

**PEMBUATAN *SHIN GUARDS* ALAT PELINDUNG KAKI
UNTUK OLAHRAGA SEPAK BOLA YANG DICETAK
MENGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTING**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

**Nama : Fandy Maljumriyansyah
No. Mahasiswa : 20525046
NIRM : 2001060072**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Bismillahirrahmanirrahim, dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini merupakan hasil kerja saya sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, kecuali kutipan dan ringkasan yang saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila kemudian terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima hukuman/sanksi sesuai hukum yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 1 Agustus 2025



Fandy Majunriyansyah

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMBUATAN *SHIN GUARDS* ALAT PELINDUNG KAKI
UNTUK OLAHRAGA SEPAK BOLA YANG DICETAK
MENGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTING**

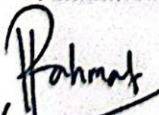
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

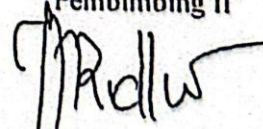
Nama : Fandy Maljumriyansyah
No. Mahasiswa : 20525046
NIRM : 2001060072

Yogyakarta, 17 Juli 2025

Pembimbing I,


Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

Pembimbing II


Ir. Muhammad Ridwan, S.T., M.T., IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PEMBUATAN SHIN GUARDS ALAT PELINDUNG KAKI
UNTUK OLAHRAGA SEPAK BOLA YANG DICETAK
MENGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTING**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Fandy Maljumriyansyah

No. Mahasiswa : 2055046

NIRM : 2001060072

Tim Penguji

Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

Ketua

Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP

Anggota I

Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.

Anggota II

Rahmat

Tanggal : 07/08/2025

Ridlwan

Tanggal : 06/08/2025

Finny

Tanggal : 4 Agustus 2025

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT dan Rasulullah SAW, tugas akhir ini saya persembahkan untuk Bapak Wahyudi, Ibu Fitri Anita, Adik Herfan Kurniawan, Adik Faeyzha Alfarizki yang selalu memberikan doa, dukungan, dan cinta tanpa batas sepanjang perjalanan hidup dan pendidikan saya. Kepada keluarga tercinta yang senantiasa menjadi sumber semangat dalam setiap langkah.

HALAMAN MOTTO

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan."

(QS. Al-Insyirah: 6)

"Dan katakanlah: 'Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan.'"

(QS. Taha: 114)

"Barang siapa bertakwa kepada Allah niscaya Dia akan mengadakan baginya jalan keluar, dan memberinya rezeki dari arah yang tiada disangka-sangkanya."

(QS. At-Talaq: 2–3)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb

Alhamdulillahirabbil ‘alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul " **PEMBUATAN SHIN GUARDS ALAT PELINDUNG KAKI UNTUK OLAHRAGA SEPAK BOLA YANG DICETAK MENGGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTING**". Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana pada Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

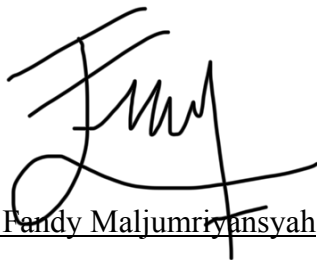
1. Allah SWT karena atas limpahan rahmat-Nya dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Wahyudi dan Ibu Fitri Anita yang selalu memberikan semangat, doa, kasih sayang, serta dukungan moril dan materil yang tak ternilai.
3. Saudara – saudara penulis yaitu Herfan Kurniawan dan Faeyzha Alfarizki yang memberikan lelucon, dorongan dan semangat untuk tidak menyerah.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., IPP selaku Ketua Program studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Rahmat Riza, S.T., M.Sc., ME. Selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, nasihat dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
7. Teman – teman di Kalimantan Utara dan teman – teman seperjuangan di jogja terima kasih kalian teman yang memberikan lelucon dan tidak

lupa memberikan semangat untuk penulis agar menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Dhea Dining Octavia seseorang yang selalu membantu setiap kendala yang ada dalam pengerjaan skripsi ini, selalu menemani penulis, yang selalu sabar, dan memberikan semangat kepada penulis.
9. Diri sendiri karena ketika di awal semester IPK penulis sempat di bawah rata – rata oleh karena itu harus belajar ekstra hingga penulisan tugas akhir ini selesai, terima kasih karena selalu percaya bahwa rintangan pasti dapat dilewati dan badi pasti berlalu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap laporan ini dapat digunakan sebagaimana mestinya serta memberikan manfaat baik bagi penulis sendiri maupun bagi para pemaca yang tertarik. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih. Wassalamualaikum Warahmatullahi Wa Barokatuh.

Yogyakarta, 14 Juli 2025



Pandy Maljumriyansyah

ABSTRAK

Pembuatan *shin guard* menggunakan material ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) dimulai dengan proses pemilihan bahan dasar. ABS dipilih karena material ini memiliki sifat yang kuat, tahan terhadap benturan, dan ringan, sehingga cocok untuk melindungi tulang kering saat bermain sepak bola atau olahraga lainnya. Proses pembuatan *shin guard* dimulai dengan merancang desain yang ergonomis dan sesuai dengan bentuk tulang kering. Desain ini dibuat menggunakan software CAD untuk memastikan presisi bentuk dan dimensi. Setelah desain siap, dilakukan proses pencetakan menggunakan mesin 3D print. Yang dimana file *design* dari aplikasi CAD di *save* dengan format STL kemudian di ekspor ke 3D print agar bisa dilanjutkan ke proses pencetakan. Setelah *shin guard* berbahan ABS selesai dibentuk, tahap berikutnya adalah memberikan pelapisan dengan teknik *carbon water transfer printing*. Pertama-tama, permukaan *shin guard* dipersiapkan dengan membersihkannya dan mengaplikasikan lapisan dasar (primer) agar pola karbon bisa menempel dengan baik. Kemudian, film khusus yang mengandung pola karbon serat diletakkan di atas permukaan air dalam tangki transfer. Ketika film tersebut larut di air, *shin guard* dicelupkan dengan hati-hati ke dalam air, sehingga pola karbon menempel merata di seluruh permukaannya. Setelah proses transfer selesai, *shin guard* dikeringkan dan dilapisi dengan *clear coat* atau lapisan pelindung bening untuk melindungi hasil cetakan dari goresan dan memberikan tampilan mengkilap. Lapisan pelindung ini juga memastikan ketahanan pola terhadap kondisi pemakaian yang berat dan menambah daya tarik estetika dengan tampilan seperti serat karbon asli.

Kata kunci: 3D printing, ABS, carbon film water transfer printing, shin guards

ABSTRACT

Making shin guards using ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) material begins with the basic material selection process. ABS was chosen because this material is strong, resistant to impact and light, making it suitable for protecting the shins when playing football or other sports. The process of making shin guards begins with designing an ergonomic design that fits the shape of the shin bones. This design was created using CAD software to ensure precision in shape and dimensions. Once the design is ready, the printing process is carried out using a 3D printing machine. This is where the design file from the CAD application is saved in STL format and then exported to 3D print so that it can continue with the printing process. After the ABS shin guard has been formed, the next stage is to apply a coating using the carbon water transfer printing technique. First of all, the surface of the shin guard is prepared by cleaning it and applying a base coat (primer) so that the carbon pattern can stick well. Then, a special film containing carbon fiber patterns is laid on the water surface in the transfer tank. When the film dissolves in water, the shin guard is carefully dipped in water, so that the carbon pattern adheres evenly across its surface. After the transfer process is complete, the shin guard is dried and coated with a clear coat or clear protective layer to protect the print from scratches and give it a shiny appearance. This protective coating also ensures the pattern's resistance to harsh wear conditions and adds aesthetic appeal with a real carbon fiber appearance.

Key words: 3D printing, ABS, carbon film water transfer printing, shin guards

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar	vi
Abstrak	viii
Abstract.....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Notasi.....	xiv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Alat Pelindung Diri	6
2.2.2 Jenis Alat Pelindung Diri dalam Sepak Bola	7
2.2.3 <i>Shin Guards</i>	8
2.2.4 Desain.....	8
2.2.5 ABS (<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>).....	9
2.2.6 <i>Reverse Engineering</i>	9
2.2.7 <i>Computer Aided Design</i>	10
2.2.8 <i>3D Scanning</i>	11

2.2.9	3D Printing	12
2.2.10	Uji Benturan Nocsae ND090	13
Bab 3	Metode Penelitian	15
3.1	Alur Penelitian	15
3.2	Peralatan dan Bahan.....	16
3.3	Kriteria Desain	20
3.4	Perancangan	20
3.4.1	Pemindaian Menggunakan 3D <i>Scan</i>	20
3.4.2	Desain Menggunakan <i>Software Solidworks</i>	20
3.4.3	Pembuatan Produk Menggunakan 3D <i>Printing</i>	21
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	22
4.1	Proses Perancangan Produk	22
4.1.1	Pengukuran Manual.....	22
4.1.2	3D <i>Scanning</i>	23
4.1.3	Desain Menggunakan <i>SolidWorks</i>	24
4.2	Analisis Kekuatan Material	25
4.3	Proses Pembuatan <i>Prototype</i>	26
4.3.1	Proses 3D <i>Printing</i>	26
4.3.2	Proses Lem Busa Bantalan	27
4.4	Pengujian Nocsae ND090.....	30
Bab 5	Penutup.....	33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	33
Daftar Pustaka	34
Lampiran 1	Laporan Tugas Akhir	36

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Laptop	16
Tabel 3.2	Spesifikasi 3D <i>Scan Sanse Pro</i>	17
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan Pengujian Nocsae ND090	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Reverse Engineering	9
Gambar 2.2	<i>Computer Aided Design</i>	11
Gambar 3.1	3D <i>Printing</i> Bambu Lab P1S.....	16
Gambar 3.2	Filamen ABS	17
Gambar 3.3	3D <i>Scan Sanse Pro</i>	18
Gambar 3.4	Amplas P400.....	18
Gambar 3.5	Lem Taco	19
Gambar 3.6	Busa Bantalan	19
Gambar 3.7	<i>Carbon Water Transfer Printing</i>	20
Gambar 4.1	Mengukur Panjang <i>Shin Guards</i>	22
Gambar 4.2	Mengukur Lebar	23
Gambar 4.3	Hasil Desain Pengukuran Manual	23
Gambar 4.4	Hasil Modifikasi	23
Gambar 4.5	Proses Pemindaian	24
Gambar 4.6	Hasil Pemindaian	24
Gambar 4.7	Hasil Improvisasi Desain.....	25
Gambar 4.8	Hasil Simulasi Stress	26
Gambar 4.9	Proses Menentukan Parameter Menggunakan <i>Software</i> Bambu Studio.....	27
Gambar 4.10	Hasil <i>Prototype</i> ABS	27
Gambar 4.11	Proses Pengamplasan Permukaan <i>Shin Guards</i>	28
Gambar 4.12	Proses Pembuatan Pola pada Busa	29
Gambar 4.13	(a) Proses Pemberian Lem pada <i>Shin Guards</i> , (b) Proses Pemberian Lem di Busa.....	29
Gambar 4.14	Produk <i>Prototype</i> yang Sudah di Pasangi Busa.....	30
Gambar 4.15	Hasil Cetak Pengukuran Manual	30
Gambar 4.16	Hasil Cetak 3D <i>Scan</i>	31
Gambar 4.17	Ketinggian 50 cm.....	32
Gambar 4.18	Ketinggian 100 cm.....	32
Gambar 4.19	Ketinggian 150 cm.....	33

DAFTAR NOTASI

CAD	= <i>Computer Aided Design</i>
3D	= 3 Dimensi
ABS	= <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
SD CARD	= <i>Secure Digital Card</i>
N	= <i>Newton</i>
E	= Energi potensial (J)
m	= Massa benda (kg)
g	= Percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
h	= Ketinggian benda dari permukaan atau titik jatuh (m)
v	= Kecepatan akhir benda saat menyentuh permukaan deker (m/s)
F	= Gaya benturan rata – rata (N)
Δt	= waktu benturan antara beban dan permukaan benda uji

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 *et al.*, 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 MD, 1998).

Dengan perkembangan teknologi *3D printing* mampu menghasilkan produk *shin guards* yang sesuai kriteria pengguna. Dengan menggunakan 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.

Saat ini banyak material sebagai bahan baku pada proses 3d printing salah satu nya ABS, ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) adalah polimer dari hasil minyak bumi yang bersifat *thermoplastic*, penggunaan material ini juga tidak kalah populer dari filamen PLA karena filamen ABS ini tersedia dalam berbagai macam warna yang membuatnya populer dikalangan pengguna 3D printer sehingga objek/model benda yang dihasilkan akan lebih menarik, secara mekanis filamen ini sangat kuat dan memiliki resistansi terhadap suhu tinggi sehingga model yang dibuat akan menjadi tahan lama (Mpik, 2017).

Terkait dengan ABS, kekuatan mekanik hampir tidak mengalami perubahan signifikan terhadap variasi tinggi lapisan (penurunan kekuatan maksimum hanya sebesar 7,57% saat tinggi lapisan dinaikkan dari 0,1 mm menjadi 0,2 mm). Namun, peningkatan infill hingga 50% (dengan penambahan berat sebesar 18,5%) menyebabkan peningkatan kekuatan tarik sebesar 25,19%, karena spesimen uji menjadi lebih padat dan rongga-rongga lebih kecil. Untuk PLA,

peningkatan tinggi lapisan menyebabkan penurunan kekuatan tarik sebesar 11%, lebih besar dibandingkan ABS, sehingga dapat disimpulkan bahwa lapisan yang lebih tipis memberikan hasil yang lebih baik, baik dari segi hasil akhir maupun sifat mekanik, walaupun pengaruh ini lebih terasa pada PLA daripada ABS. Di sisi lain, peningkatan infill hingga 50% (dengan peningkatan berat sebesar 16%) secara signifikan meningkatkan kekuatan mekanik sebesar 27%, angka yang hampir sama dengan ABS (25,19%). (Rodríguez et al., 2018)

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.

Dengan mempertimbangkan situasi dan beberapa penelitian yang sudah dilakukan, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa kekuatan benturan bahan abs dalam pembuatan prototipe *shin guards*.

Pembuatan *shin guards* yang efektif dan aman merupakan hal yang sangat penting dalam dunia olahraga, terutama olahraga yang melibatkan kontak fisik, seperti sepak bola. Salah satu bahan yang potensial untuk digunakan dalam pembuatan *shin guards* adalah ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). ABS dikenal karena kekuatan, ketahanan benturan, dan kemampuannya untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk dan desain, sehingga sangat cocok untuk produk perlindungan tubuh seperti *shin guards*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana cara memperoleh bentuk *shin guards* yang sesuai dengan kebutuhan penggunaannya berbasis bahan ABS?
2. Bagaimana cara mengevaluasi sifat fisik dan mekanis produk *shin guards* berbahan ABS?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, batasan masalah penulisan ini antara lain:

1. Software CAD yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah Solidworks.
2. Melakukan pengujian Nocsae ND090 untuk mengetahui sifat mekanis dan fisik material.
3. Material yang digunakan adalah ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*).
4. Tidak membahas antropometri orang Indonesia.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Pemanfaatan bahan ABS untuk pembuatan *shin guards*.
2. Mengetahui sifat fisik dan mekanik bahan ABS dalam pengujian benturan.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kenyamanan *shin guards* berbasis bahan abs pada penggunaannya.
2. Memberikan alternatif desain produk bagi pengguna lain.
3. Menghasilkan inovasi produk yang sudah ada.

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 I 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 II 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 III METODE PENELITIAN

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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V 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 merupakan permainan beregu yang dimainkan oleh dua regu, masing-masing regu terdiri dari sebelas orang pemain termasuk penjaga gawang. Permainan bola dilakukan dengan seluruh bagian badan kecuali kedua tangan. Hampir seluruh permainan dilakukan dengan keterampilan kaki, kecuali penjaga gawang dalam memainkan bola menggunakan anggota badannya dengan kaki maupun tangannya. Tujuan dalam permainan sepak bola adalah memasukkan bola ke gawang lawannya dan berusaha menjaga gawangnya sendiri agar tidak kemasukan bola dari gawang lawan. (Sucipto, 2000)

Disamping itu motif dari *shin guards* penting untuk menarik perhatian bagi penggunaannya, dalam penelitian ini menggunakan *Carbon Water Transfer Printing* yang memiliki motif mirip seperti carbon pada umumnya.

Carbon Water Transfer Printing atau *Hydro Dipping* adalah teknik dekorasi permukaan yang menggunakan film berbasis air untuk menerapkan pola atau desain pada objek tiga dimensi. Film ini biasanya berbahan dasar *Polyvinyl Alcohol* (PVA) yang larut dalam air setelah direndam. Dalam proses ini, film dengan pola cetak diletakkan di atas permukaan air, kemudian diaktifkan dengan bahan kimia yang melarutkan film tersebut, meninggalkan tinta mengambang di permukaan air. Objek yang telah di-priming dan dicat dengan *base coat* kemudian dicelupkan secara perlahan ke dalam air, dan pola akan menempel di permukaan objek tanpa merusak desainnya, bahkan pada bagian yang sulit dijangkau. Setelah proses pencelupan, objek dibersihkan dan diberi lapisan pelindung berupa *clear coat* untuk memberikan daya tahan terhadap goresan dan sinar UV. Teknologi ini sering digunakan dalam berbagai industri seperti otomotif, elektronik, peralatan militer, hingga dekorasi rumah. Komponen mobil, helm, casing komputer, dan senjata api adalah contoh benda yang sering didekorasi menggunakan teknik ini karena kemampuannya untuk memberikan lapisan tahan lama dengan pola yang presisi. Selain itu, teknik ini juga memungkinkan penerapan berbagai jenis pola

seperti serat karbon, kamuflase, atau motif kayu, yang membuatnya sangat populer di kalangan pengguna yang ingin meningkatkan estetika atau kustomisasi produk mereka.(surya, 2020)

Pengujian benturan secara manual dengan acuan standar NOCSAE ND090 merupakan prosedur yang digunakan untuk menilai seberapa efektif pelindung tulang kering dalam meredam energi akibat benturan. Metode ini dilakukan dengan menjatuhkan bola baja seberat 2 kilogram (2.000 gram) secara vertikal ke atas pelindung yang telah terpasang pada *legform* berbentuk kerucut, yaitu alat yang dirancang menyerupai struktur tulang kering manusia. Untuk merekam respon akibat benturan tersebut, digunakan sensor percepatan (*accelerometer*) yang dipasang pada *legform* guna mengukur percepatan puncak yang ditimbulkan.(NOCSAE ND090, 2005)

2.2 Dasar Teori

Bagian dasar teori membahas sejumlah teori yang menjadi acuan dalam penelitian ini.

2.2.1 Alat Pelindung Diri

Alat pelindung diri (APD) dalam sepak bola adalah perlengkapan yang dirancang untuk melindungi pemain dari risiko cedera selama pertandingan atau latihan. Alat Pelindung Diri selanjutnya disingkat APD adalah suatu alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang yang fungsinya mengisolasi sebagian atau seluruh tubuh dari potensi bahaya di tempat kerja (Peraturan Menteri Tenaga Kerja Dan Transmigrasi Republik Indonesia No. PER.08/MEN/VII/2010).

Alat Pelindung Diri (APD) adalah seperangkat alat keselamatan yang digunakan oleh pekerja untuk melindungi seluruh atau sebagian tubuhnya dari kemungkinan adanya pemaparan potensi bahaya lingkungan kerja terhadap kecelakaan dan penyakit akibat kerja. hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemakaian alat pelindung diri, yaitu:

a. Pengujian mutu

Alat pelindung diri harus memenuhi standar yang telah ditentukan untuk menjamin bahwa alat pelindung diri akan memberikan perlindungan sesuai dengan yang diharapkan. Semua alat pelindung diri sebelum dipasarkan harus diuji lebih dahulu mutunya.

b. Pemeliharaan alat pelindung diri

Alat pelindung diri yang akan digunakan harus benar-benar sesuai dengan kondisi tempat kerja, bahaya kerja dan tenaga kerja sendiri agar benar-benar dapat memberikan perlindungan semaksimal mungkin pada tenaga kerja.

c. Ukuran harus tepat

Adapun untuk memberikan perlindungan yang maksimum pada tenaga kerja, maka ukuran alat pelindung diri harus tepat. Ukuran yang tidak tepat akan menimbulkan gangguan pada pemakaiannya.

d. Cara pemakaian yang benar

Sekalipun alat pelindung diri disediakan oleh perusahaan, alat-alat ini tidak akan memberikan manfaat yang maksimal bila cara memakainya tidak benar. Tenaga kerja harus diberikan pengarahan tentang :

2.2.2. Jenis Alat Pelindung Diri dalam Sepak Bola

1. Sepatu Sepak Bola

Sepatu sepak bola didesain khusus dengan bahan yang tahan lama, ringan, dan memiliki paku atau kancing di bagian bawah untuk mencengkeram lapangan. Sepatu yang baik membantu pemain dalam meningkatkan performa dan mencegah cedera kaki.

2. Pelindung Tulang Kering (*Shin Guard*)

Shin guard adalah alat pelindung yang terbuat dari bahan seperti ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), yang ringan, kuat, dan mampu menyerap benturan.

3. Sarung Tangan Penjaga Gawang

Sarung tangan penjaga gawang terbuat dari bahan yang fleksibel namun memiliki daya cengkeram yang kuat. Sarung tangan ini membantu kiper menangkap bola dengan aman dan melindungi tangan dari cedera.

4. *Headgear* dan Pelindung Kepala

Headgear digunakan untuk mengurangi risiko cedera kepala. Herwin menyebutkan bahwa alat ini dianjurkan untuk pemain yang sering melakukan sundulan atau telah memiliki riwayat cedera kepala sebelumnya.

2.2.3. *Shin Guards*

Shin guards atau pelindung tulang kering adalah perlengkapan wajib dalam permainan sepak bola yang digunakan untuk melindungi bagian tulang kering (tibia) pemain dari benturan langsung, baik akibat kontak fisik dengan pemain lain, bola, maupun sepatu lawan. Alat pelindung ini dirancang untuk menyerap dan menyebarkan energi benturan guna mengurangi risiko cedera, seperti memar, luka, atau patah tulang. *Shin guards* umumnya terbuat dari bahan ringan namun kuat, seperti plastik, *fiberglass*, atau kombinasi bahan komposit, dan dilengkapi dengan bantalan busa di bagian dalam untuk menambah kenyamanan saat digunakan. Penggunaan *shin guards* telah menjadi standar keselamatan yang ditetapkan oleh federasi sepak bola internasional (FIFA) untuk melindungi keselamatan pemain selama pertandingan.

2.2.4. Desain

Desain merupakan suatu proses yang bertujuan untuk merancang atau menciptakan suatu objek dengan maksud tertentu, yang mencakup aspek estetika, fungsionalitas, dan pertimbangan ergonomis. Dalam konteks seni dan kreativitas, desain dapat diartikan sebagai susunan, pemilihan, atau perencanaan elemen-elemen formal dalam suatu karya. Selain itu, desain juga dapat dimaknai sebagai gagasan kreatif yang diwujudkan melalui perpaduan berbagai elemen dan unsur yang saling mendukung untuk menghasilkan suatu bentuk yang terpadu dan bermakna (Susanto, 2010).

2.2.5. ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*)

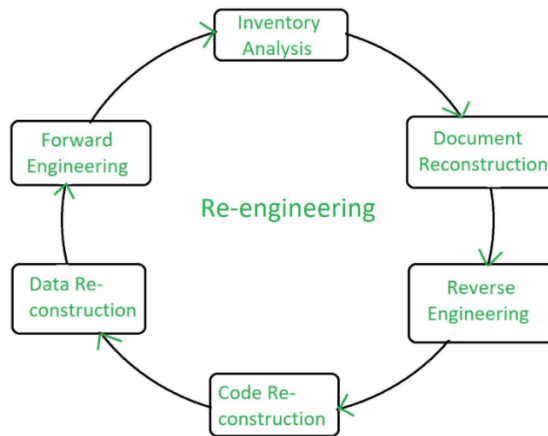
Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) merupakan salah satu jenis plastik polimer termoplastik yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kombinasi sifat mekaniknya yang baik, seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan ketahanan terhadap benturan. Material ini juga dikenal memiliki ketahanan kimia dan stabilitas dimensi yang baik, sehingga sering dipakai dalam pembuatan komponen industri, elektronik, dan produk konsumen (Mohan, 2020).

ABS memiliki karakteristik yang menjadikannya material unggul dalam aplikasi yang membutuhkan daya tahan benturan tinggi dan stabilitas termal. Dalam studi tersebut, ABS menunjukkan nilai kekuatan tarik yang mencapai sekitar 40 MPa dan kemampuan menyerap energi benturan yang signifikan, membuatnya cocok digunakan sebagai bahan pelindung seperti pelindung tulang kering (*shin guards*) dan casing alat elektronik.

2.2.6. *Reverse Engineering*

Reverse engineering merupakan suatu proses yang melibatkan pembongkaran atau penguraian suatu objek atau komponen guna memahami teknologi yang mendasarinya melalui analisis terhadap struktur, fungsi, serta cara kerjanya. Dengan pendekatan ini, teknologi yang telah ada dapat ditelaah secara mendalam sehingga para insinyur maupun desainer mampu merekonstruksi atau merancang ulang objek tersebut secara lebih efisien. Proses ini umumnya didukung oleh pemanfaatan perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*), yang memungkinkan pengembangan desain secara presisi dan detail. Setelah struktur dan fungsi dari objek asli dipahami dengan baik, desain baru dapat langsung diimplementasikan dan diproduksi menggunakan teknologi manufaktur modern, seperti *3D printing* atau metode fabrikasi lainnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1. Teknik ini sangat ideal untuk produksi komponen dalam skala kecil yang disesuaikan dengan kebutuhan khusus pengguna atau proyek tertentu. Keunggulan utama dari *reverse engineering* terletak pada kemampuannya untuk menghasilkan desain dengan cepat dan fleksibel, melebihi proses produksi konvensional yang umumnya memerlukan waktu lebih lama dan kurang adaptif

terhadap perubahan desain maupun permintaan pasar yang cepat berubah (Raja, 2008).



Gambar 2.1 Reverse Engineering

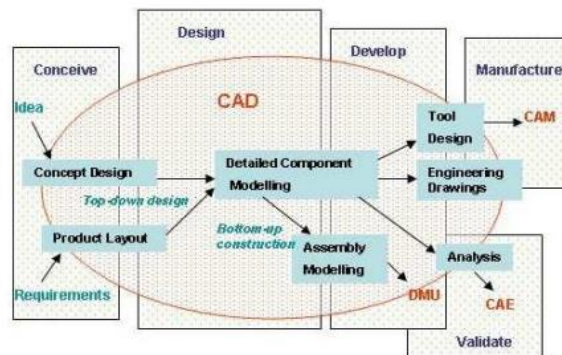
(sumber: <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering/software-engineering-re-engineering/>)

2.2.7. Computer Aided Design

Computer-Aided Design (CAD) merupakan teknologi berbasis komputer yang secara luas dimanfaatkan oleh para insinyur, arsitek, dan profesional di bidang desain untuk mendukung berbagai aktivitas perancangan. Teknologi ini digunakan dalam pengaturan bentuk serta pengembangan desain dalam proses produksi, termasuk integrasi antara perangkat lunak dan perangkat keras. CAD mencakup aplikasi untuk desain dua dimensi (2D) berbasis garis maupun pemodelan tiga dimensi (3D) yang fleksibel, baik dalam pembuatan permukaan maupun objek padat (*solid*). CAD dimanfaatkan dalam pengembangan berbagai jenis produk, mulai dari barang konsumsi hingga peralatan pendukung dalam proses industri. Selain itu, teknologi ini juga banyak digunakan dalam merancang perlengkapan dan peralatan produksi komponen di dunia industri. (Ningsih, 2005).

Dengan adanya CAD, proses perancangan tidak lagi mengandalkan sketsa manual. Para perancang kini dapat memanfaatkan komputer untuk membuat desain dengan tingkat presisi dan kecepatan yang jauh lebih tinggi. Penggunaan CAD memberikan berbagai keuntungan, seperti efisiensi waktu dan peningkatan kualitas hasil desain. Kemampuan CAD dalam memberikan detail teknis yang akurat memungkinkan perancang menghasilkan bentuk yang lebih kompleks dan inovatif

dibandingkan metode konvensional. Selain itu, fitur-fitur otomatisasi dalam perangkat lunak CAD membantu mempercepat proses perancangan desain yang rumit, sehingga para insinyur dapat lebih fokus pada aspek analitis dan kreatif. Kemudahan dalam berbagi dan memodifikasi desain digital juga mendukung komunikasi yang lebih baik antar tim proyek, termasuk desainer, teknisi, manajer proyek, dan produsen. Hal ini menjadikan proses desain lebih efisien dan mengurangi risiko kesalahan komunikasi, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas produk serta mempercepat waktu menuju pasar.



Gambar 2.2 Computer Aided Design

(sumber: <https://media.neliti.com/media/publications/241885-none-191c2d93.pdf>)

2.2.8. 3D Scanning

3D scanning dalam proses *reverse engineering* merupakan teknik yang memanfaatkan teknologi pemindaian tiga dimensi untuk memperoleh data geometris dari objek fisik secara akurat. Data yang diperoleh melalui proses ini kemudian diubah menjadi model digital yang dapat digunakan dalam berbagai keperluan, seperti pengembangan ulang desain, modifikasi bentuk, maupun replikasi objek tanpa memerlukan dokumentasi desain awal. Dalam konteks *reverse engineering*, metode ini memungkinkan pengukuran detail objek, termasuk geometri kompleks dan bagian internal, tanpa menyebabkan kerusakan pada objek asli.

Pemindaian biasanya dilakukan dengan menggunakan perangkat seperti *laser scanner* atau pemindai berbasis *fotogrametri*, yang mampu menghasilkan *point cloud* kumpulan titik-titik dalam ruang tiga dimensi yang merepresentasikan permukaan objek. *Point cloud* tersebut kemudian diproses lebih lanjut menjadi

model digital dalam format CAD (*Computer-Aided Design*), yang dapat diedit, dianalisis, atau digunakan untuk simulasi teknis. Salah satu perangkat yang umum digunakan adalah 3D *scanner* berbasis laser linier, yang dirancang untuk membentuk representasi visual tiga dimensi dari objek secara akurat melalui pengambilan data awan titik. Desain dan prinsip kerja pemindai ini biasanya disertai dengan demonstrasi nyata terhadap objek, misalnya karya seni, guna memperlihatkan hasil visual dan ketelitian dari teknologi pemindaian tersebut. (Koyuncu & Kullu, 2010).

2.2.9. 3D Printing

Teknologi 3D *Printing* merupakan perangkat manufaktur modern yang dirancang untuk menghasilkan objek tiga dimensi secara presisi melalui proses pencetakan bertahap dengan metode *additive manufacturing*, yaitu penambahan material secara lapis demi lapis. Mesin ini bekerja dengan membaca data digital dari model yang telah dirancang menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) atau hasil pemindaian objek tiga dimensi. Berdasarkan data tersebut, printer akan menyusun objek secara bertahap dengan menambahkan material sesuai dengan detail struktur yang telah ditentukan dalam desain digital. Kehadiran 3D *Printing* telah membawa perubahan signifikan dalam dunia industri manufaktur, merevolusi cara produk dirancang dan diproduksi. Teknologi ini, yang juga dikenal sebagai *Additive Layer Manufacturing*, mulai dikembangkan sejak dekade 1980-an dan terus mengalami perkembangan pesat hingga kini. Penggunaannya telah meluas secara global, baik di kalangan akademisi, peneliti, maupun praktisi industri. Salah satu keunggulan utama dari teknologi ini adalah efisiensi ekonominya, terutama dalam proses *rapid prototyping*, yang memungkinkan pembuatan model atau komponen dalam skala kecil dengan tingkat akurasi tinggi tanpa memerlukan cetakan produksi massal. Hal ini memungkinkan perusahaan untuk melakukan pengujian dan pengembangan produk secara lebih cepat dan hemat biaya. Oleh karena itu, 3D *Printing* kini menjadi salah satu inovasi teknologi yang paling berpengaruh dalam kemajuan industri manufaktur modern. (Mohsen, 2017).

2.2.10. Uji Benturan Nocsae ND090

Pengujian benturan secara manual dengan acuan standar NOCSAE ND090 merupakan prosedur yang digunakan untuk menilai seberapa efektif pelindung tulang kering dalam meredam energi akibat benturan. Metode ini dilakukan dengan menjatuhkan bola baja seberat 2 kilogram (2.000 gram) secara vertikal ke atas pelindung yang telah terpasang pada *legform* berbentuk kerucut, yaitu alat yang dirancang menyerupai struktur tulang kering manusia. Untuk merekam respon akibat benturan tersebut, digunakan sensor percepatan (*accelerometer*) yang dipasang pada *legform* guna mengukur percepatan puncak yang ditimbulkan. (NOCSAE ND090, 2005).

Pengujian benturan secara manual menggunakan massa jatuh sebesar 2 kilogram, apabila dilakukan sesuai standar NOCSAE ND090, tetap menjadi metode yang sah dan praktis untuk mengukur kemampuan peredaman benturan pada pelindung tulang kering. Pendekatan ini meniru kondisi benturan nyata dan memberikan hasil yang konsisten melalui prosedur yang telah ditetapkan.

Dalam pelaksanaannya, massa beban sebesar 2 kg dijatuhkan dari suatu ketinggian tertentu ke permukaan pelindung yang sedang diuji, dan proses ini diulangi sebanyak tiga kali pada titik yang sama. Setiap benturan menghasilkan data percepatan puncak (*peak acceleration*) yang kemudian dicatat untuk dihitung nilai rata-ratanya. Berdasarkan ketentuan dalam standar *NOCSAE ND090*, nilai rata-rata percepatan yang dihasilkan tidak boleh melampaui 200 g, serta setiap benturan tunggal tidak boleh melebihi 225 g. Batasan ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat pelindung mampu mengurangi risiko cedera akibat benturan kuat secara efektif (NOCSAE ND090, 2005). Menghitung jumlah energi benturan saat beban dijatuhkan ke deker dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. Energi Potensial Benturan

$$E = m \cdot g \cdot h$$

Dimana:

E = Energi potensial (J)

m = Massa benda (kg)

g = Percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h = Ketinggian benda dari permukaan atau titik jatuh (m)

2. Kecepatan Beban Saat Menyentuh Deker (v)

$$v = \sqrt{2gh}$$

Dimana:

v = Kecepatan akhir benda saat menyentuh permukaan deker (m/s)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h = Ketinggian awal benda sebelum jatuh (m)

3. Gaya Benturan (F) dengan impuls- momentum

$$F = \frac{m \cdot v}{\Delta t}$$

Dimana:

F = Gaya benturan rata – rata (N)

m = Massa benda yang jatuh

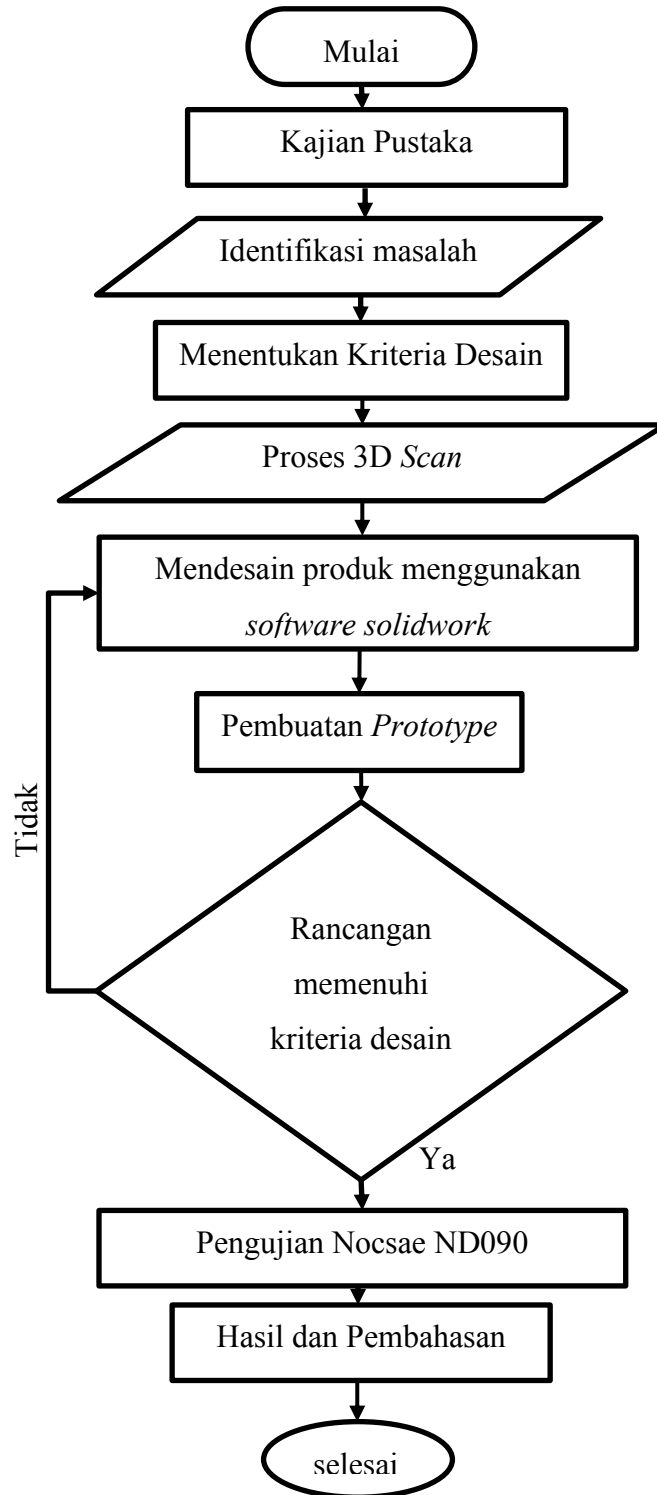
v = Kecepatan akhir benda saat menyentuh permukaan deker (m/s)

Δt = Durasi kontak atau waktu benturan antara beban dan permukaan benda uji

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



3.2 Peralatan dan Bahan

1. Laptop

Laptop untuk keperluan desain merupakan perangkat komputer portabel dengan spesifikasi kelas menengah hingga tinggi serta dilengkapi fitur khusus yang mendukung berbagai aplikasi seperti desain grafis, rendering 3D, animasi, dan produksi video. Hal ini ditunjukkan dalam tabel 3.1 yang memuat rincian spesifikasinya.

Tabel 3.1 Spesifikasi Laptop

Operation System	Windows 10 Home
Processor	AMD Ryzen 7 3750H
SSD	512 GB
Installed Memory (RAM)	16 GB
Grafis	NVIDIA® GeForce RTX™ 2060

2. 3D Printing Bambu Lab P1S

3D Printing Bambu Lab P1S berfungsi untuk mencetak produk dengan metode *printing*.



Gambar 3.1 3D Printing Bambu Lab P1S

3. Filamen ABS

Digunakan sebagai bahan baku utama untuk mencetak objek tiga dimensi, objek pada penelitian ini ialah *shin guards*.



Gambar 3.2 Filamen ABS

4. *3D Scan SENSE Pro*

3D Scan Sense Pro adalah perangkat pemindai tiga dimensi (*3D scanner*) yang dirancang untuk menangkap bentuk fisik objek secara detail dan mengubahnya menjadi model digital 3D dan dapat disimpan dalam format STL. Alat ini biasanya digunakan dalam berbagai bidang seperti desain produk, animasi, medis, arkeologi, dan pencetakan 3D. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2 menunjukkan spesifikasi dan gambar 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi 3D Scan SENSE Pro

Volume pemindaian	Minimum = 50 mm x 50 mm x 50 mm Maksimal = tidak terbatas, tetapi pemindaian sangat besar akan lebih sulit.
Rentang Operasi	(300 mm) 210 mm x 130 mm
Jarak Kerja	200 – 800 mm
Kedalaman Gambar	640 x 400 px
Kecepatan Pindai	10 FPS
Resolusi Kedalaman	640000 poin/detik
Akurasi Volume	0.5 mm/m
Ukuran Warna Gambar	1920 x 1080 px



Gambar 3.3 3D Scan Sanse Pro

5. Amplas P400

Amplas P400 berfungsi sebagai alat untuk menghaluskan permukaan pada tahap *finishing* sebelum proses pelapisan *carbon water transfer printing*. Dengan tingkat kekasaran yang halus, amplas ini efektif untuk menghilangkan goresan dari amplas yang lebih kasar serta meratakan permukaan tanpa merusak detail.



Gambar 3.4 Amplas P400

6. Lem Taco

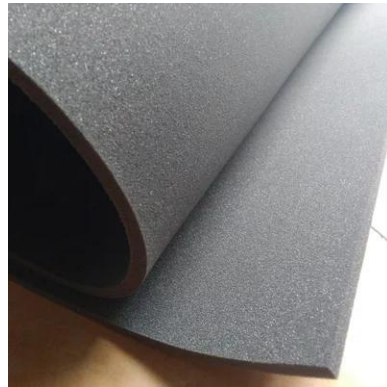
Lem Taco berfungsi untuk merekatkan busa ke *shin guards* dengan kuat dan tahan lama, sehingga busa tidak mudah lepas meskipun terkena tekanan atau gerakan saat digunakan.



Gambar 3.5 Lem Taco

7. Busa Bantalan

Busa bantalan pada *shin guards* berfungsi untuk meredam benturan dan melindungi tulang kering dari cedera saat terkena kontak fisik, seperti tendangan atau benturan dalam olahraga. Selain itu, busa juga memberikan kenyamanan bagi pemakai dengan menyesuaikan bentuk kaki dan mengurangi tekanan langsung dari pelindung keras *shin guards*.



Gambar 3.6 Busa Bantalan

8. *Carbon Water Transfer Printing*

Carbon untuk *water transfer printing* berfungsi sebagai lapisan dekoratif yang memberikan nilai estetika tinggi dan tampilan visual yang menarik pada berbagai permukaan objek. Dengan motif menyerupai serat karbon asli. Dengan teknik ini, motif karbon dicetak menggunakan film khusus berbahan PVA yang larut air, lalu diaplikasikan ke permukaan benda melalui proses pencelupan.



Gambar 3.7 *Carbon Water Transfer Printing*

3.3 Kriteria Desain

1. Berat dari *Shin Guards* tidak lebih dari 70 g.
2. mampu meredam benturan kaki dalam permainan sepak bola.
3. Hasil dari produk ini menggunakan *3D printing* dengan bahan ABS sampai tahap *prototipe*.
4. Bisa melindungi terhadap cedera tibia fracture.

3.4 Perancangan

3.4.1 Pemindaian Menggunakan 3D Scan

Dalam proses ini, pemindaian terhadap produk asli dilakukan menggunakan perangkat *3D Scan Sense Pro*, yang dibuat khusus untuk menghasilkan hasil pemindaian tiga dimensi dengan tingkat akurasi tinggi. Dengan dukungan alat ini, bentuk serta detail dari produk asli dapat ditampilkan secara visual di laptop dengan resolusi yang jelas, memungkinkan desainer untuk mengamati setiap aspek produk secara menyeluruh. Hal ini sangat membantu dalam proses analisis maupun perancangan ulang.

3.4.2 Desain Menggunakan *Software Solidworks*

Pada tahap ini, dilakukan proses perancangan produk yang juga disebut sebagai tahap penyempurnaan. Setelah objek asli dipindai, data hasil pemindaian diimpor ke dalam perangkat lunak *SolidWorks*. Melalui *software* ini, desain

dilakukan secara menyeluruh guna memperbaiki berbagai kekurangan yang terdapat pada hasil pemindaian. Pada proses ini juga, dilakukan analisis terhadap kekuatan material dari produk yang telah dimodifikasi dengan menggunakan fitur analisis pada *software SolidWorks*. Analisis tersebut didasarkan pada perhitungan gaya tekan yang mengenai permukaan *shin guard* akibat benturan dari kaki.

3.4.3 Pembuatan Produk Menggunakan 3D Printing

Pada tahap ini, *prototipe* dibuat berdasarkan desain yang telah dirancang sebelumnya. Pembuatan dilakukan dengan menggunakan teknologi pencetakan 3D dalam skala 1:1, sesuai dengan dimensi produk aslinya. Untuk menjamin ketepatan, mutu, serta karakteristik yang diinginkan yaitu memiliki kekuatan dan fleksibilitas ringan, digunakan material filamen ABS dalam proses pencetakan tersebut.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Perancangan Produk

Dalam tahap ini perancangan ini, digunakan sejumlah perangkat lunak yang disesuaikan dengan masing-masing proses. Pada tahap pemindaian 3D, digunakan *software* bawaan dari alat pemindai yaitu *Handy Scan*. Proses perancangan dilakukan dengan bantuan *SolidWorks*. Untuk tahap *slicing* dan pengaturan parameter cetak, digunakan *software* Bambu Studio. Terakhir, pembuatan prototipe dilakukan menggunakan mesin 3D *printing* Bambu Lab P1S. Adapun urutan tahapannya adalah sebagai berikut:

4.1.1. Pengukuran Manual

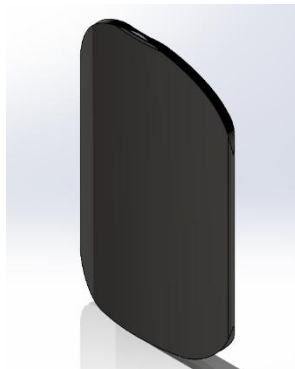
Pengukuran shin guards secara manual dilakukan dengan menggunakan alat ukur sederhana seperti penggaris atau pita ukur untuk menentukan dimensi panjang, lebar, dan ketebalan pelindung.



Gambar 4.1 . Mengukur Panjang *Shin Guards*



Gambar 4.2 . Mengukur Lebar *Shin Guards*



Gambar 4.3 Hasil Desain Pengukuran Manual



Gambar 4.4 Hasil Modifikasi

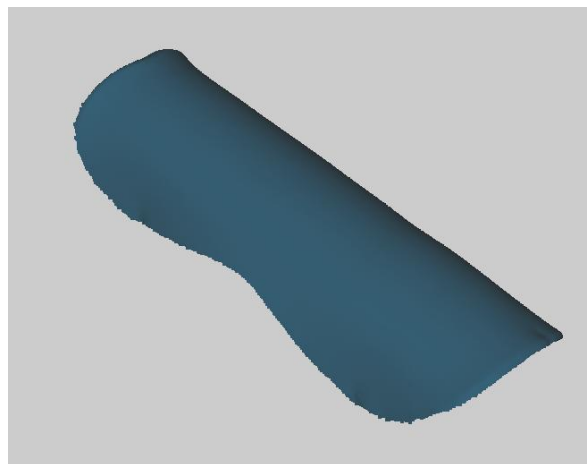
4.1.2. **3D Scanning**

Dilakukan proses *3D scanning* untuk memperoleh sketsa awal dari bentuk produk asli. Terdapat beberapa hal yang perlu dipersiapkan sebelum melakukan pemindaian ini. Pertama adalah pemilihan warna produk, di mana warna putih dipilih karena mampu memberikan kontras yang baik sehingga hasil pemindaian menjadi lebih jelas. Selain itu, latar belakang *background* saat proses *scanning* juga

harus diperhatikan, dengan memilih warna hitam agar proses pemindaian lebih akurat. Faktor penting lainnya adalah menjaga jarak antara alat pemindai dan objek, yaitu sekitar 24 hingga 26 cm, guna memperoleh hasil pemindaian yang presisi dan detail. Dengan memperhatikan semua aspek tersebut, proses 3D *scanning* dapat memberikan data dan hasil yang maksimal. Proses pemindaian dan hasil pemindaian dapat dilihat pada gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.5 Proses Pemindaian



Gambar 4.6 Hasil Pemindaian

4.1.3 Desain Menggunakan *SolidWorks*

setelah menyelesaikan proses 3D *scanning*, tahap berikutnya adalah proses perancangan menggunakan *software SolidWorks*. File hasil pemindaian 3D diimpor ke dalam perangkat lunak ini, kemudian dilakukan proses improvisasi pola desain pada bagian depan *shin guards*, improvisasi desain berbentuk belah ketupat kemudian pada bagian bawah berbentuk bola.

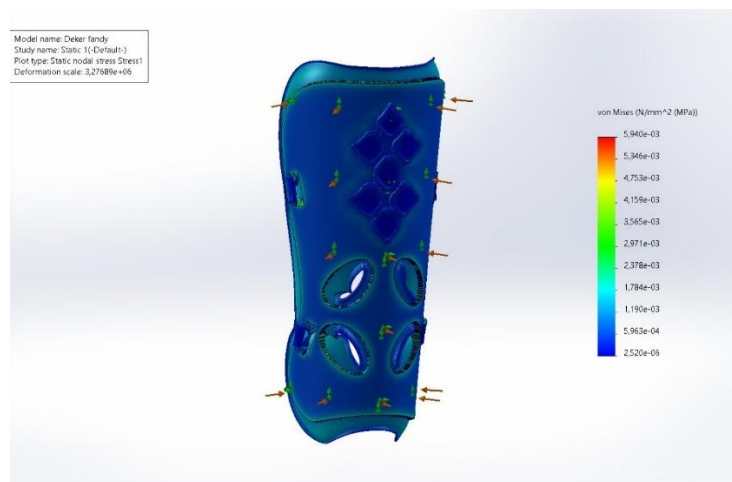


Gambar 4.7 Hasil Improvisasi Desain

4.2 Analisis Kekuatan Material

Berdasarkan jurnal “*Mechanical behavior and crack propagation of ABS 3D printed specimens*” (Majid *et al.*, 2020), faktor keamanan (*safety factor*) pada material ABS sangat dipengaruhi oleh orientasi pencetakan dan tingkat infill. Spesimen dengan lapisan sejajar arah gaya cenderung memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dibanding yang tegak lurus terhadap gaya, karena kohesi antar-layer lebih lemah. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi cetak secara langsung memengaruhi batas kekuatan dan margin keamanan desain.

Selain itu, tingkat *infill* juga berpengaruh besar terhadap kemampuan material menahan beban. *Infill* yang rendah mengurangi massa dan kekuatan struktural, sehingga menurunkan *safety factor*. Sebaliknya, *infill* tinggi meningkatkan ketahanan beban namun menambah waktu dan biaya produksi. Oleh karena itu, dalam merancang produk fungsional dengan ABS 3D *printing*, diperlukan keseimbangan antara efisiensi cetak dan kebutuhan keamanan struktural.



Gambar 4.8 Hasil Simulasi *Stress*

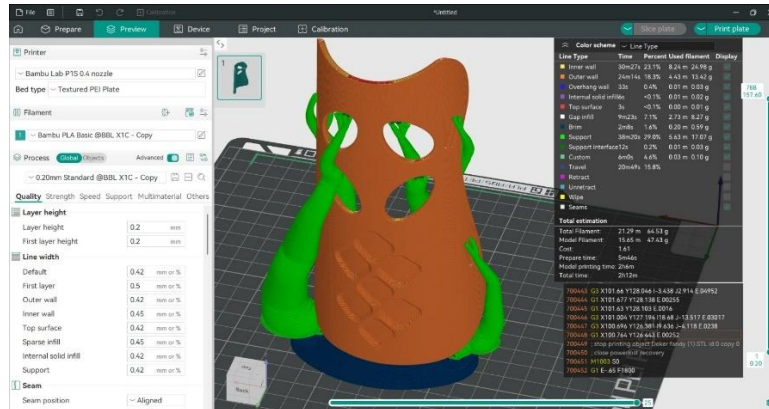
Pada analisis kekuatan material ABS (*Akrilonitril Butadiena Stiren*) menggunakan *software solidworks* mendapatkan hasil analisis yang akurat. Maka dengan menggunakan material ABS memiliki *safety factor* 2.6. kemudian untuk analisis *stress* dengan *force* 19.6 N mendapatkan hasil maksimal 5.94 MPa.

4.3 Proses Pembuatan *prototype*

4.3.1 Proses 3D *Printing*

Setelah melakukan analisis desain dan perhitungan kekuatan material, tahap selanjutnya adalah memproduksi *prototipe* untuk mengevaluasi hasil desain yang telah dibuat. Proses dimulai dengan mengimpor desain ke dalam *software* Bambu Lab Studio, kemudian dilakukan pengaturan parameter yang diperlukan

untuk menghasilkan file *G-code*. File tersebut kemudian disimpan ke dalam *SD card*, yang selanjutnya dipasang ke mesin 3D printer untuk mencetak desain sesuai dengan data yang ada di dalam *SD card*. Seperti pada gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.9 Proses Menentukan Parameter Menggunakan *Software* Bambu Studio



Gambar 4.10 Hasil *Prototype* ABS

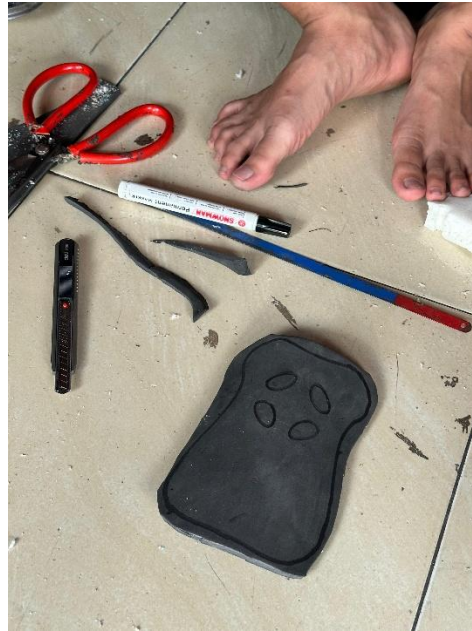
Pada pembuatan *prototype* ABS, pengaturan cetak yang digunakan adalah suhu *nozzle* 270 °C, suhu bed 100 °C, *base print* speed 50 mm/s, *pattern* *monotonic*, dan *infill density* 20%. Dengan parameter yang digunakan menghasilkan *prototype* yang lebih halus namun terdapat sedikit cacat seperti goresan pada bagian atas *shin guards*.

4.3.2 Proses Lem Busa Bantalan

Bantalan busa pada *shin guards* memiliki fungsi utama sebagai peredam benturan untuk melindungi tulang kering dari cedera akibat kontak fisik saat berolahraga, terutama dalam sepak bola. Selain itu, bantalan ini juga memberikan kenyamanan tambahan dengan menyesuaikan bentuk kaki pengguna dan mengurangi tekanan langsung dari pelindung keras. Proses pemasangan bantalan busa dimulai dengan pemotongan busa sesuai desain dan kontur bagian dalam *shin guard*. Setelah itu, permukaan dalam *shin guard* dibersihkan untuk memastikan tidak ada debu atau kotoran yang dapat mengganggu daya rekat. Selanjutnya, lem khusus diaplikasikan secara merata baik pada busa maupun pada permukaan *shin guard*. Busa kemudian ditempelkan dengan hati-hati, dan dilakukan penekanan selama beberapa waktu untuk memastikan rekatannya kuat dan merata. Setelah kering, *shin guard* siap digunakan dengan bantalan busa yang terpasang sempurna, memberikan perlindungan maksimal dan kenyamanan selama aktivitas fisik. Proses lem busa bantalan dapat dilihat pada gambar 4.11 sampai 4.14



Gambar 4.11 Proses Pengamplasan Permukaan *Shin Guards*



Gambar 4.12 Proses Pembuatan Pola pada Busa



(a)

(b)

Gambar 4.13 (a) Proses Pemberian Lem pada *Shin Guards*, (b) Proses Pemberian Lem di Busa.



Gambar 4.14 Produk *Prototype* yang Sudah di Pasangi Busa

4.4 Perbandingan Produk *Shin Guards*

Dalam tahap ini ialah memilih bentuk shin guards dengan berdasarkan hasil pengukuran yang di peroleh dengan 2 metode pengukuran yaitu pengukuran manual dan 3D Scan, hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.15 dan 4.16



Gambar 4.15 Hasil Cetak Pengukuran Manual



Gambar 4.16 Hasil Cetak 3D *Scan*

Dari dua gambar diatas dapat disimpulkan bahwa pembuatan shin guards dengan menggunakan pengukuran manual pada gambar 4.15, shin guards memiliki dimensi yang sangat lebar tidak mengikuti struktur pada kaki, dibandingkan dengan pembuatan shin guards dengan menggunakan teknologi 3D scan, dapat dilihat pada gambar 4.16, dimensi shin guards terlihat sesuai dengan struktur kaki pengguna.

4.4 Pengujian Nocsae ND090

Dalam penelitian ini Uji benturan pada pelindung tulang kering sepak bola berdasarkan standar **NOCSAE ND090** dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan metode pengujian yang telah ditetapkan untuk mensimulasikan benturan nyata yang terjadi selama pertandingan. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tiga kali benturan berturut-turut pada setiap titik uji dengan ketinggian yang berbeda. Pengujian pertama dilakukan dengan menjatuhkan massa 2 kg dengan ketinggian 50 cm, kemudian pengujian kedua menjatuhkan massa dengan ketinggian 100 cm lalu pengujian ketika menjatuhkan massa dengan ketinggian 150 cm. proses pengujian ini ditunjukkan pada gambar 4.17 sampai 4.19



Gambar 4.17 Ketinggian 50 cm



Gambar 4.18 Ketinggian 100 cm



Gambar 4.19 Ketinggian 150 cm

Berikut hasil perhitungan pengujian Nocsae ND090 yang telah dilakukan.

Table 4.1 Hasil Perhitungan Pengujian Nocsae ND090

Ketinggian	Energi Potensial	Kecepatan beban saat menyentuh deker	Gaya Benturan (F) dengan impuls-momentum
50 cm	9,81 joule	3,13 m/s	102,6 N
100 cm	19.62 joule	4,42 m/s	109,1 N
150 cm	29.43 joule	5,42 m/s	146,4 N

Dengan hasil pengujian Nocsae ND090 pada produk *shin guards* dilakukan 3 variasi benturan yaitu 50cm, 100cm, 150cm. dari hasil ketiga benturan tersebut energi yang paling besar diterima oleh shin guards ialah 146,4 N atau 00,122 MPa, dari secara fisik tidak terjadi kerusakan dikarenakan nilai hasil pengujian tidak melebihi dari kemampuan dukungan material lebih rendah dari nilai sifat maksimal material energi tersebut masuk dalam katagori aman dikarenakan standar energi maksimal yang diterima oleh material abs ialah 20,133 MPa.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Telah dibuat *protiotipe shin guards* dengan memanfaatkan material ABS yang nyaman sesuai dengan bentuk tulang kering penggunanya. Dalam percobaan kepada responden *shin guards* nyaman saat digunakan tetapi bantalan busa sedikit tidak nyaman saat digunakan.
2. Dengan menggunakan material ABS yang dicetak dengan *3D Printing shin guards* memiliki bobot yang cukup ringan dan tahan terhadap 3 ketinggian benturan yang berbeda, hasil yang diperoleh menunjukkan pada ketinggian 150 cm total energi benturan yang diterima oleh deker sebesar 146,4 N. nilai ini masih cukup aman dibandingkan dengan kemampuan menahan impact material abs yang diproses dengan teknologi 3d printing.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Melakukan pembuatan produk menggunakan multi material yang dapat mendapatkan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Boden MD, B. P. (1998). *LEG INJURIES AND SHIN GUARDS*.
[https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(05\)70117-4](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(05)70117-4)
- Koyuncu, B., & Kullu, K. (2010). *Development of an optical 3D scanner based on structured light*. <https://readpaper.com/paper/180654229>
- Majid, F., Zekeriti, N., rhanim, R., Lahlou, M. L., rhanim, H., & Mrani, B. (2020). *Mechanical behavior and crack propagation of ABS 3D printed specimens*.
<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.147>
- Mohan, T. P. (2020). *Processing and characterization of 3D-printed nanoclay/acrylonitrile butadiene styrene (abs) nanocomposite gear*.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-05648-5>
- Mohsen, A. (2017). *The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing*.
<https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
- Mpik, M. (2017). Material Printer 3D ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). 2017. <https://snitt.polman-babel.ac.id/index.php/snitt/article/view/158>
- Ningsih, D. H. U. (2005). *Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD/CAM]*. <https://doi.org/10.35315/dinamik.v10i3.23>
- NOCSAE ND090, N. N. (2005). *STANDARD TEST METHOD AND PERFORMANCE SPECIFICATION FOR NEWLY MANUFACTURED SOCCER SHIN GUARDS*. <https://nocsae.org/wp-content/uploads/2021/12/ND090-06m24a-Standard-Test-Method-and-Performance-Spec-for-Soccer-Shin-Guards.pdf>

- Raja, V. H. (2008). *Reverse Engineering: An Industrial Perspective*.
<https://wrap.warwick.ac.uk/id/eprint/47730>
- Rodríguez, A., Claver, J., & María Camacho, A. (2018). The Influence of Manufacturing Parameters on the Mechanical Behaviour of PLA and ABS Pieces Manufactured by FDM: A Comparative Analysis. 2018.
<https://doi.org/10.3390/ma11081333>
- Sucipto. (2000). Sepakbola. 2000.
<https://media.neliti.com/media/publications/187821-ID-evaluasi-keterampilan-bermain-sepakbola.pdf>
- surya, didik. (2020, November 24). Cara Cat Carbon Water Printing Pada Body Motor. 2020. <https://www.suryadidik.com/2020/05/cara-cat-carbon-water-printing-pada.html>
- Tatar, Y., Ramazanoglu, N., Filiz Camliguney, A., Karadag Saygi, E., & Birol Cotuk, H. (2014). *The Effectiveness of Shin Guards Used by Football Players*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3918547/>
- Waluyo, D. A. (2021). *Pembuatan Orthosis Tangan Menggunakan Metode Reverse Engineering Dan Rapid Prototyping*.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/31042>

LAMPIRAN 1 LAPORAN TUGAS AKHIR

1. Ketinggian 50cm

Hitung Energi Potensial Benturan

$$E = m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 9,81 \text{ joule}$$

Hitung Kecepatan Beban Saat Menyentuh Deker (v)

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,5} \\ &= \sqrt{9,81} \\ &= \sqrt{\frac{981}{100}} \\ &= \sqrt{\frac{981}{10}} \\ &= \frac{3\sqrt{109}}{10} \approx 3,13 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Hitung Gaya Benturan (F) dengan impuls- momentum

$$\begin{aligned} F &= \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m \cdot v}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 3,13}{0,061} \\ &= \frac{6,26}{0,061} \\ &= \frac{313}{3,05} \\ &= \frac{62600}{61} \approx 102,6 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Ketinggian 100 cm

Hitung Energi Potensial Benturan

$$E = m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 9,81 \cdot 1 = 19,62 \text{ joule}$$

Hitung Kecepatan Saat Menyentuh Deker (v)

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} \\ &= \sqrt{19,62} \\ &= \sqrt{\frac{981}{50}} \\ &= \frac{\sqrt{981}}{50} \\ &= \frac{3\sqrt{109}}{5\sqrt{2}} \\ &= \frac{3\sqrt{218}}{10} \approx 4,42 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Hitung Gaya Benturan (F) dengan impuls- momentum

$$\begin{aligned} F &= \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m \cdot v}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 4,42}{0,081} \\ &= \frac{\frac{8,84}{81}}{1000} \\ &= \frac{\frac{221}{25}}{1000} \\ &= \frac{8840}{81} \approx 109,1 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Ketinggian 150 cm

Hitung Energi Potensial Benturan

$$E = m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 29,43 \text{ joule}$$

Hitung Kecepatan Saat Menyentuh Deker (v)

$$\begin{aligned}
 v &= \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,5} \\
 &= \sqrt{29,43} \\
 &= \sqrt{\frac{2943}{100}} \\
 &= \sqrt{\frac{2943}{10}} \\
 &= \frac{3\sqrt{327}}{10} \approx 5,42 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Hitung Gaya Benturan (F) dengan impuls- momentum

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m \cdot v}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 5,42}{0,074} \\
 &= \frac{10,84}{500} \\
 &= \frac{\frac{271}{37}}{500} \approx 146,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Table 3
Results of L_8 array of the Taguchi mixed level DOE for tensile test

Run	Input parameter		Output parameter				
	Infill density (%)	Filament material	Composite code	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Ductility (%)	Yield strength (MPa)
1	20	ABS	20 ABS	18.432 ± 0.84	0.434 ± 0.04	2.022 ± 0.42	20.133 ± 0.02
2	20	CF-ABS	20 CF-ABS	21.342 ± 0.42	0.853 ± 0.01	2.153 ± 0.89	22.272 ± 0.01
3	40	ABS	40 ABS	23.264 ± 0.76	1.261 ± 0.04	2.394 ± 0.44	26.231 ± 0.04
4	40	CF-ABS	40 CF-ABS	26.021 ± 0.81	1.682 ± 0.14	2.431 ± 0.28	29.242 ± 0.03
5	60	ABS	60 ABS	27.993 ± 0.71	0.464 ± 0.04	4.271 ± 0.72	21.746 ± 0.08
6	60	CF-ABS	60 CF-ABS	30.049 ± 0.84	0.892 ± 0.03	4.653 ± 0.96	24.051 ± 0.02
7	80	ABS	80 ABS	33.590 ± 0.92	1.386 ± 0.06	4.792 ± 0.94	28.853 ± 0.04
8	80	CF-ABS	80 CF-ABS	36.922 ± 1.24	1.932 ± 0.08	4.894 ± 0.98	33.621 ± 0.06