksi volume sebagai berikut:

- a) Volume komposit/cetakan (V_{komposit})

$$V_{\text{komposit}} = p_{\text{cetakan}} \times \ell_{\text{cetakan}} \times t_{\text{cetakan}} \quad (2-1)$$

Dimana:

V_{komposit} : volume komposit/cetakan (cm^3)

p_{cetakan} : panjang cetakan (mm)

ℓ_{cetakan} : lebar cetakan (mm)

t_{cetakan} : tinggi cetakan (mm)

- b) Volume serat/reinforcement (V_{serat})

$$V_{\text{serat}} = V_{\text{komposit}} \times \text{fraksi volume} \quad (2-2)$$

Dimana:

V_{serat} : volume serat (cm^3)

V_{komposit} : volume komposit/cetakan (cm^3)

Fraksi volume : fraksi volume yang digunakan (%)

- c) Massa serat (m_{serat})

Untuk mencari massa serat menggunakan persamaan massa jenis

$$\rho_{\text{serat}} = \frac{m_{\text{serat}}}{V_{\text{serat}}} \quad (2-3)$$

Dimana:

m_{serat} : massa serat (gr)

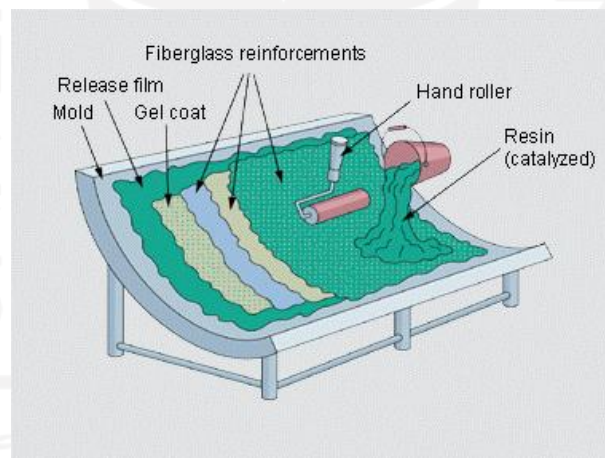
V_{serat} : volume serat (cm^3)

ρ_{serat} : massa jenis serat (gr/cm^3)

2.4 *Hand Lay-Up*

Dalam proses pembuatan komposit ada banyak cara yang bisa dilakukan, salah satunya adalah *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* ini termasuk dalam kategori *open mold process* (pencetakan terbuka). metode ini merupakan metode yang paling mudah, murah dan sederhana dalam pembuatan komposit. Proses metode *hand lay-up* adalah dengan cara menuangkan resin yang sudah dicampur dengan katalis ke dalam cetakan kemudian dioles secara merata menggunakan kuas atau rol. Metode ini resin akan berkontak langsung dengan udara dan biasanya dilakukan pada suhu ruangan. Proses tersebut dapat dilakukan secara berulang-ulang agar mendapatkan ketebalan komposit yang diinginkan (Nayiroh, 2013).

Pada metode *hand lay-up* ini material yang banyak digunakan adalah matriks/resin. Aplikasi metode ini banyak digunakan dalam pembuatan badan kapal, tangki, *bathtub*, rumah, dan panel. Metode *hand lay-up* dapat dilihat pada Gambar 2-10.



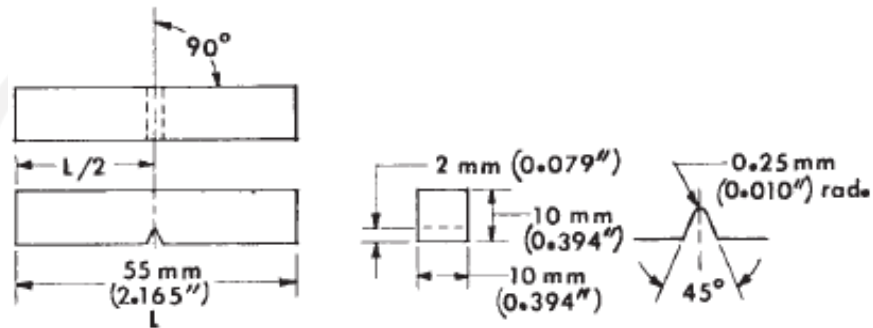
Gambar 2-10 Metode *hand lay-up*

Sumber: (Nayiroh, 2013)

2.5 Pengujian Impak

Pengujian impak (*impact test*) merupakan pengujian untuk mengetahui seberapa besar beban kejut atau beban tiba-tiba yang mampu diterima oleh suatu material. Mekanisme pengujian ini dilakukan dengan memberi beban pada material hingga patah dalam sekali pukul (Callister, 2007).

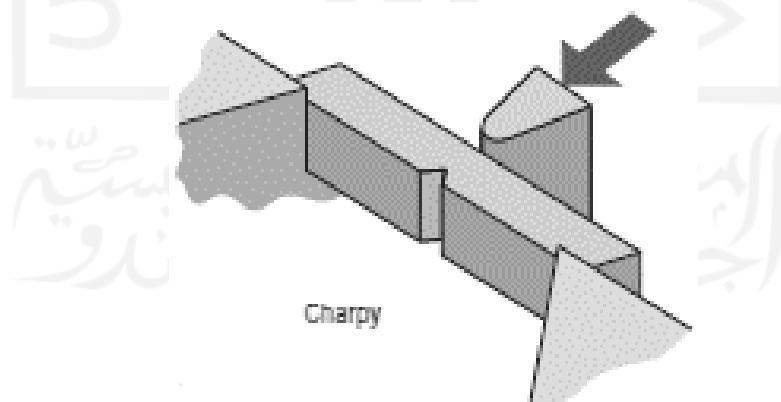
Standar pengujian impact yang dirancang dan masih digunakan untuk mengetahui energi impact pada material dibagi menjadi dua metode, yaitu *Izod* dan *Charpy*. Dalam penelitian ini pengujian impact menggunakan metode *Charpy* yaitu ASTM E23 tipe A. Spesimen *Impact Charpy* berbentuk balok dengan ukuran standar yang sudah ditentukan dan diberi takikan berbentuk V di tengah spesimen.



Gambar 2-11 Dimensi Spesimen Pengujian Impact

Sumber: (Callister, 2007)

Cara kerja pengujian impact yaitu memberikan beban pada spesimen dengan posisi tertentu lalu beban akan didapatkan dengan menumbukkan palu pendulum yang dilepas pada ketinggian h . Ketika palu dilepas, ujung palu akan menabrak dan mematahkan spesimen tepat pada takikan yang menjadi titik konsentrasi tegangan pengujian impact.



Gambar 2-12 Posisi Spesimen Uji Impact *Charpy*

Sumber: (Callister, 2007)

Setelah itu, palu akan berayun pada ketinggian h' . energi yang diterima pada pengujian impact dihitung menggunakan perbedaan h dan h' ($mg - mgh'$).

Posisi simpangan lengan palu pendulum terhadap garis vertikal sebelum dibenturkan dianggap α , sedangkan posisi lengan setelah membentur dianggap β . Setelah mengetahui energi potensial yang diserap, kekuatan impak pada material dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E_{serap} &= \text{energi awal} - \text{energi sisa} \\
 &= m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot h' \\
 &= m \cdot g \cdot (R - R \cos \alpha) - m \cdot g \cdot (R - R \cos \beta) \\
 E_{serap} &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \qquad (2-4)
 \end{aligned}$$

Dimana:

E_{serap} : Energi serap (J)

m : Berat pendulum (kg)

g : Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

R : Panjang lengan pendulum (m)

α : Sudut pendulum sebelum diayunkan

β : sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen

Harga impak yang diterima material bisa dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$HI = \frac{E_{serap}}{A_0} \qquad (2-5)$$

Dimana:

HI : Harga Impak (J/mm^2)

E_{serap} : Energi serap (J)

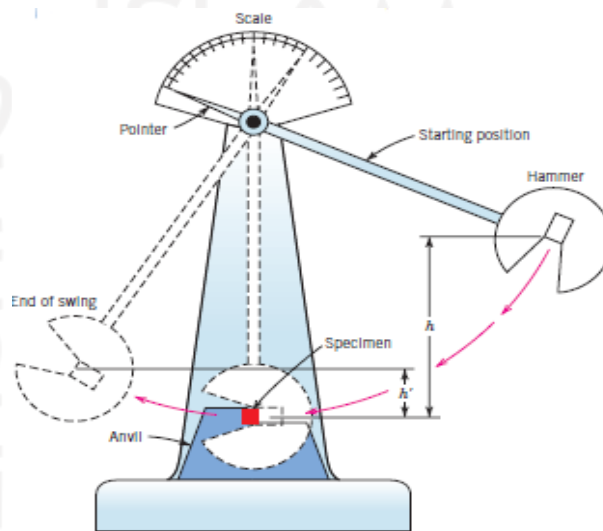
A_0 : Luas penampang di bawah takikan (mm^2)

Untuk mengetahui sebaran data (sudut β) yang paling banyak digunakan, maka bisa menggunakan standar deviasi. Dalam perhitungan standar deviasi apabila penyebaran data terhadap nilai rata-rata besar, maka nilai standar deviasi besar. Begitu juga sebaliknya, apabila penyebaran data terhadap nilai rata-rata kecil, maka nilai standar deviasi kecil. Berikut rumus standar deviasi untuk mengetahui sebaran data sudut β :

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2-6)$$

Dimana:

- s : Standar deviasi
- x_i : Nilai x ke-i
- \bar{x} : Rata-rata
- N : Banyaknya sampel



Gambar 2-13 Alat Uji Impak Charpy

Sumber: (Callister, 2007)

Selanjutnya untuk mencari besarnya energi yang diberikan dan untuk besarnya energi yang tidak diserap saat pengujian dapat menggunakan rumus energi mekanik:

$$E_m = E_p + E_k$$

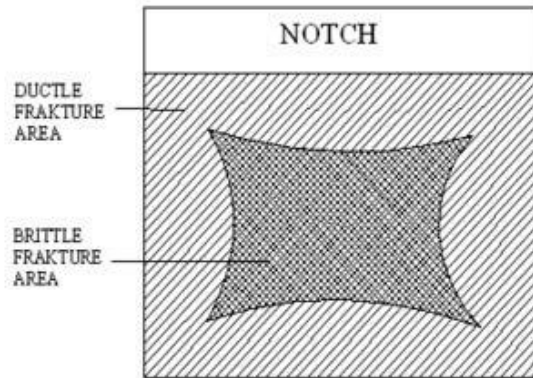
Tetapi ketika kecepatan benda tidak diketahui, maka energi kinetik (E_k) diasumsikan nol (0). Jadi, untuk merubah energi serap menjadi persentase menggunakan persamaan berikut:

$$\text{absorption ratio (\%)} = \frac{E_{mekanik} - E_{serap}}{E_{mekanik}} \times 100 \quad (2-7)$$

$$\text{absorption ratio (\%)} = \frac{(m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} m \cdot v^2) - E_{serap}}{(m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} m \cdot v^2)} \times 100$$

$$\text{absorption ratio (\%)} = \frac{(m \cdot g \cdot h + 0) - E_{serap}}{(m \cdot g \cdot h + 0)} \times 100$$

Secara umum, jenis perpatahan hasil pengujian dampak dibagi menjadi dua, yaitu getas (*brittle*) dan ulet (*ductile*) (ASTM, 2002). Bentuk patahannya dapat dilihat pada Gambar 2-14.



Gambar 2-14 Jenis perpatahan pengujian dampak

1. Material getas:
 - a. Tidak ada atau hanya sedikit mengalami deformasi plastis saat mengalami patah.
 - b. Retak atau perpatahan merambat sepanjang bidang-bidang kristalin membentuk granular (butiran material).
 - c. Bentuk permukaan patahan pada material ini cenderung rata.
 - d. Material *amorphous* seperti *fiberglass* memiliki permukaan patahan yang bercahaya dan mulus.
 - e. mudah patah dengan tegangan normal.
2. Material ulet:
 - a. Adanya deformasi elastis dan plastis pada material saat patah.
 - b. Bentuk patahan meruncing.
 - c. Terjadi mekanisme *necking*, yaitu berkumpulnya *void* yang membuat *void* semakin membesar, sehingga menjadi tempat terkonsentrasinya stress yang akhirnya menjadi penyebab patah.
 - d. Permukaan hasil patahan gelap karena menyerap cahaya.
 - e. Material yang ulet akan patah akibat tegangan geser.

Selain melihat bentuk patahannya, mengidentifikasi material bisa dilihat dari besarnya sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen dan bentuk kegagalan pada serat. Semakin besar sudut ayunan pendulum setelah

menghantam material maka semakin getas material yang diuji, begitu juga sebaliknya. Sedangkan kegagalan yang terjadi pada serat umumnya sebagai berikut (Schwartz, 1984):

1. *Debonding*

Debonding adalah kegagalan serat komposit yang disebabkan serat tidak menempel/melekat pada matriks.

2. Delaminasi

Delaminasi adalah lepasnya ikatan pada bidang antara matrik dan serat yang disebabkan gaya geser yang tidak mampu ditahan oleh matriks.

3. *Fiber pull out*

Fiber pull out adalah tercabutnya serat dari matrik yang disebabkan ketika matriks retak akibat beban yang diberikan pada komposit.

2.6 *Tibia Fracture (Patah Tulang Kering)*

Tulang kering (*tibia*) merupakan salah satu tulang besar dan kuat. Tulang ini terdapat pada bagian kaki yang menghubungkan antara pergelangan kaki dengan lutut. Bentuk dari tulang ini seperti batang dengan dua ujung. Salah satu fungsi dari tulang ini adalah untuk membetuk bagian kerangka pada kaki.

Fracture atau patah tulang merupakan cedera yang sering terjadi di masyarakat, khususnya untuk pemain sepak bola. Dalam sepak bola cedera ini sangat sulit untuk dihindari karena bagian kaki yang paling dominan melakukan kontak dengan pemain lain dan lingkungan sekitar. Kontak antar pemain umumnya sering terjadi ketika pemain akan menendang atau saat *sliding tackle* sehingga saling memberikan beban dampak pada kaki pemain. Hal ini tentunya akan mengakibatkan cedera pada kaki bahkan bisa mengakibatkan patah tulang pada kaki pemain.

Dalam penelitian (Francisco dkk., 2000) cedera patah tulang merupakan cedera yang paling tinggi dialami oleh pemain. Secara umum cedera ini lebih banyak ditimbulkan karena dampak dari beban dampak tinggi yang diterima oleh kaki saat melakukan kontak antar pemain. Dalam masa pemulihan cedera ini membutuhkan waktu sekitar 4 bulan untuk bisa melakukan latihan ringan seperti *jogging*, sedangkan untuk bisa bermain sepak bola lagi membutuhkan waktu

sekitar 5-8 bulan. Peraturan sepak bola internasional sudah mewajibkan penggunaan *shin guards* sebagai pelindung tulang kering saat bermain. Hal ini sebagai bentuk pencegahan dini (preventif) pada cedera yang lebih serius seperti patah tulang kering.

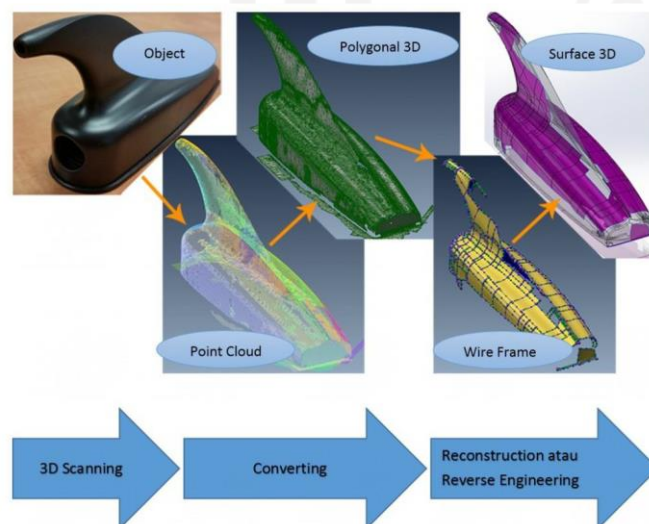


2.7 Teknologi 3D Scan

Proses ini merupakan proses mengumpulkan data permukaan dan bentuk sebuah objek yang berupa titik-titik koordinat yang diubah menjadi bentuk 3 dimensi. Proses ini membutuhkan alat yang biasanya disebut *3D Laser Scanner*.

Alat *3D Laser Scanner* memiliki sudut pandang *conus* (kerucut tiga dimensi) sama seperti kamera. Tetapi ada yang membedakan antara *3D Laser Scanner* dengan kamera, yaitu pada *3D laser Scanner* mengumpulkan informasi berupa jarak permukaan objek yang diamati dari depan *scanner*, sedangkan kamera mengumpulkan informasi permukaan objek seperti warna dan intensitas cahaya objek yang diamati (Hadinugroho, 2018).

Proses *3D Scan* dapat membantu dalam pengukuran dan pembuatan produk dengan cepat, karena dapat mengurangi proses pengukuran secara manual. Prinsip kerja *3D Scan* hampir mirip dengan kamera yaitu mengambil informasi permukaan objek dalam bentuk gambar-gambar yang digabungkan sehingga menjadi bentuk 3D yang virtual. Ada tiga teknologi yang digunakan dalam pembuatan gambar 3D yaitu *photo-grammetry*, *stereo vision*, dan *fringe projection* (Haleem & Javaid, 2019). Proses 3D Scanner dapat dilihat pada Gambar 2-15.

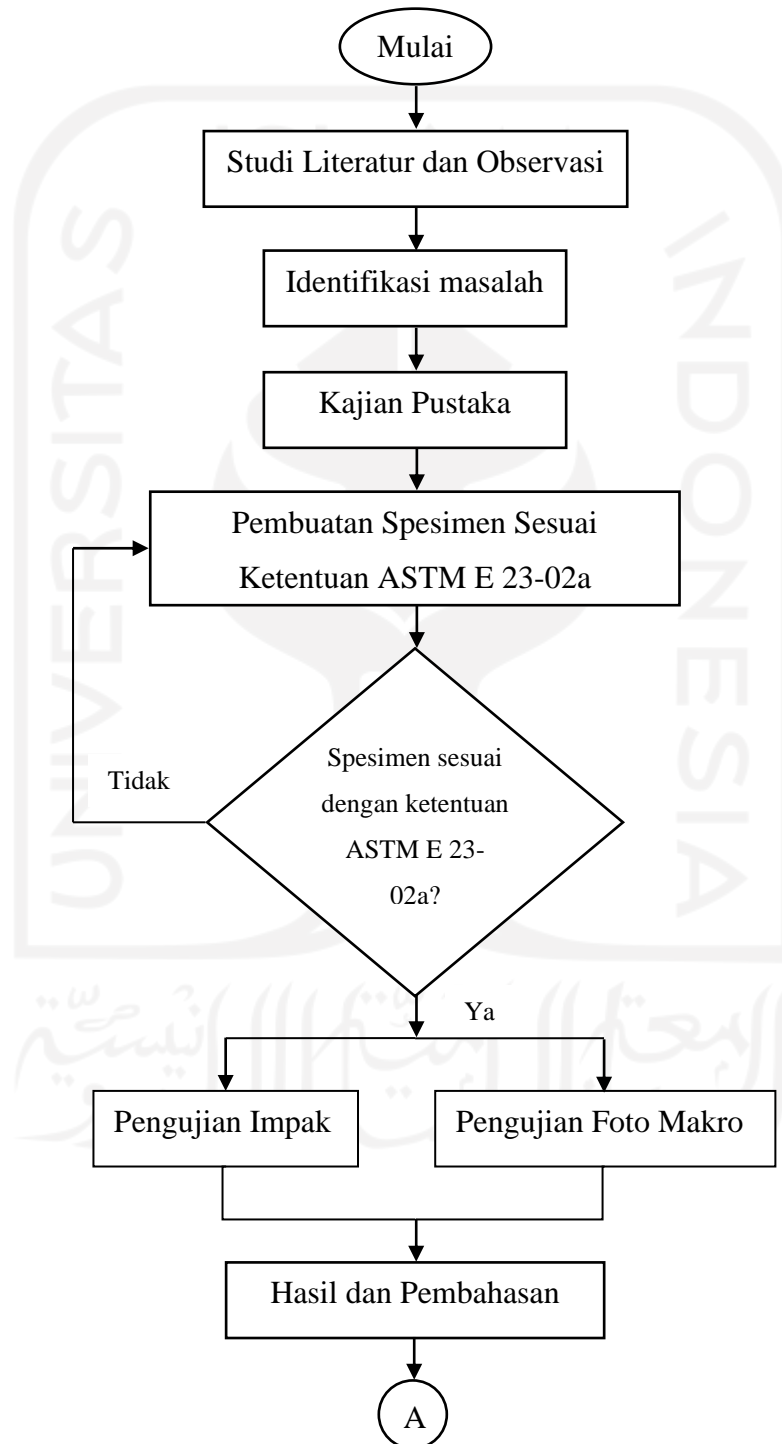


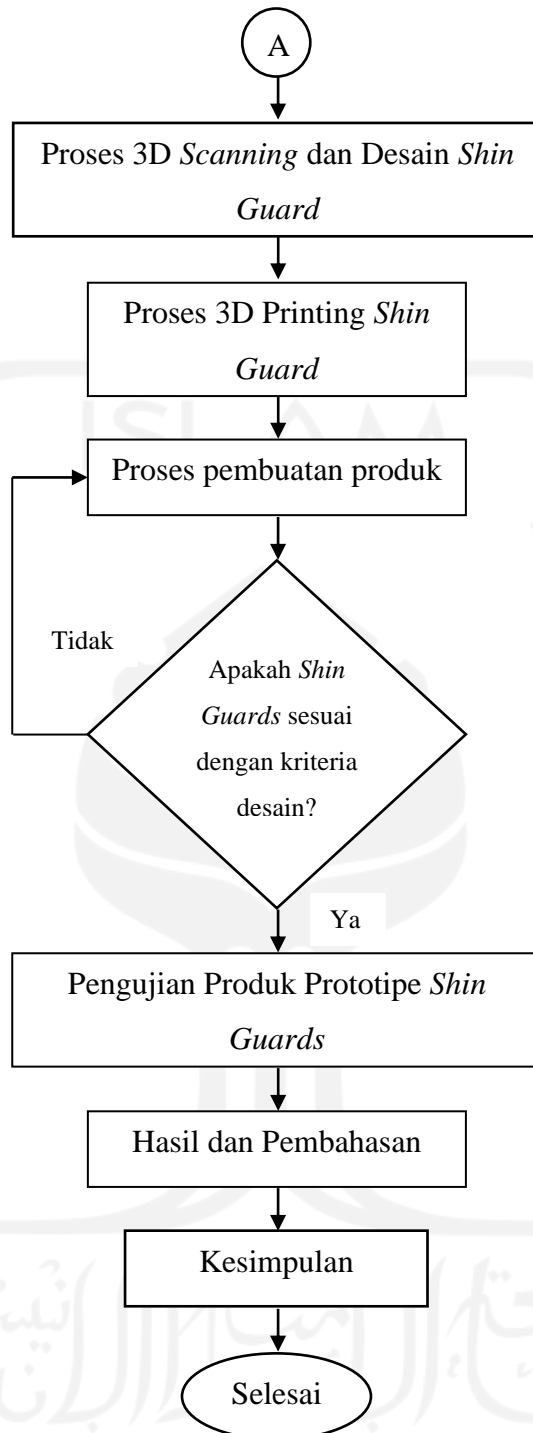
Gambar 2-15 Proses 3D Scanner
Sumber: (Hadinugroho, 2018).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian





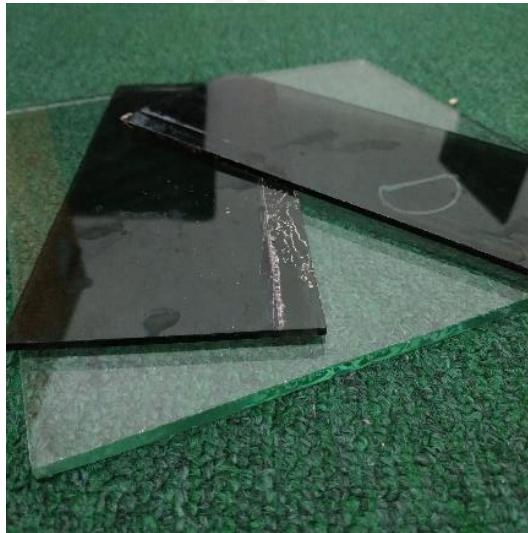
3.2 Persiapan Penelitian

3.2.1 Peralatan yang digunakan

Dalam pembuatan komposit serat eceng gondok alat-alat yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Cetakan Kaca

Pada pembuatan komposit menggunakan kaca yang berfungsi sebagai cetakan spesimen uji impact. Dalam pembuatan spesimen ini menggunakan cetakan kaca berukuran 180 cm x 80 cm. Untuk ketinggian dapat disesuaikan dengan standar spesimen uji yang akan dibuat.



Gambar 3-1 Cetakan kaca spesimen uji

2. Pipet

Pipet digunakan untuk mengukur seberapa banyak katalis yang dibutuhkan sebagai campuran resin sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan.



Gambar 3-2 Pipet

3. Kuas

Kuas berfungsi sebagai alat untuk meratakan resin dalam pembuatan komposit, supaya resin dapat mengalir secara merata keseluruhan bagian cetakan.



Gambar 3-3 Kuas

4. Sarung Tangan

Sarung tangan berfungsi sebagai pelindung tangan saat proses pembuatan komposit.



Gambar 3-4 Sarung tangan

5. Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan permukaan komposit yang tajam.



Gambar 3-5 Amplas

6. *Thinner*

Thinner berfungsi untuk membersihkan sisa-sisa resin yang menempel pada permukaan kaca, agar cetakan kaca dapat digunakan kembali.



Gambar 3-6 Thinner

Tabel 3-1 Tabel Alat-alat yang digunakan

No.	Alat dan Bahan	Kegunaan
1.	Timbangan Digital	Untuk menimbang berat bahan yang dibutuhkan
2.	Penggaris	Mengukur panjang serat sesuai keinginan
3.	Cutter	Memotong serat alam agar seragam
4.	Gunting	Merapikan serat yang melebihi cetakan spesimen
5.	Jangka Sorong Digital	Mengukur dimensi spesimen uji
6.	Gerinda/ Gergaji Besi	Memotong spesimen sesuai dengan ketentuan pengujian
7.	Sikat kawat	Untuk mengambil serat eceng gondok

3.2.2 Bahan-bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan komposit serat eceng gondok sebagai berikut.

1. Serat eceng gondok

Serat yang digunakan pada proses pembuatan komposit yaitu serat eceng gondok yang sudah dikeringkan dan dipotong secara memanjang sesuai kebutuhan. Supaya bentuk seragam, serat dipotong dengan ketebalan sebesar 3-5 mm dan panjang 200-300 mm.



Gambar 3-7 Serat eceng gondok

2. *Fiberglass*

Fiberglass digunakan sebagai bahan pelapisan *skin* pada komposit sandwich.



Gambar 3-8 *Fiberglass*

3. Resin

Resin digunakan sebagai matriks dalam pembuatan komposit ini. Resin yang digunakan adalah *Unsaturated Polyester Resin SHCP 268 BQTN*.



Gambar 3-9 Resin

4. Katalis

Katalis merupakan cairan yang berfungsi untuk mempercepat reaksi kimia pada resin agar mempercepat proses pengerasan. Katalis yang digunakan pada pembuatan komposit ini adalah jenis Katalis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*).



Gambar 3-10 Katalis

5. *Wax Release Agent*

Release Agent digunakan sebagai bahan pelicin permukaan cetakan, supaya mempermudah pelepasan spesimen uji pada cetakan kaca.



Gambar 3-11 Wax release agent

3.2.3 Perhitungan Komposisi Komposit

Dalam penelitian ini pembuatan campuran komposit menggunakan volume serat sebesar 30% dan total volume campuran matriks dan katalis adalah 70% (Hanifi dkk., 2020). Perhitungan komposisi komposit ini mengacu pada volume total dari cetakan. Berikut adalah perhitungan komposisi komposit merujuk pada persamaan (2.1).

Diketahui dimensi cetakan yang digunakan untuk pembuatan spesimen uji impact yaitu 180 mm x 80 mm x 5 mm.

1. Volume Cetakan

dalam pembuatan cetakan diasumsikan sebagai berikut:

$$Volume_{cetakan} = Volume_{komposit}$$

Maka bisa didapatkan volume komposit adalah

$$V_{komposit} = p_{cetakan} \times \ell_{cetakan} \times t_{cetakan} \quad (3-1)$$

$$\begin{aligned} Volume_{cetakan} &= 180 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \\ &= 144.000 \text{ mm}^3 \\ &= 144 \text{ cm}^3 \\ &= 144 \text{ ml} \end{aligned}$$

2. Massa Jenis Serat

Untuk mencari massa jenis serat menggunakan persamaan dengan membagi massa serat dan volume komposit, persamaan ini bisa diasumsikan sebagai berikut:

$$\rho_{\text{serat}} = \frac{m_{\text{serat}}}{V_{\text{serat}}} \quad (3-2)$$

Sedangkan untuk menentukan massa jenis serat bisa menggunakan Tabel 2-2 Karakteristik serat dibawah ini.

Massa jenis (gr/cm^3)	0,25
Sifat putih (whiteness) (%)	22,2
Kehalusan (fineness) (μ)	35
Kekuatan tarik (tensile strength) (MPa)	18 - 33

3. Volume Serat

Setelah diketahui volume dari cetakan akan mempermudah dalam penentuan serat sesuai kebutuhan.

$$\begin{aligned} Volume_{\text{serat}} &= 30\% \times Volume_{\text{cetakan}} \\ &= 30\% \times 144 \text{ ml} \\ &= 43,2 \text{ ml} \end{aligned}$$

Untuk volume serat sebesar 25% didapatkan sebesar 43,2 ml.

4. Massa Serat

Dengan menggunakan persamaan massa jenis, maka massa serat yang dibutuhkan tiap fraksi volume komposit dapat diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{\text{serat}} &= \rho_{\text{serat}} \times V_{\text{serat}} \\ &= 0,25 \text{ gr/cm}^3 \times 43,2 \text{ ml} \\ &= 10,8 \text{ gr} \end{aligned}$$

Dari hasil mencari massa serat diatas, maka serat yang dibutuhkan dalam pembuatan komposit sebesar 10,8 gr.

5. Volume Matriks dan Katalis

Untuk menentukan volume matriks dan katalis yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{matriks}} &= 70\% \times Volume_{\text{cetakan}} \\ &= 70\% \times 144 \text{ ml} \\ &= 100,8 \text{ ml} \end{aligned}$$

Dengan merujuk pada Tabel 2-3, maka massa matriks yang dibutuhkan dalam fraksi volume komposit adalah:

$$\begin{aligned} M_{matriks} &= \rho_{matriks} \times V_{matriks} \\ &= 1,13 \text{ gr/cm}^3 \times 100,8 \text{ ml} \\ &= 113,9 \text{ gr} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk penggunaan katalis sebesar 1% sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{katalis} &= 1\% \times Volume_{matriks} \\ &= 1\% \times 100,8 \text{ ml} \\ &= 1 \text{ ml} \end{aligned}$$

Atau,

$$\begin{aligned} M_{katalis} &= 1\% \times M_{matriks} \\ &= 1\% \times 113,9 \text{ ml} \\ &= 1,13 \text{ gr} \end{aligned}$$

Tabel 3-2 Hasil Perhitungan Komposisi Komposit Serat 30%

Komposisi Komposit Serat 30%	
Volume komposit	144 ml
Massa serat	10,8 gr
Massa resin	113,9 gr
Massa katalis	1,13 gr

3.2.4 Pembuatan Spesimen Uji Impak

3.2.4.1 Pembuatan *Core* Komposit *Sandwich*

Pada proses pembuatan komposit *sandwich* dengan serat eceng gondok menggunakan metode *hand lay-up*. Eceng gondok yang digunakan yaitu eceng gondok kering yang diambil dari Waduk Rawa Pening, Ambarawa. Untuk arah serat yang akan diteliti ada lima macam arah serat yaitu acak, 0°, 45°, dan 90°. Komposit *sandwich* ini menggunakan skin sebanyak 2 lapis menggunakan *Fiberglass Chopped Strand mat* atau biasa dikenal serat gelas acak.

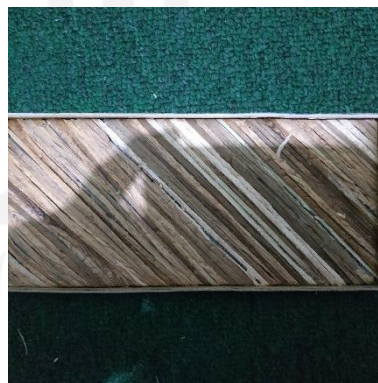
Untuk lebih jelasnya dibawah ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan spesimen uji:

1. Batang eceng gondok dipilih yang masih dalam keadaan bagus. Kemudian dikeringkan dengan cara dijemur selama 3-6 jam.
2. Batang eceng gondok dibelah menjadi dua bagian, kemudian dipotong memanjang. Untuk serat acak dipotong dengan ketebalan antara 3-5 mm, sedangkan serat lainnya dipotong dengan panjang serat 20-30 mm agar seragam.
3. Mempersiapkan cetakan yang sudah dibersihkan dan diberi *wax release agent* agar mempermudah dalam melepaskan spesimen uji dari cetakan.



(a)

(b)



(c)

Gambar 3-12 (a) Bahan komposit, (b) Arah serat 0° dan 90° , (c) Arah serat 45°

4. Mengatur serat eceng gondok ke dalam cetakan sesuai dengan perhitungan fraksi volume serat yang dibutuhkan.
5. Mencampurkan matriks/ resin dan katalis sesuai dengan perhitungan fraksi volume yang dibutuhkan, setelah itu dituangkan ke dalam cetakan.

6. Meratakan tuangan resin menggunakan kuas agar mengurangi *void* udara di dalam cetakan. Agar permukaan yang lainnya rata tutup menggunakan cetakan kaca.
7. Diamkan cetakan selama 8-12 jam supaya komposit kering sempurna.
8. Spesimen uji yang sudah kering sempurna dilepas dari cetakan.



Gambar 3-13 Spesimen (*core*) Komposit *sandwich*

3.2.4.2 Pelapisan *Skin Fiberglass* Komposit *Sandwich*

Pada proses pelapisan *skin fiberglass* metode yang digunakan adalah *hand lay-up*. Menurut (Sandi, 2019) penggunaan komposisi resin dan katalis yang optimal untuk melapisi *fiberglass* dengan dimensi spesimen 185 mm x 185 mm yaitu 30 ml dan katalis 1% dari volume resin. Untuk Langkah pertama yaitu mempersiapkan *fiberglass* yang sudah dipotong sesuai dengan dimensi spesimen uji. Setelah itu mencampurkan resin dan katalis. Kemudian meratakan resin yang sudah dituang pada kedua permukaan *core* komposit *sandwich* yang telah diberi *fiberglass* menggunakan kuas. Jepit permukaan *core* dengan cetakan kaca agar permukaan rata dan mengurangi *void* udara. Tunggu hingga kering sempurna selama 8-12 jam. Setelah kering lepas komposit dari cetakan kaca.

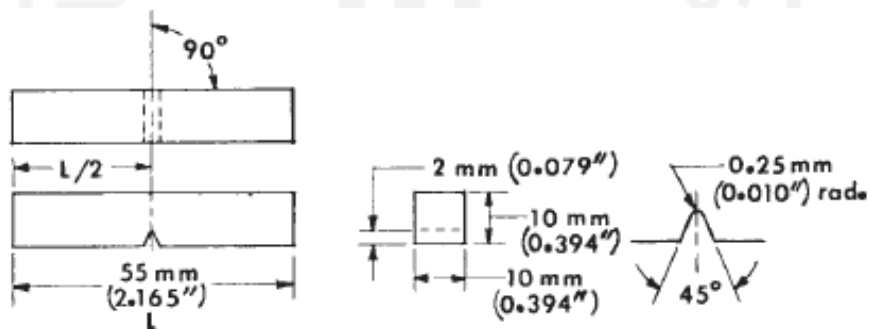


Gambar 3-14 Core Komposit sandwich yang sudah dilapisi skin fiberglass

3.3 Proses Pengujian Impak

3.3.1 Dimensi Spesimen Uji Impak

Proses pembuatan spesimen uji impact menggunakan ukuran standar yang sudah ada, yaitu ASTM E23 tipe A. Pengujian impact ini dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. Untuk standar dimensi spesimen pengujian ini dapat dilihat Gambar 3-15.



Gambar 3-15 Dimensi spesimen uji impact ASTM E23 tipe A

Dalam proses pembuatan spesimen pengujian ini masing-masing arah serat yang akan diteliti dibutuhkan sebanyak tiga buah. Untuk arah seratnya yaitu komposit arah serat acak, 0° , 45° , dan 90° , sedangkan perbandingan serat dan matriks adalah 30% : 70%. Berikut Gambar 3-16 merupakan spesimen uji yang sudah dipotong sesuai dengan standar.



Gambar 3-16 Spesimen uji impak serat eceng gondok

3.3.2 Proses Pengujian Impak

Pengujian impak ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar energi yang dapat diserap spesimen uji. Dalam pengujian pendulum akan berayun Kembali setelah menghantam spesimen uji. Berikut Gambar 3-17 Alat uji *Impact Charpy*.



Gambar 3-17 Alat uji *Impact Charpy*

Prinsip dasar pengujian ini adalah memberikan beban kejut pada spesimen uji, maka energi tersebut akan diserap spesimen sehingga menyebabkan patah. Energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen dihitung langsung dari perbedaan derajat energi potensial pendulum saat awal dijatuhkan dan setelah menghantam spesimen uji. Semakin besar energi yang dapat diserap spesimen uji maka semakin rendah ayunan pendulum, begitu juga sebaliknya. Supaya

spesimen patah, maka dibuat takikan berbentuk V sudut 45° atau U dengan kedalaman takikan 2-5 mm. Energi yang diserap spesimen dinyatakan *joule*. Metode pengujian impak yang digunakan adalah *Impact Charpy*.

3.4 Proses 3D Scanner

3.4.1 Kriteria Desain *Shin Guards*

Untuk menentukan desain *shin guards* supaya efektif saat digunakan dan tidak mengganggu penggunaannya diperlukan kriteria desain sebagai acuan desain. Dengan mengacu pada kriteria desain ini diharapkan tidak membahayakan penggunaannya, karena *shin guards* yang terlalu kecil tidak akan menutupi tulang kering dengan sempurna dan akan meningkatkan risiko cedera, sedangkan *shin guards* yang terlalu besar/ panjang akan mengganggu saat berlari dan dapat menyebabkan cedera. Maka dari itu, diperlukan desain yang sesuai dengan kaki pengguna supaya meningkatkan performa dan kenyamanan dalam bermain. Dikutip dari situs penjualan *shin guards*, www.soccer.com ketentuan pemilihan *shin guards* sebagai berikut:



Gambar 3-18 Pengukuran *shin guards* yang ideal

Sumber: (<https://www.soccer.com/guide/shin-guard-guide>)

Untuk mendapatkan ukuran *shin guards* yang ideal dengan cara mengukur kaki penggunaannya. Bagian yang harus terlindungi oleh *shin guards*, yaitu 50 mm di bawah lutut hingga lekukan pergelangan kaki. Sedangkan bentuk dari *shin guards* sebagai berikut:

a. *Ankle Shin Guards*



Gambar 3-19 *Ankle shin guards*

Sumber: (<https://www.soccer.com/guide/shin-guard-guide>)

Shin guards yang memberikan bantalan di bagian mata kaki untuk mengurangi cedera akibat benturan dan cedera keseleo. *Shin guards* ini diperuntukan untuk pemain muda karena sedikit berat.

b. *Strap Shin Guards*



Gambar 3-20 *Strap shin guards*

Sumber: (<https://www.soccer.com/guide/shin-guard-guide>)

Jenis *shin guards* yang diikat pada bagian kaki. *Shin guards* ini didesain untuk pengguna yang nyaman dengan *shin guards* yang berat.

c. *Slip-in Shin Guards*



Gambar 3-21 *Slip-in shin guards*

Sumber: (<https://www.soccer.com/guide/shin-guard-guide>)

Shin guards yang didesain dengan bobot yang ringan untuk memberikan mobilitas yang tinggi. *Shin guards* ini diperuntukan untuk pemain yang lincah dan tidak ingin terganggu dengan berat *shin guards*.

Dari hasil kriteria desain diatas, maka penelitian ini memilih jenis Slip-in *shin guards* untuk mendapatkan produk prototipe yang ringan, tipis, dan kuat serta sesuai dengan kaki penggunanya.

3.4.2 3D Scanning Kaki Pengguna

Dalam penelitian ini pembuatan *shin guards* akan disesuaikan dengan kaki penggunanya. Langkah pertama adalah melakukan proses 3D *scanning* pada kaki pengguna tersebut. Alur, jarak pemindaian dan pencahayaan sangat mempengaruhi hasil 3D *scan*, maka dari itu posisi pengguna dalam keadaan duduk kemudian posisi kaki lurus. Pemindaian dilakukan secara memutar objek serta naik dan turun mengikuti bentuk objek. Proses 3D *scanning* menggunakan bantuan alat 3D Scan Sense dan hasilnya akan langsung keluar pada *software* 3D Sense. Dapat dilihat pada Gambar 3-22.

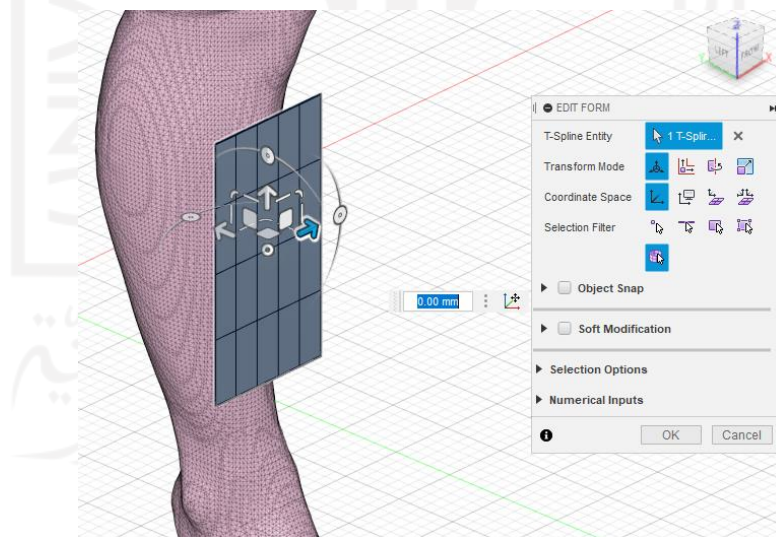


(a) (b)

Gambar 3-22 (a) Proses pemindaian 3D *scan*, (b) Hasil 3D *scanning*

3.4.3 Desain Produk Prototipe

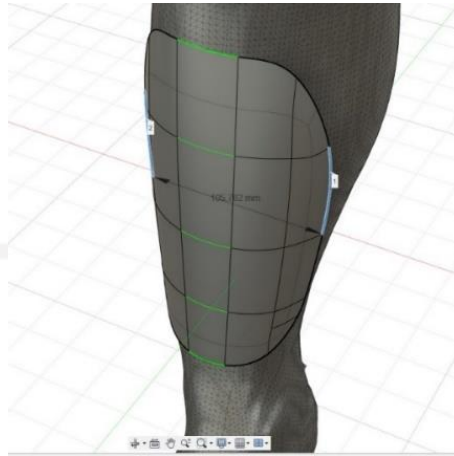
Setelah melakukan proses 3D *scanning* langkah selanjutnya adalah merubah format stl untuk mendesain produk pada *software* Fusion 360. Setelah objek sudah masuk pada *software* Fusion 360 kemudian *create form* pilih *tool plane* untuk membuat desain pada permukaan objek. Selanjutnya menentukan dimensi dari desain yang dapat disesuaikan dengan ukuran *shin guards* di pasaran.



Gambar 3-23 Pembuatan Desain

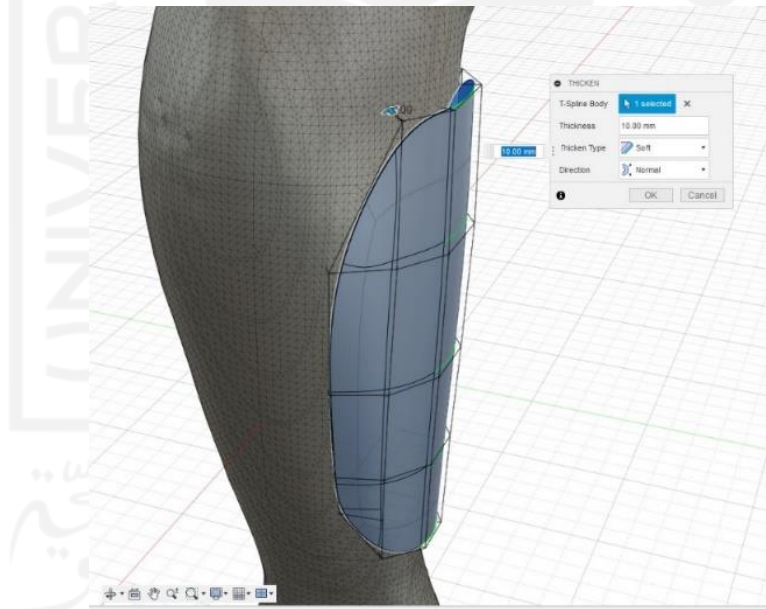
Setelah mengatur dimensi desain, kemudian pilih *subdivide* pada desain supaya desain terbagi menjadi beberapa bagian. Langkah selanjutnya pilih *edit form* untuk pembentukan desain, hal ini dilakukan dengan cara menarik, menskala derajat kelengkungan, dan memutar objek garis, *vertex* (titik) atau

permukaan dari *subdivide* sesuai desain yang akan dibuat. Proses desain ini disebut fitur *Free Form Modeling*, yang menggunakan teknologi T-Spline.



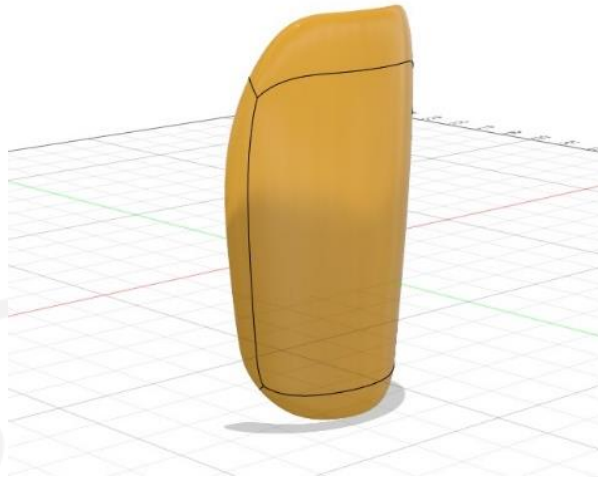
Gambar 3-24 Pembentukan desain

Kemudian mengatur ketebalan dari desain *shin guards* menggunakan tool *Thicken*. Parameter yang digunakan yaitu ketebalan sebesar 10 mm dan *thicken type* dipilih yang *soft* supaya bagian pinggir *shin guards* berbentuk *fillet*.



Gambar 3-25 Pengaturan ketebalan desain *shin guards*

Langkah selanjutnya adalah merubah format menjadi format.stl agar dapat diproses *3D printing*.



Gambar 3-26 Desain produk *shin guards*

3.5 Pengujian Pada Responden

Pengujian ini dilakukan untuk penilaian bagi penggunanya. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan kesempatan kepada responden untuk mencoba dan memberikan kritik atau saran terhadap desain produk prototipe *shin guards* untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Berikut adalah pertanyaan yang diajukan untuk pengujian prototipe kepada responden/pengguna.

1. Apakah *shin guards* berbahan dasar serat eceng gondok ini masih berat dibandingkan *shin guards* yang pernah anda pakai?
2. Apakah *shin guards* sudah cukup tipis dibandingkan *shin guards* yang pernah anda pakai?
3. Apakah *shin guards* sudah cukup kuat saat dipakai?
4. Apakah *shin guards* berbahan dasar serat eceng gondok nyaman saat dipakai?

Dengan mengajukan beberapa pertanyaan diatas, bertujuan untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan pada prototipe *shin guards* yang dibuat menggunakan metode 3D *scan* pada kaki penggunanya dan menggunakan komposit serat eceng gondok. Sehingga dapat dijadikan referensi untuk pengoptimalan pada penelitian selanjutnya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian dan Pembahasan Pengujian Impak

Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah pengujian impak *charpy*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam, Universitas Sanata Dharma. Dari pengujian impak ini didapatkan data yang selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan seberapa besar energi serap dan harga impak setiap variasi arah serat spesimen untuk mengetahui karakteristik setiap spesimen. Hasil data yang diperoleh nantinya akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Pengujian impak ini menggunakan alat dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4-1 Spesifikasi alat uji impak

Spesifikasi alat uji impak	
Alat Uji	Impact Charpy GOTECH GT-7045 TAIWAN R.O.C
Berat Pendulum	1,357 Kg
Panjang Jari-jari	39,48 cm (0,39 m)
Sudut α Tanpa Spesimen	145°

Agar memudahkan dalam membedakan variasi arah serat, spesimen diberikan kode A untuk variasi arah serat acak, B untuk variasi arah serat 0°, C untuk variasi arah serat 45° dan D untuk variasi arah serat 90°. Berikut hasil perhitungan pengujian impak dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-2 Hasil pengujian impact spesimen arah serat acak

Kode Spesimen	Sudut β	A_0 (mm^2)	Energi Serap (Joule)	Harga Impact (J/mm^2)
A1	135	64,93	0,60	0,0091
A2	136	71,55	0,53	0,0074
A3	137	68,51	0,47	0,0068
Rata-rata			0,53	0,0078

Tabel 4-3 Hasil pengujian impact spesimen arah serat 0°

Kode Spesimen	Sudut β	A_0 (mm^2)	Energi Serap (Joule)	Harga Impact (J/mm^2)
B1	140	65,94	0,28	0,0042
B2	135	68,61	0,60	0,0086
B3	135	67,14	0,60	0,0088
Rata-rata			0,49	0,0072

Tabel 4-4 Hasil pengujian impact spesimen arah serat 45°

Kode Spesimen	Sudut β	A_0 (mm^2)	Energi Serap (Joule)	Harga Impact (J/mm^2)
C1	136	58,96	0,53	0,0090
C2	138	61,46	0,40	0,0065
C3	136	63,33	0,53	0,0083
Rata-rata			0,48	0,0079

Tabel 4-5 Hasil pengujian impact arah serat 90°

Kode Spesimen	Sudut β	A_0 (mm^2)	Energi Serap (Joule)	Harga Impact (J/mm^2)
D1	133	74,84	0.73	0.0097
D2	132	68,79	0.80	0.0116
D3	134	75,83	0.66	0.0087
Rata-rata			0,73	0,0100

Dari data yang telah peroleh untuk mengetahui jarak penyimpangan data (sudut β) dapat menggunakan rumus standar deviasi (2-6).

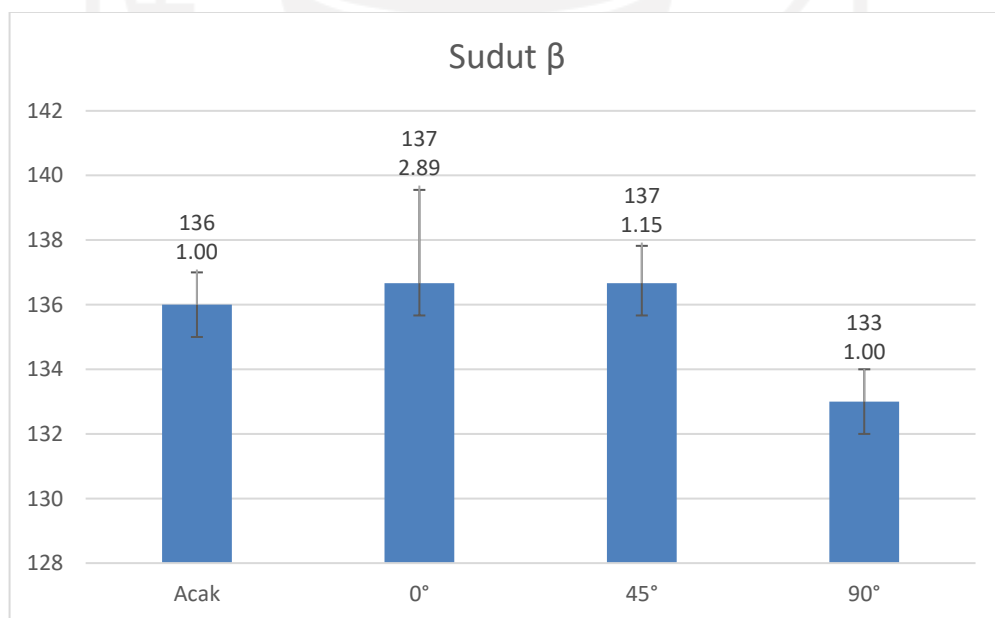
$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}$$

Berikut hasil perhitungan standar deviasi menggunakan Microsoft Excel

Tabel 4-6 Hasil Perhitungan standar deviasi

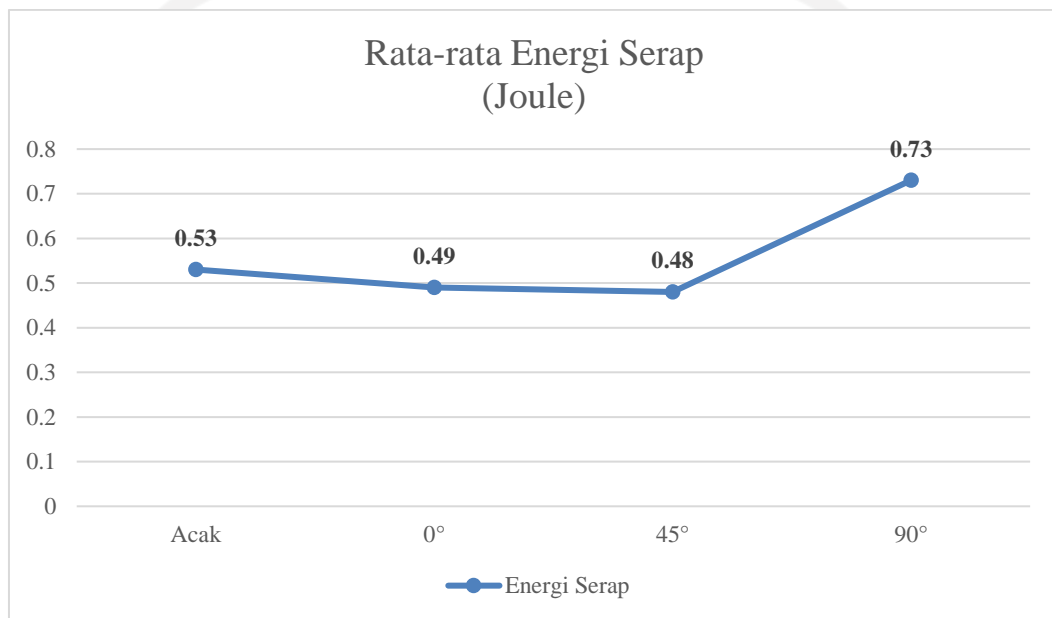
Spesimen	Rata-rata sudut β	Standar Deviasi
Acak	136	1,00
0°	137	2,89
45°	137	1,15
90°	133	1,00

Sehingga diketahui simpangan data/ standar deviasi yang didapat pada data sudut β *bar error* paling besar pada arah serat 0° karena standar deviasi terbesar yaitu 2,89, sedangkan yang terkecil pada arah serat acak dan 90° sebesar 1,00.

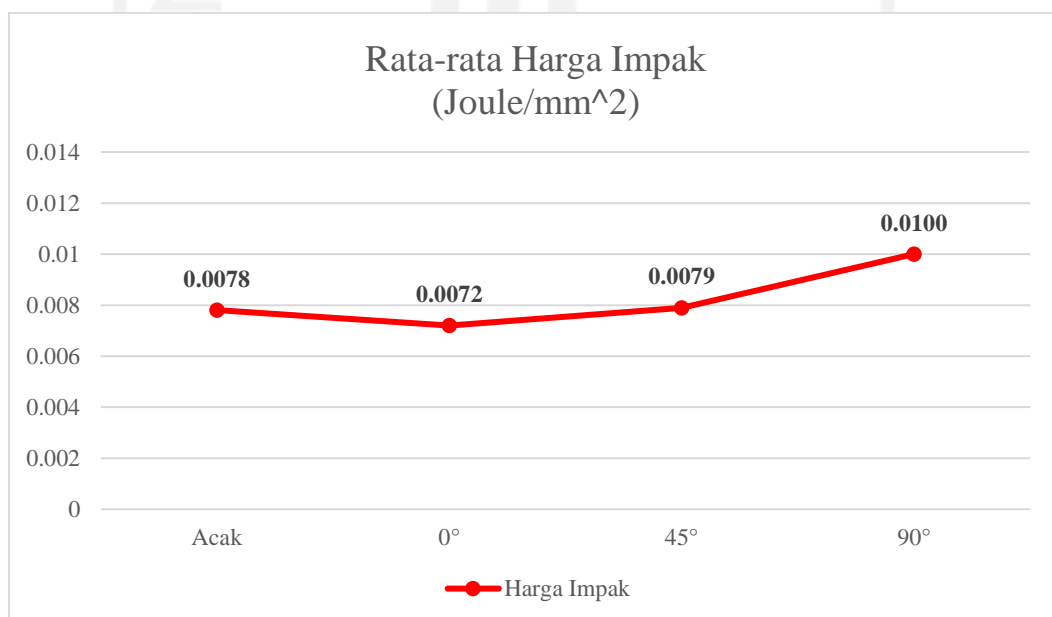


Gambar 4-1 Grafik standar deviasi terhadap sudut β

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data dari uji impak komposit *sandwich* serat eceng gondok tanpa perlakuan alkali diperoleh energi serap rata-rata untuk arah serat acak sebesar 0,53 Joule, untuk arah serat 0° sebesar 0,49 Joule, untuk arah serat 45° sebesar 0,48 Joule, dan arah serat 90° sebesar 0,73 Joule, Selanjutnya kekuatan impak rata-rata persatuan luas untuk arah serat acak adalah 0,0078 J/mm^2 , untuk arah serat 0° adalah 0,0072 J/mm^2 , untuk arah serat 45° adalah 0,0079 J/mm^2 , dan unuk arah serat 90° adalah 0,0100 J/mm^2 .



Gambar 4-2 Grafik hubungan energi serap dengan arah serat komposit



Gambar 4-3 Grafik hubungan kekuatan impak dengan arah serat komposit

Dari hasil grafik Gambar 4-2 diatas dapat disimpulkan bahwa energi serap spesimen mengalami penurunan. Dari keempat variasi arah serat tanpa perlakuan alkali energi serap rata-rata yang paling baik adalah arah serat acak^o sebesar 0,53 Joule (11%), sedangkan untuk serat yang memiliki harga serap paling optimal adalah arah serat 90^o dengan rata-rata sebesar 0.73 Joule (15%). Dalam penelitian (Martin dkk., 2018) menggunakan massa *impactor* 1 kg dijatuhkan pada ketinggian 100, 200, 300, dan 400 mm prototipe mampu menyerap energi sebesar 77% dan 81%. Hasil ini lebih baik daripada *shin guards* di pasaran yang dijadikan perbandingan. Selain itu, cara paling mudah untuk mengetahui spesimen mampu menyerap beban yaitu dengan besarnya sudut pendulum setelah menghantam spesimen uji. Semakin kecil sudut pendulum yang dihasilkan, maka semakin besar energi yang diserap, begitu juga sebaliknya.

Kemudian pada grafik Gambar 4-3 kekuatan impak dari pengolahan data mengalami peningkatan. Kekuatan impak rata-rata persatuan luas yang optimal adalah serat arah 90^o sebesar 0,0100 J/mm^2 hal ini dikarenakan arah serat tegak lurus dengan arah pembebanan sehingga spesimen mampu menyerap beban yang diterima. Dari data ini dapat disimpulkan semakin tinggi derajat arah serat maka semakin tinggi energi serap dan harga impak spesimen. Dalam kasus ini spesimen B memiliki kekuatan terendah dibanding spesimen lainnya. Hal ini disebabkan arah serat searah dengan arah pembebanan yang mengakibatkan kekuatan dan distribusi kekuatan serat tidak merata. Berikut spesimen setelah pengujian.



Gambar 4-4 Spesimen setelah pengujian

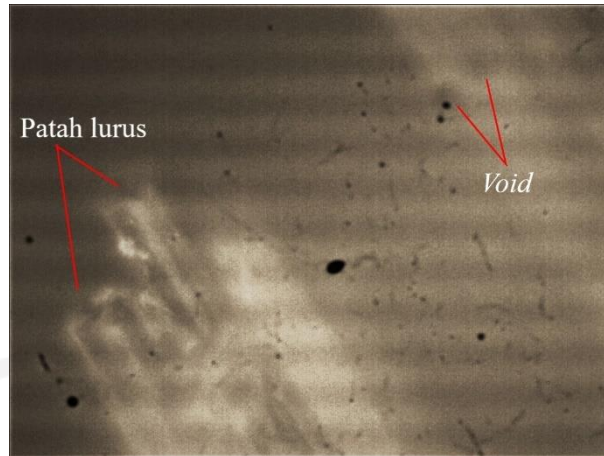
4.2 Pengamatan Foto Makro

Pada proses pengamatan foto makro dilakukan pada bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji impact. Dalam proses ini menggunakan dua alat yaitu, kamera untuk mengamati bentuk patahan secara fisik setelah mengalami uji impact dan alat foto makro untuk mengamati patahan pada serat. Foto makro ini menggunakan alat Krisbow Micro Shot MJ-22 dengan menggunakan perbesaran 40x.



Gambar 4-5 Kegagalan pada spesimen A

Pada Gambar 4-5 merupakan kegagalan secara fisik pada spesimen A (arah serat acak). Pada permukaan hasil patahan terlihat *amorphous* (permukaan mengkilap). Hal ini dijelaskan pada (ASTM, 2002) bahwa spesimen seperti pada gambar merupakan ciri-ciri spesimen yang bersifat getas. Kemudian kegagalan yang terjadi adalah *debonding* dan delaminasi. *Debonding* terjadi karena matriks tidak mengikat serat dengan sempurna. Kemudian delaminasi terjadi karena matriks tidak mengikat lapisan *skin* dengan *core* dengan sempurna.



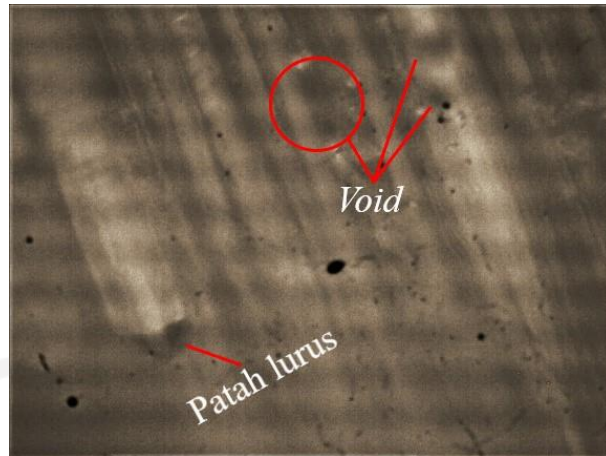
Gambar 4-6 Foto makro spesimen A

Pada gambar Gambar 4-6 patah yang terjadi adalah patah lurus dan adanya *void* pada spesimen menyebabkan berkurangnya kekuatan pada komposit karena ikatan antara serat dan matriks tidak maksimal. Hal ini terjadi karena pada saat proses pencetakan spesimen uji penuangan matriks tidak merata sehingga masih ada udara yang terjebak di dalam spesimen. Dari kegagalan ini dapat disimpulkan bahwa spesimen masih tergolong getas.



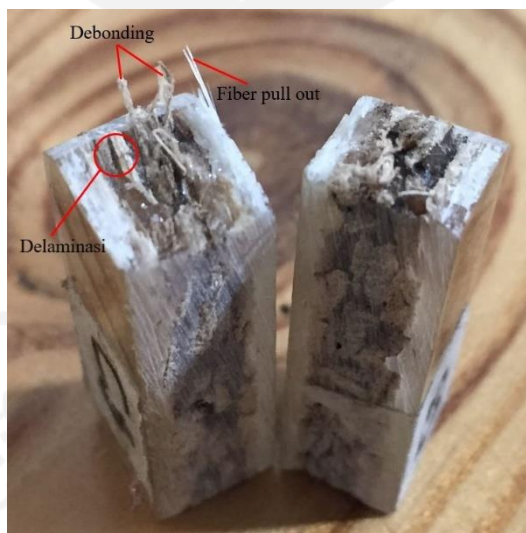
Gambar 4-7 Kegagalan pada spesimen B

Pada Gambar 4-7 ditunjukkan kegagalan yang terjadi pada spesimen B (arah serat 0°). kegagalan *debonding* ini terjadi disebabkan masih ada lapisan seperti lilin pada serat sehingga resin/ matriks tidak bisa mengikat serat secara sempurna. Kemudian kegagalan *fiber pull out* disebabkan kekuatan matriks lebih kecil daripada serat sehingga mengalami patah lebih awal dari pada serat.



Gambar 4-8 Foto makro spesimen B

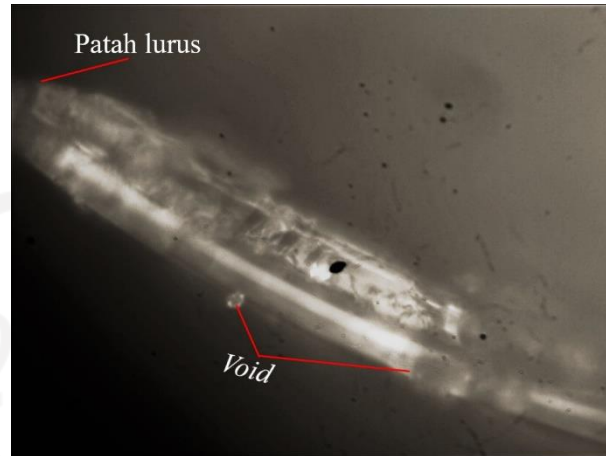
Selanjutnya pada pengamatan foto makro Gambar 4-8 masih terdapat *void* pada spesimen yang diamati. Hal ini terjadi karena pada saat proses pencetakan spesimen uji penuangan matriks tidak merata sehingga masih ada udara yang terjebak di dalam spesimen. *Void* ini juga akan menyebabkan berkurangnya kekuatan pada komposit karena ikatan antara serat dan matriks sedikit/ tidak ada sama sekali. Kemudian patahan yang terjadi pada spesimen yaitu patah lurus hal ini menunjukkan bahwa spesimen masih tergolong getas.



Gambar 4-9 Kegagalan pada spesimen C

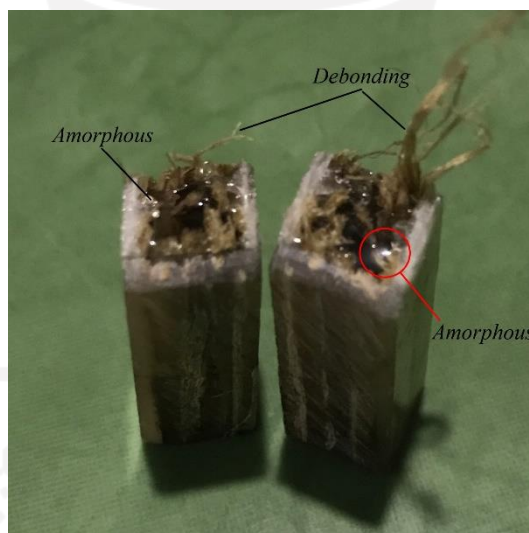
Pada Gambar 4-9 merupakan kegagalan yang terjadi pada spesimen C (arah serat 45°) jika dilihat secara fisik setelah mengalami pengujian impak. Kegagalan yang terjadi yaitu, *debonding* dan *fiber pull out*. Hal ini dikarenakan adanya lapisan seperti lilin pada serat, sehingga ikatan antara matriks dan serat tidak optimal. Selanjutnya terdapat kegagalan delaminasi pada spesimen karena

ikatan antara lapisan serat lemah setelah diberikan beban impact. Sedangkan patahan yang terjadi pada spesimen yaitu patah lurus hal ini menunjukkan spesimen getas.



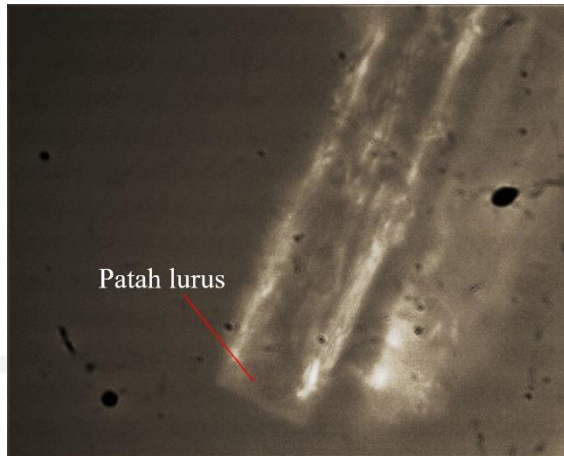
Gambar 4-10 Foto makro spesimen C

Kemudian pada Gambar 4-10 pengamatan foto makro pada spesimen C. masih terdapat *void* pada spesimen dan patahan yang terjadi pada serat adalah patah lurus hal ini menunjukkan spesimen termasuk spesimen getas.



Gambar 4-11 Kegagalan pada spesimen D

Pada Gambar 4-11 menunjukkan kegagalan secara fisik pada spesimen D, dimana spesimen ini spesimen yang memiliki kekuatan paling baik. Kegagalan yang terjadi seperti spesimen A yaitu adanya *amorphous* pada permukaan patahan. Hal ini menunjukkan spesimen termasuk getas.



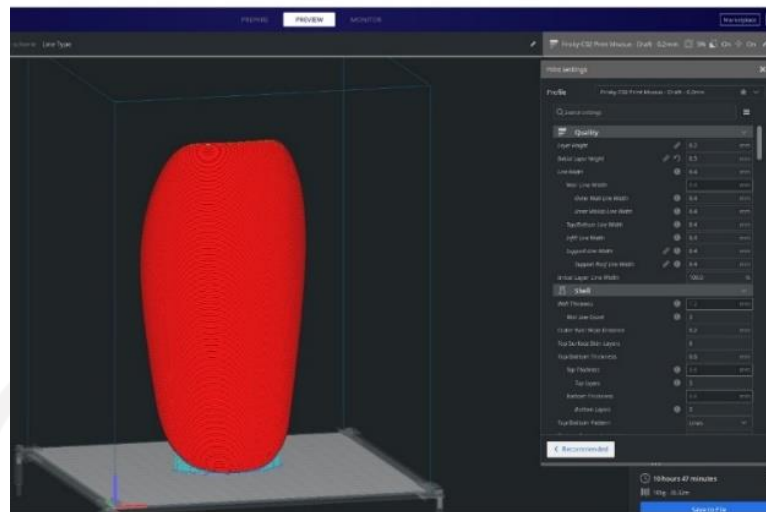
Gambar 4-12 Foto makro spesimen D

Pada Gambar 4-12 merupakan hasil pengamatan foto makro pada spesimen D. patahan yang terjadi adalah patah lurus yang menunjukkan bahwa spesimen masih termasuk material getas. Dari hasil pengamatan ini dapat disimpulkan semua spesimen masih dikatakan getas jika dilihat dari hasil pengujian, dilihat secara fisik dan bentuk patahan spesimennya.

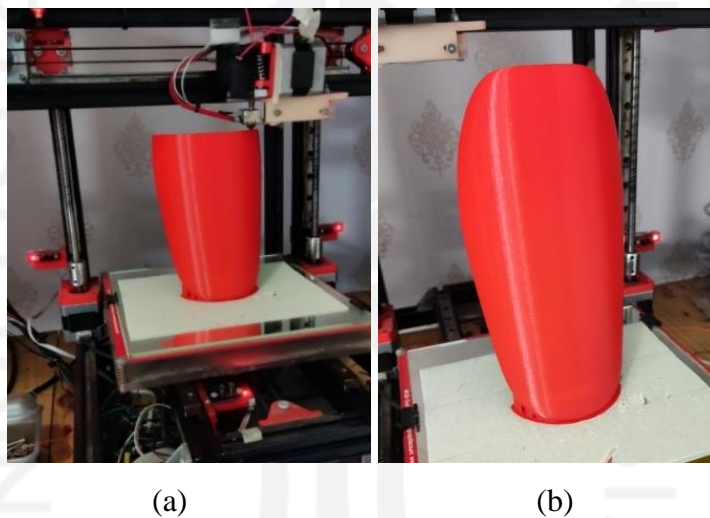
4.3 Hasil dan Pembahasan Perancangan *Shin Guards*

4.3.1 Proses 3D *Printing*

Pada pembuatan produk, langkah pertama yang dibutuhkan adalah pembuatan *master* cetakan. Pembuatan *master* cetakan menggunakan 3D *printing* dilakukan di Ruko Centilab, Yogyakarta yang membutuhkan waktu selama 11 jam. Proses 3D *printing* ini menggunakan mesin Gateform CO2 dengan bantuan *software* Cura dalam menentukan parameter. Parameter yang digunakan yaitu *infill* sebesar 10%.



Gambar 4-13 Proses menentukan parameter menggunakan software Cura



Gambar 4-14 (a) Proses pencetakan, (b) Hasil pencetakan

4.3.2 Proses Pembuatan Cetakan Produk Prototipe

Setelah melakukan proses pencetakan menggunakan 3D *printing* kemudian dilakukan proses *finishing*, hal ini dilakukan agar permukaan *master* cetakan halus dan memudahkan dalam melepas cetakan. Setelah proses finishing, kemudian memberikan pinggiran pada *master* dan menutup lubang-lubang dengan plastisin agar tetesan resin tidak langsung jatuh ke tanah.



Gambar 4-15 Proses *finishing master* cetakan



Gambar 4-16 Proses memberi pinggiran pada *master* cetakan

Dalam proses pembuatan cetakan menggunakan tiga lapis *fiberglass* acak, tetapi cetakan mengalami kegagalan yaitu resin tidak melapisi *fiberglass* dengan merata. Hal ini menyebabkan cetakan tidak halus dan getas. Dapat dilihat pada Gambar 4-17.



Gambar 4-17 Hasil cetakan getas

Setelah mengalami kegagalan, kemudian mengulangi proses pembuatan cetakan. Proses pembuatan cetakan menggunakan dua lapis *fiberglass* acak dan satu lapis *fiberglass* anyam (*Woven Roving Mat*). Hal ini bertujuan agar cetakan lebih kuat dan tidak getas.



Gambar 4-18 Hasil pembuatan cetakan kedua

4.3.3 Proses Pembuatan Produk Prototipe *Shin Guards*

Setelah melakukan proses pembuatan cetakan, proses selanjutnya adalah membuat produk prototipe *shin guards*. Dalam proses pembuatan produk prototipe untuk menentukan komposisi serat menggunakan perhitungan fraksi volume komposit. Dari perhitungan ini didapatkan komposisi serat sebesar 5,67 gr, sedangkan resin yang dibutuhkan sebanyak 59,79 gr serta dua lapis *fiberglass* untuk pelapisan *skin* pada komposit *sandwich*. Pembuatan produk prototipe *shin guards* ini menggunakan arah serat acak dengan pertimbangan estetika arah seratnya.



Gambar 4-19 Hasil produk prototipe yang telah kering

Setelah produk kering sempurna, kemudian dilakukan proses *finishing* pada produk prototipe yaitu dengan memotong bagian yang tidak diperlukan dan mengamplas permukaan yang tidak rata agar permukaan halus. Setelah permukaan halus bagian dalam *shin guards* diberi *sponate*. Produk prototipe ini memiliki dimensi 205 mm x 110 mm dengan ketebalan sebesar 3-4 mm dan berat total dari prototipe *shin guards* ini adalah 70 gr dan 75 gr. Dari hasil *finishing* masih terdapat *void* dan delaminasi pada permukaan *shin guards* serat eceng gondok. Hal ini disebabkan kurangnya *press molding* saat proses pembuatan dan *curing time* (waktu pengerasan) matriks/resin terlalu cepat. Kegagalan ini dapat diminimalisir dengan metode *vacuum infusion* atau *vacuum bagging*. Karena metode ini mengurangi udara yang terjebak saat proses mencetak prototipe.



Gambar 4-20 Produk prototipe yang sudah diproses *finishing*

Kemudian prototipe dibandingkan dengan produk yang ada di pasaran. Dalam perbandingan ini menggunakan *Shin guards* merek Specs. Produk *Shin guards* ini memiliki dimensi sebesar 164 mm x 137 mm dengan ketebalan 7 mm serta berat total yaitu 55 dan 60 gr.



Gambar 4-21 Produk merek Specs

4.4 Hasil Pengujian Produk prototipe *Shin Guards*

Hasil pengujian produk diatas, responden sudah merasa nyaman dengan bentuk yang telah didesain. Dari bentuk lingkaran *shin guards* sudah sesuai dengan lingkaran kaki kering responden. Disisi lain responden memberi masukan pada ketebalan dari *shin guards*. Menurutnya jika dibandingkan dengan produk yang pernah dipakai *shin guards* ini sedikit lebih tebal, sedangkan berat dari *shin guards* menurut responden sudah cukup ringan. Dari data ini dapat disimpulkan untuk desain *shin guards* sudah nyaman digunakan, sedangkan dalam segi kekuatan *shin guards* ini masih belum mampu mencapai kekuatan impak yang diinginkan.



Gambar 4-22 Produk prototipe dipakai responden

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Telah dibuat prototipe *shin guards* yang nyaman sesuai dengan bentuk tulang kering penggunaannya. Dalam percobaan kepada responden desain *shin guards* nyaman saat digunakan tetapi masih sedikit berat.
2. Arah serat sangat mempengaruhi besarnya kekuatan impact yang didapat. Nilai kekuatan impact optimal didapatkan pada komposit eceng gondok adalah arah serat 90° sebesar 0,0100 J/mm², karena arah pembebanan tegak lurus dengan arah serat sehingga serat mampu menyerap energi pembebanan lebih besar dari arah serat lainnya.
3. Dari hasil pengamatan foto makro terdapat kegagalan pada spesimen, yaitu *amorphous*, *debonding*, *fiber pull out*, dan delaminasi serta bentuk patahan lurus. Hasil pengujian impact menunjukkan bahwa semua spesimen belum mampu mencapai kekuatan yang diinginkan (spesimen getas).

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Menggunakan metode *vacuum infusion* atau *bagging* pada komposit supaya mengurangi *void* pada komposit dan terjadi kegagalan delaminasi pada lapisan serat dan matriks menyebar secara merata.
2. Menggunakan serat anyam (*Woven Roving*) sebagai *skin* komposit *sandwich* supaya lebih kuat atau bahan lainnya yang mampu menambah kekuatan untuk dijadikan *skin* komposit *sandwich*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, E. (Ed.). (2002). *ASTM E23-02a*. ASTM E23 Standard E23, 2002.
<http://www.astm.org/>
- Azwar, A., Ismy, A. S., & Saifuddin, S. (2016). Penguatan Kayu dan Plywood Melalui Proses Sandwich Dengan Komposit Polyester Serat Gelas Untuk Bahan Pembuatan Perahu. *Jurnal POLIMESIN*, 14(1), 14.
<https://doi.org/10.30811/jpl.v14i1.296>
- Boden, B. P. (1998). Leg Injuries and Shin Guards. *Clinics in Sports Medicine*, 17(4), 769–777. [https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(05\)70117-4](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(05)70117-4)
- Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering* (7th ed). John Wiley & Sons.
- Diharjo, K., & Triyono, T. (2003). Buku Pegangan Kuliah Material Teknik. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ermawan, A. A. (2018). *Penambahan Persentase Serat dan Jumlah Lapisan (1-3) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Fiberglass Polyester (YUKALAC C-108 B JUSTUS)* (Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta).
- Fathoni, A. (2019). *Pemanfaatan Limbah Bulu Ayam* (Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta). dspaceuii.
- Francisco, A. C., Nightingale, R. W., Guilak, F., Glisson, R. R., & Garrett, W. E. (2000). Comparison of Soccer Shin Guards in Preventing Tibia Fracture. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(2), 227–233.
<https://doi.org/10.1177/03635465000280021401>

- Gibson, Ronald. F. (1994). *Principles of Composite Materials*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Hadinugroho, R. N. (2018). *Perancangan Ulang Penghapus Whiteboard Menggunakan Metode Reverse Engineering*. 72.
- Haleem, A., & Javid, Mohd. (2019). 3D scanning applications in medical field: A literature-based review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(2), 199–210. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2018.05.006>
- Hanifi, B. Q. I., Purwanto, H., & Syafa'at, I. (2020). *Pengaruh Variasi Susunan Serat Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Dengan Resin Polyester Sebagai Bahan Komposit Alternatif Rompi Anti Peluru* (Universitas Wahid Hasyim).
- Jones, R. M. (1998). *Mechanics of Composite Materials*. CRC press.
- Lukkassen, D., & Meidell, A. (2007). Advanced Materials and Structures and their Fabrication Processes. *Narvik University College, HiN*, 255.
- Maliku, L., Gunawan, Y., & Aminur, A. (2015). Pengaruh Komposisi Campuran Hardener Dengan Resin Polyester Terhadap Kuat Tarik dan Bending Polimer Thermoset. *Dinamika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(2). <https://doi.org/10.33772/djitm.v5i2.259>
- Martin, A. C., Campelo, M. I., Munoz, L. M., Ferradas, M. I. R., Camo, P. M., & Munoz, S. A. (2018). *Design and Manufacturing of Shin Pads with Multi-Material Additive Manufactured Features for Football Players: A Comparison with Commercial Shin Pads*. *Journal of Sports Engineering and Technology*.

- Nawanti, P. D. (2018). *Serat Eceng Gondok Sebagai Filler Komposit Peredam Suara*. 109.
- Nayiroh, N. (2013). *Teknologi Material Komposit*. 21.
- Prasetyaningrum, A., Rokhati, N., & Rahayu, A. K. (2009). *Optimasi Proses Pembuatan Serat Eceng Gondok Untuk Menghasilkan Komposit Serat Dengan Kualitas Fisik dan Mekanik Yang Tinggi*.
- Putera, R. D. H. (2012). *Ekstraksi Serat Selulosa dari Tanaman Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) dengan Variasi Pelarut*. 85.
- Putri, L. D., & Mahyudin, A. (2019). *Analisis Pengaruh Persentase Volume Serat Eceng Gondok dan Serat Pinang Terhadap Sifat Mekanik dan Biodegradasi Komposit Hibrid Matriks Epoxy* (Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang).
- Sandi, W. (2019). *Penggabungan Metode 3D Printing dan Hand Lay-Up Untuk Pembuatan Komposit Pada Produk Cover Velg Mobil Mikro*. 57.
- Schwartz, M. M. (1984). *Composite Materials*. McGraw-Hill; /z-wcorg/.
- SHCP 268B QTN Resin. (2014). Fiberglass (A/Asia) Sales Pty Ltd.
- Syahrial, A. Z., & Huda, N. (2018). *Studi Pengaruh Orientasi Serat Komposit FRP Terhadap Kekuatan Lambung Kapal Menggunakan Metode Elemen Hingga* (<https://library.ui.ac.id/>).
- Tatar, Y., Ramazanoglu, N., Camliguney, A. F., Saygi, E. K., & Cotuk, B. (2014). *The Effectiveness of Shin Guards Used by Football Players*. 8.
- Waluyo, D. A. (2021). *Pembuatan Orthosis Tangan Menggunakan Metode Reverse Engineering dan Rapid Prototyping* (Universitas Islam Indonesia).

Winata, R. C. A. (2011). *Studi Pengomposan Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) dan Jerami Padi Dengan Penambahan Biodekomposer* (UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang). UIN Maulana Malik Ibrahim.

Yudo, H., & Kiryanto. (2012). Analisa Teknis Rekayasa Serat Eceng Gondok Sebagai Bahan Pembuatan Komposit Ditinjau dari Kekuatan Tarik. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*, 5(1), 37–41.
<https://doi.org/10.14710/kpl.v5i1.2665>



Kode Spesimen	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman takikan (mm)	Lebar bawah takikan (mm)
A1	9,12	9,20	2,08	7,12
A2	9,08	9,90	2,02	7,88
A3	9,36	9,35	2,03	7,32
B1	8,96	9,46	2,10	7,36
B2	9,10	9,82	2,28	7,54
B3	9,00	9,64	2,18	7,46
C1	8,40	9,00	1,98	7,02
C2	8,42	9,30	2,00	7,30
C3	8,40	9,56	2,02	7,54
D1	9,51	9,85	1,98	7,87
D2	9,21	9,46	1,99	7,47
D3	9,66	9,85	2,00	7,85
E1	8,62	10,00	1,94	8,06
E2	8,81	10,03	1,97	8,06
E3	8,94	9,78	1,99	7,79

DATA PENGUJIAN IMPAK

MESIN UJI : Impact Charpy GOTECH GT – 7045 TAIWAN R.O.C
BERAT PENDULUM : 1,357 Kg
PANJANG JARI-JARI : 39,48 Cm
SUDUT α TANPA BENDA : 145°

KODE SPESIMEN	SUDUT β
A 1	135°
A 2	136°
A 3	137°

KODE SPESIMEN	SUDUT β
B 1	140°
B 2	135°
B 3	135°

KODE SPESIMEN	SUDUT β
C 1	136°
C 2	138°
C 3	136°




Martana D N

DATA PENGUJIAN IMPAK

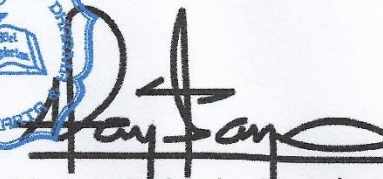
MESIN UJI : Impact Charpy GOTECH GT – 7045 TAIWAN R.O.C
BERAT PENDULUM : 1,357 Kg
PANJANG JARI-JARI : 39,48 Cm
SUDUT α TANPA BENDA : 145°

KODE SPESIMEN	SUDUT β
D 1	133°
D 2	132°
D 3	134°

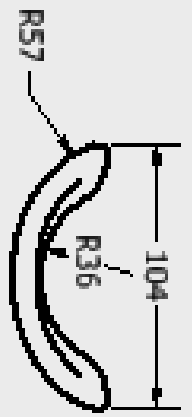
KODE SPESIMEN	SUDUT β
D 1	129°
D2	128°
D 3	123°

Yogyakarta, 01 September 2021

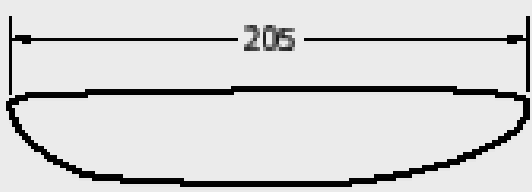
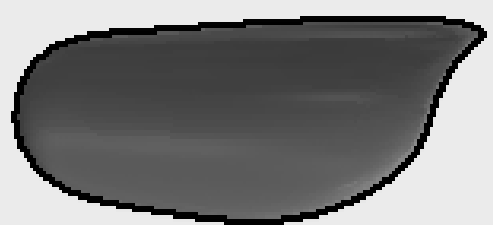
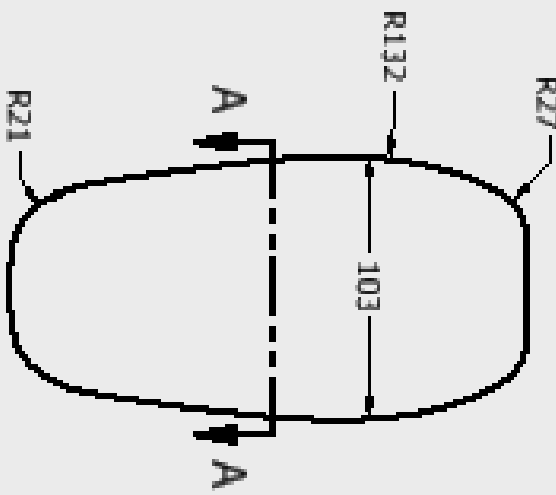
Petugas Laboratorium Manufaktur



Martana Dwiyaning Nugroho



SECTION A-A
SCALE 1 : 3



	Skala: 1 : 3	Nama: Moh. Yasir Amri	Kode:
	Satuan: mm	NIM: 18025055	
Tanggal: 04/07/2021	Diperiksa: Faisal Anif Mungasing, ST., M.Sc	Sifat: Guards	No: 1
Teknik Mesin - FTI UII			A4