

**PEMBUATAN TOPENG PELINDUNG WAJAH UNTUK PEMAIN
SEPAKBOLA YANG NYAMAN DAN KUAT DENGAN
MEMANFAATKAN METODE *REVERSE ENGINEERING***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Hazan Zainul Muttaqin
No. Mahasiswa : 19525079
NIRM : 1905020048

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING
PEMBUATAN TOPENG PELINDUNG WAJAH UNTUK PEMAIN
SEPAKBOLA YANG NYAMAN DAN KUAT DENGAN
MEMANFAATKAN METODE *REVERSE ENGINEERING*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Hazan Zainul Muttaqin
No. Mahasiswa : 19525079
NIRM : 1905020048

Yogyakarta, 15 Desember 2023

Pembimbing I



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PEMBUATAN TOPENG PELINDUNG WAJAH UNTUK PEMAIN SEPAKBOLA YANG NYAMAN DAN KUAT DENGAN MEMANFAATKAN METODE *REVERSE ENGINEERING*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Hazan Zainul Muttaqin
No. Mahasiswa : 19525079
NIRM : 1905020048

Tim Penguji

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

Ketua



Tanggal : 04/01/2024

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


Anggota I



Tanggal : 03/01/2024

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

Anggota II



Tanggal : 29/12/2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Bismillahirrahmanirrahim dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini merupakan hasil kerja saya sendiri, kecuali kutipan dan ringkasan yang saya cantumkan sebagai sumber referensi. Apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima hukuman/sanksi yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 4 Januari 2024



Hazan Zainul Muttaqin

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada orang tua saya. Bapak Tahrodi dan Ibu Nurhayati. Yang selalu mendoakan dan memberi dukungan kepada penulis, saya sangat berterimakasih kepada kedua orang tua saya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan sebaik baiknya

Paman penulis Aziz Sugianto yang telah mendukung penulis berkuliah diluar kota, sehingga penulis bisa berkuliah di Universitas Islam Indonesia.

Keluarga besar yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu mendoakan penulis dan memberikan dukungan moral dan materi.

Dosen Pembimbing saya Bapak Rahmat Riza yang telah memberikan segala nasihat, arahan dan bimbingan sehingga saya bisa mengerjakan Laporan Tugas Akhir sayadengan sebaik baiknya.

Teman-teman dan staff yang telah ikhlas membantu penulis selama pengerjaan laporan ini saya sangat berterimakasih pada kalian.

HALAMAN MOTTO

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri, dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, maka tidak ada pelindung bagi mereka selain Dia.

(Q.S Ar-Rad Ayat 11).

Allah menghapus dan menetapkan apa yang Dia kehendaki. Dan di sisi-Nya terdapat Ummul-Kitab (Lauh Mahfuzh). Allah Yang Mahabijaksana menghapus hukum yang layak untuk dihapus, dan menetapkan apa (hukum) yang Dia kehendaki untuk ditetapkan.

(QS. Ar-Ra'd Ayat 39)

Dan barangsiapa yang bertawakkal kepada Allah niscaya Allah akan mencukupkan (keperluan)nya

(QS. At-Talaq Ayat 3)

Jika Kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan

(Imam Asy-Syafi'i)

Karena itulah dikatakan bahwa kemenangan tidak bisa diraih begitu saja

(Sun Tzu)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

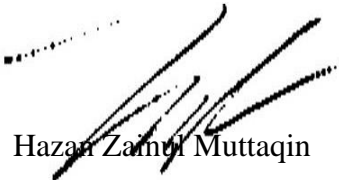
Puji Syukur kepada khadirat Allah SWT yang telah memberikan segala Rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pembuatan Topeng Pelindung Wajah Untuk Pemain Sepakbola yang Nyaman dan Kuat dengan Memanfaatkan Metode *Reverse Engineering*”. Tugas Akhir ini sebagai syarat untuk meraih gelar sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwasanya tanpa adanya bantuan semua pihak penulis tidak akan menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan segala hormat dan terimakasih sebesar besarnya bagi semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan moral dan materi dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir. Ucapan terimakasih ini disampaikan kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan ridhonya kepada hambanya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua saya yang selalu mendoakan memberikan dukungan baik moral maupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Keluarga penulis terkhususnya paman saya yang telah memberikan semangat moral maupun materi dalam pengerjaan Tugas Akhir
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., M.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 yang telah memberikan bimbingan, nasihat serta arahan sebelum maupun hingga Tugas akhir ini selesai dengan baik.
7. Staff laboratorium yang selalu membantu penulis dalam pelaksanaan Tugas Akhir maupun dalam proses penyusunan laporan.
8. Rekan-rekan Teknik Mesin angkatan 2019, penulis sangat bersyukur mengenal kalian.

Penulis menyadari bahwa dalam perjalanan dan pengerjaan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, sangat jauh dari kata sempurna. Hal tersebut karena penulis masih dalam tahap belajar. Saran yang membangun sangat diharapkan untuk proses belajar penulis. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 15 Desember 2023



Hazan Zamri Muttaqin

ABSTRAK

Sepakbola adalah salah satu cabang olahraga yang cukup keras karena olahraga ini sangat rentan terjadi kontak fisik salah satunya benturan. Dalam permainan sepakbola seringkali bagian wajah terkena benturan, area wajah yang rawan terjadi cedera dan benturan pada saat bermain sepakbola yakni tulang hidung, dahi, tulang pelipis dan pipi. Penggunaan topeng wajah menjadi sebuah pilihan yang efektif dan jelas bagi individu yang mengalami cedera pada bagian tersebut namun tetap ingin bermain sepakbola. Karena setiap individu memiliki karakteristik wajah yang berbeda tentu proses 3D printing cocok digunakan serta pendekatan *multimaterial* perlu dipakai dikarenakan setiap *material* saling mendukung. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan purwarupa topeng pelindung wajah yang sesuai dengan masing-masing individu. Tahapan penelitian ini dimulai dengan memindai sampel wajah menggunakan *3D scanner*, selanjutnya objek dihaluskan dan dipotong menggunakan *Software Meshmixer* setelah objek didapatkan langkah selanjutnya objek dimodelkan bertujuan untuk menjadikannya solid menggunakan Autodesk Fusion 360. Kemudian, analisis desain kekuatan memakai *Software Solidworks* dan analisis zebra menggunakan Autodesk Fusion 360. Hasil analisis tersebut sebagai panduan untuk merancang purwarupa topeng pelindung wajah yang mampu untuk mengurangi resiko cedera pada bagian-bagian yang rawan. Purwarupa yang dicetak menggunakan 3D printing yang berbasis dua material bersifat keras dan elastis. Hasil yang diperoleh menunjukkan produk purwarupa topeng wajah ini memiliki ukuran yang sesuai dengan wajah sampel dan nyaman saat digunakan karena adanya material yang elastis dibagian wajah serta topeng pelindung wajah memiliki ketangguhan sebesar 27 J/mm².

Kata kunci: Cedera , 3D printing, Pelindung Wajah. *Multimaterial*

ABSTRACT

Football is a sport that is quite tough because this sport is very susceptible to physical contact, one of which is collision. When playing football, parts of the face are often hit. The areas of the face that are prone to injury and impact when playing football are the nose, forehead, temples and cheek bones. The use of face masks is an effective and obvious option for individuals who have injuries to this area but still want to play football. Because each individual has different facial characteristics, of course the 3D printing process is suitable for use and a multimaterial approach needs to be used because each material supports each other. This research aims to create a prototype of a protective facial mask that suits each individual. This research stage begins by scanning a facial sample using 3D scanner, then the object is smoothed and cut using Meshmixer Software. After the object is obtained, the next step is to model the object to make it solid using Autodesk Fusion 360. Then, strength design analysis using Solidworks Software and zebra analysis using Autodesk Fusion 360. The results of this analysis serve as a guide for designing a prototype protective face mask that is able to reduce the risk of injury to vulnerable parts. The prototype was printed using 3D printing which is based on two materials that are hard and elastic. The results obtained show that this face mask prototype product has a size that fits the sample's face and is comfortable when used because of the elastic material on the face and the protective face mask has a toughness of 27 J/mm².

Keywords: Injury, 3D printing, Face Protector, Multimaterial

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR NOTASI	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian atau Perancangan.....	2
1.5. Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Kajian Pustaka	4
2.2. Dasar Teori.....	6
2.2.1. Sepakbola.....	6

2.2.2.	3D scanner	7
2.2.3.	Purwarupa.....	8
2.2.4.	3D printing.....	8
2.2.5.	PLA.....	8
2.2.6.	TPU.....	9
2.2.7.	Mekanika Kekuatan Material	9
2.2.8.	CAD CAE.....	10
2.2.9.	Multimaterial	11
BAB 3 METODE PENELITIAN		12
3.1.	Alur Penelitian.....	12
3.2.	Kriteria Desain	13
3.3.	Alat Dan Bahan	13
3.3.1.	Laptop.....	13
3.3.2.	3D scan merek sense.....	13
3.3.3.	Aplikasi Meshmixer	14
3.3.4.	Aplikasi Autodesk Fusion 360.....	14
3.3.5.	Aplikasi solidworks 2021	14
3.3.6.	Wajah (Sampel)	14
3.3.7.	3D Printer	15
3.3.8.	Amplas.....	15
3.3.9.	Filament PLA dan TPU	15
3.3.10.	Alat Uji Impak Charpy	16
3.4.	Scanning	16
3.4.1.	Scanning wajah (objek) menggunakan 3D scanner sense	16
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		18

4.1. Hasil Scanning objek menggunakan 3D scanner sense dan pengolahan scanning.....	18
4.2. Penghalusan dan pemotongan permukaan scan menggunakan meshmixer	21
4.3. Proses pemodelan dengan software Autodesk 360 Fusion	25
4.4. Simulasi dan analisis desain	28
4.4.1. Analisis Zebra.....	28
4.4.2. Analisis Tegangan dan kekuatan material	29
4.5. Perancangan dan proses setting parameter 3D printing	31
4.5.1. Penempatan posisi	32
4.5.2. Setting Parameter 3D printing	34
4.6. Proses 3D Printing.....	40
4.7. Finishing.....	43
4.8. Pengujian Tingkat kenyamanan saat dipakai	46
4.9. Pengujian impak.....	53
BAB 5 PENUTUP.....	57
5.1. Kesimpulan.....	57
5.2. Saran dan saran penelitian selanjutnya.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil percobaan pengujian.....	52
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Data area wajah yang umum terjadi cedera sumber: Nonfatal sport-related craniofacial fractures: characteristics.....	6
Gambar 2.2	Area rawan terkena benturan sumber: Soccer- Related Facial Trauma: A Nationwide Perspective	7
Gambar 2.3	Kurva tegangan regangan	10
Gambar 3.1	Pengukuran jarak 5 cm	16
Gambar 3.2	Pengukuran jarak 10 cm	17
Gambar 3.3	Pengukuran jarak 20 cm	17
Gambar 4.1	Hasil pemindaian ke 1 jarak 5 cm.....	18
Gambar 4.2	Hasil pemindaian ke 2 jarak 10 cm.....	19
Gambar 4.3	Hasil pemindaian ke 3 jarak 20 cm.....	20
Gambar 4.4	Menampilkan <i>Import</i> Sampel sebelum diproses.....	20
Gambar 4.5	Hasil Pemrosesan Sampel ke 1 di handy studio	21
Gambar 4.6	Objek sebelum diperhalus	22
Gambar 4.7	Hasil penghalusan objek	23
Gambar 4.8	Objek sebelum pengambilan wajah yang perlu diambil.....	24
Gambar 4.9	Hasil pengambilan wajah sampel	24
Gambar 4.10	Hasil Pemotongan Objek wajah.....	25
Gambar 4.11	<i>Import</i> Hasil pemotongan objek	25
Gambar 4.12	Hasil <i>Quadmesh</i>	26
Gambar 4.13	Hasil Brep desain produk.....	27
Gambar 4.14	Hasil pemotongan bagian tajam dan <i>edit thickness</i>	28
Gambar 4.15	Hasil analisis zebra	29
Gambar 4.16	Data kekuatan <i>material</i> jenis PLA.....	30
Gambar 4.17	Analisis kekuatan bahan PLA dengan beban 73.5 Newton.....	31
Gambar 4.18	Penempatan posisi percobaan 1	32
Gambar 4.19	Penempatan posisi percobaan 2	33
Gambar 4.20	Penempatan posisi percobaan 3	33
Gambar 4.21	Penempatan posisi percobaan 4	34

Gambar 4.22	<i>Setting</i> parameter suhu extruder dan <i>bed</i> percobaan ke 1.....	35
Gambar 4.23	<i>Setting</i> parameter kecepatan <i>retraction</i> percobaan 1.....	35
Gambar 4.24	<i>Setting</i> parameter suhu extruder dan <i>bed</i> percobaan 2.....	36
Gambar 4.25	<i>Setting</i> parameter kecepatan <i>retraction</i> percobaan 2.....	37
Gambar 4.26	<i>Setting</i> parameter suhu extruder dan <i>bed</i> percobaan 3.....	37
Gambar 4.27	<i>Setting</i> parameter kecepatan <i>retraction</i> percobaan 3.....	38
Gambar 4.28	<i>Setting</i> parameter suhu extruder dan <i>bed</i> percobaan 4.....	39
Gambar 4.29	<i>Setting</i> parameter kecepatan <i>retraction</i> percobaan 4.....	39
Gambar 4.30	Proses 3D printing.....	41
Gambar 4.31	Hasil percobaan 1.....	41
Gambar 4.32	Hasil percobaan 2.....	42
Gambar 4.33	Hasil Percobaan ke 3.....	42
Gambar 4.34	Hasil percobaan ke 4.....	43
Gambar 4.35	Hasil 3D printing bagian dalam sebelum <i>finishing</i>	44
Gambar 4.36	Foto bagian atas topeng.....	44
Gambar 4.37	Hasil <i>finishing</i> bagian depan.....	45
Gambar 4.38	Hasil <i>finishing</i> bagian belakang.....	45
Gambar 4.39	Percobaan pemakaian dengan pandangan depan.....	46
Gambar 4.40	Percobaan pemakaian dengan pandangan sebelah kanan.....	47
Gambar 4.41	Percobaan pemakaian dengan pandangan sebelah kiri.....	47
Gambar 4.42	Pengujian pandangan melihat objek bola didepan dengan radius 0° dan jarak 130 cm.....	48
Gambar 4.43	Pengujian pandangan melihat objek bola didepan dengan radius 45 ° kanan dan jarak 130 cm.....	49
Gambar 4.44	Pengujian pandangan melihat objek bola didepan dengan radius 45 ° kiri dan jarak 130 cm.....	50
Gambar 4.45	Pengujian pandangan melihat objek bola dari atas dengan ketinggian 90 cm dari jarak pandang.....	51
Gambar 4.46	Peletakan spesimen puwarupa pelindung wajah.....	53
Gambar 4.47	Nilai $\cos\beta$ spesimen 1.....	54
Gambar 4.48	Nilai $\cos\beta$ spesimen 2.....	55

Gambar 4.49 Nilai $\cos\beta$ spesimen 3	55
--	----

DAFTAR NOTASI

σ	=	Tegangan
F	=	Gaya (N)
A0	=	Penampang
σ_{izin}	=	Tegangan izin
A	=	Penampang
L	=	Panjang lengan pendulum
G	=	Masa Pendulum
W	=	Energi yang diserap
K	=	Harga Ketangguhan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sepakbola adalah sebuah olahraga yang populer, sepakbola merupakan permainan tim yang terfokus pada pengolahan permainan bola dengan tujuan untuk mencetak gol ke gawang, dalam permainan olahraga tentu ada resiko untuk terjadinya cedera salah satunya pada bagian wajah atau *Facies*. *Facies* adalah sebuah struktur bagian permukaan depan kepala yang mewakili identitas individu tertentu, wajah (*Facies*) memiliki bagian-bagian struktur tulang yang mana tulang tersebut sebagai pelindung organ didalamnya, sering kali ada beberapa tulang lunak dan bagian-bagian yang rawan terjadi benturan pada saat bermain sepakbola menurut data dari jurnal Soccer-Related Facial Trauma: A Nationwide Perspective (Bobian Michael R. et al,2016) bagian-bagian wajah yang rawan cedera pada saat terjadi benturan yakni tulang hidung, dahi, tulang pelipis, bagian pipi. Dengan adanya kebutuhan tersebut, penting untuk mengembangkan sebuah alat pelindung wajah yang efektif dan spesifik dengan wajah setiap individu guna mencegah terjadinya cedera dan nyaman digunakan. Dalam merancang dan membuat alat pelindung ini, perlu diperhatikan aspek-aspek penting guna meminimalkan risiko cedera pada wajah.

1.2. Rumusan Masalah

- Bagaimana cara merancang pelindung wajah pemain sepakbola agar spesifik dengan setiap individu.
- Bagaimana cara membuat pelindung wajah pemain sepakbola yang nyaman digunakan dan mampu menahan beban benturan yang mungkin terjadi pada saat bermain sepakbola.

1.3. Batasan Masalah

- Menggunakan 2 bahan PLA dan TPU.
- Proses produksi memakai cara 3D printing.
- *Software* yang digunakan untuk mendesain adalah Autodesk 360 Fusion.
- *Software* simulasi kekuatan menggunakan Solidworks.
- *Software* untuk memotong dan menghaluskan permukaan adalah Meshmixer.

1.4. Tujuan Penelitian atau Perancangan

- Membuat sebuah alat purwarupa pelindung wajah yang spesifik dengan pengguna.
- Membuat topeng wajah yang nyaman digunakan dan mampu menahan benturan yang mungkin terjadi.

1.5. Manfaat Penelitian atau Perancangan

Berikut adalah manfaat dari penelitian yang dilakukan

- Mampu menunjukkan hasil simulasi jika terjadinya benturan atau beban pada produk menggunakan software.
- Mampu membuat hasil cetakan 3Dprinting menggunakan metode multimaterial.
- Mampu mendesain sebuah purwarupa pelindung wajah yang spesifik dengan pengguna.

1.6. Sistematika Penulisan

Pada bab bagian ini berisi tentang urutan dan sistematika penulisan yang sudah dikerjakan. Sistematika penulisan tugas akhir terdiri dari 5 bab antara lain:

1. Bab 1. Pendahuluan, berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan

2. Bab 2. Kajian pustaka dan teori teori yang digunakan pada penelitian ini.
3. Bab 3. Metode penelitian berisikan alur penelitian, alat, bahan.
4. Bab 4. Hasil dan pembahasan berisi tentang cara pengerjaan, hasil dan analisis pengerjaan yang telah dilakukan.
5. Bab 5. Penutup berisi tentang kesimpulan dari pembahasan yang sudah dilakukan dan saran saran untuk penelitian kedepannya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Dalam artikel jurnal yang dituliskan oleh (JM. Jafferson & Shivam Pattanashetti,2021) bahwasanya APD atau alat pelindung diri sangat penting dalam banyak bidang seperti konstruksi, kedokteran, militer, pemadam kebakaran, olahraga dll, Dibuatnya alat pelindung diri ini bertujuan untuk meminimalisir atau mencegah terjadinya kecelakaan. Desain pembuatan APD sangat terbatas jika menggunakan proses manufaktur metode tradisional maka diperlukan sebuah metode modern agar kecepatan produksi bisa lebih efisien, proses 3D printing adalah solusi untuk mengatasi permasalahan jika ingin membuat sebuah purwarupa, karena proses 3D printing bisa membuat sebuah objek yang kompleks serta dalam prosesnya lebih mudah, seseorang hanya memasukan data ke mesin percetakan lalu mesin mencetak desain tersebut menggunakan bahan plastik atau logam (JM. Jafferson & Shivam Pattanashetti,2021).

Pada proses percetakan 3D printing penting pemilihan bahan yang cocok untuk membuat sebuah objek yang diinginkan, faktor seperti tingkat kenyamanan, keamanan serta karakteristik sifat produk perlu diperhatikan, buku berjudul *Polymer Science and Innovative Applications* bab 15 (Meena Sadashiv Laad, 2020), pada bab tersebut membahas tentang polimer sebagai aplikasi *sport* pemilihan bahan pada saat pembuatan alat olahraga yang perlu diperhatikan misalnya seperti cara kerja produk olahraga, pada saat kapan alat olahraga digunakan, lebih lanjut pembuatan alat olahraga juga dalam dewasa ini harus memperhatikan *sustainability* misalnya bisa di *recycle*, bahan yang mempunyai sifat *Biodegradable Materials*. Dalam proses 3D printing polimer berbentuk filamen yang memanjang. Ada banyak jenis polimer tetapi dalam sifatnya polimer 3D printing dibagi menjadi 2 yakni *material* polimer keras dan elastis, jenis

material filamen keras seperti PLA (*Polylactic acid*), ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), PETG (*Polyethylene Terephthalate*), Nylon sementara jenis polimer filamen 3D printing lunak seperti TPU (*Thermoplastic Polyurethane*), dan TPE (*Thermoplastic Elastomer*).

Dalam artikel yang ditulis oleh (Paul A.J. Kolarsick et al.,2011) wajah memiliki struktur kulit yang elastis dan permukaan yang halus. Sebaiknya jika ingin membuat alat yang digunakan di wajah perlu pertimbangan seperti tingkat kehalusan dan elastisitas bahan, salah satu bahan elastis yakni TPU, bahan tersebut memiliki tingkat elastisitas yang tinggi daripada bahan lain. Hal ini membuat TPU mampu untuk beradaptasi dengan baik karena sifatnya yang elastis hal ini akan menimbulkan gesekan yang lebih sedikit daripada golongan bahan yang keras. Dalam pembuatan alat pelindung wajah perlu bahan yang keras untuk menahan benturan secara langsung, agar alat tidak terkena langsung deformasi salah satunya adalah PLA, menurut (Nur-Azzah Afifah Binti Taib et al., 2023) PLA dalam percetakan lebih mudah daripada bahan keras yang lain selain itu PLA memiliki sifat *Biodegradable Materials* yang tentunya sangat ramah lingkungan. Maka diperlukan sebuah metode untuk menggabungkan 2 sifat bahan mekanik agar produk pelindung wajah bekerja sesuai yang diinginkan.

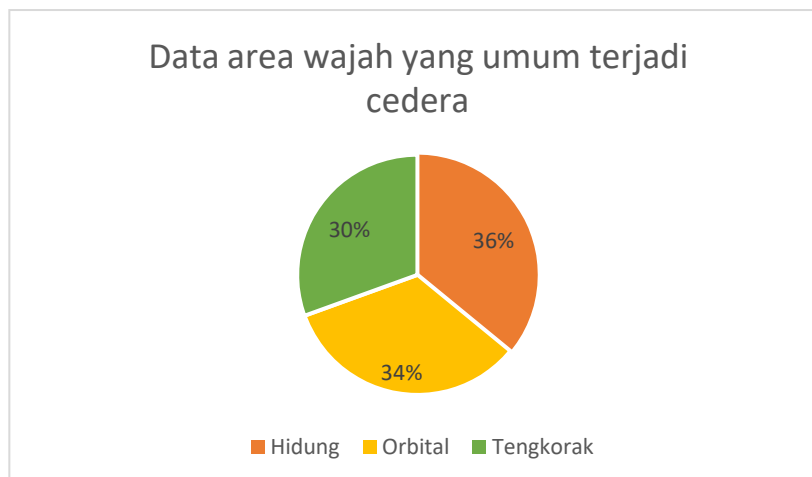
Dalam penelitian yang dikemukakan oleh (L Sabantina et al.,2015) *multimaterial* adalah cara untuk meningkatkan sebuah produk agar lebih optimum, dengan cara menambah bahan yang bisa digunakan untuk mengatasi keterbatasan salah satu contohnya yakni menambah sebuah bahan PLA untuk meningkatkan kekuatan mekanik bahan tekstil. Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh (L.R. Lopes et al,2018) pemanfaatan *multimaterial* menjadi solusi untuk mendapatkan kekuatan mekanis yang berbeda daripada bahan yang normal, salah satu contoh *multimaterial* adalah penggabungan antara bahan PLA dan TPU hasil penggabungan ini menunjukkan bahan PLA-TPU memberikan kekuatan gaya tekan yang lebih daripada bahan normal PLA. Metode

multimaterial cocok untuk dipakai pada proses pembuatan alat pelindung wajah karena metode ini memberikan solusi dari kebutuhan penggabungan 2 sifat *material*.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Sepakbola

Sepakbola adalah olahraga yang keras karena melibatkan kontak fisik yang tinggi . Potensi kontak fisik yang sangat tinggi dalam bermain sepakbola membuat cedera yang diakibatkan benturan dan kontak fisik salah satunya adalah bagian wajah menurut (Bobian Michael R. et al., 2016) bagian area wajah yang sering terjadi benturan mengakibatkan cedera yakni tulang hidung, dahi, pipi, dan tulang pelipis. Selain data dari Soccer-Related Facial Trauma: A Nationwide Perspective, data dari jurnal Nonfatal sport-related craniofacial fractures: characteristics, mechanisms, and demographic data in the pediatric population juga menyebutkan data area wajah yang umum terjadi cedera.



Gambar 2.1 Data area wajah yang umum terjadi cedera sumber: Nonfatal sport-related craniofacial fractures: characteristics

Dikutip dari Nonfatal sport-related craniofacial fractures: characteristics,

mechanisms, and demographic data in the pediatric population pada gambar 2.1 data area wajah yang umum terjadi cedera, disebutkan bahwasanya area wajah yang sering terjadi cedera adalah 36% area hidung, 34% area orbital dan 30% area tengkorak.

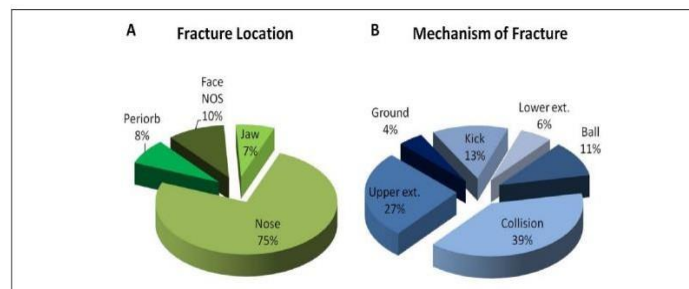


Figure 3. Proportion of facial fracture characteristics by (A) fracture location and (B) mechanism of injury. Abbreviations: Ext, extremity; NOS, not otherwise specified; Periorb, periorbital.

Gambar 2.2 Area rawan terkena benturan sumber: Soccer- Related Facial Trauma: A Nationwide Perspective

Dikutip dari Soccer-Related Facial Trauma: A Nationwide Perspective pada gambar 2.2 menyebutkan area yang sering terjadi cedera 75% hidung, 8% sekitar mata, 7% rahang dan untuk mekanisme penyebabcederanya bervariasi mulai dari 39% tabrakan, 27% *upper ext*, 13% tendangan, 11% bola, 6% *lower ext*, 4% jatuh ke tanah.

2.2.2. 3D scanner

3D scanner adalah sebuah alat untuk memindai sebuah objek yang nantinya akan divisualisasikan secara 3D , alat ini sebagai alat bantu jika ingin memindai sebuah objek yang memiliki bentuk kompleks, kegunaan 3D scanner banyak sekali dari mulai dari bidang arkelogi, seni kesehatan, manufaktur (*Reverse engineering*). Dalam penelitian ini alat 3D scanner berguna untuk memindai spesifik wajah yang nantinya akan di *modeling* di komputer (P Amornvit dan S Sanohkan ,2019).

2.2.3. Purwarupa

Purwarupa adalah menyebutkan produk yang masih bisa dikembangkan lagi yang mana produk tersebut belum sempurna dan masih belum layak untuk dipasarkan dan diproduksi secara masal. Purwarupa sangat penting dalam proses manufaktur karena purwarupa ini nantinya akan diuji apa saja kekurangan dan data dari purwarupa tersebut yang nantinya akan dibuat sebagai referensi untuk pengembangan produk (CWEIverum, T Welo,2015).

2.2.4. 3D printing

3Dprinting adalah sebuah teknologi mencetak produk dengan proses perlayer yang memungkinkan bisa mencetak produk yang kompleks. Sejarah 3D print dikembangkan pada tahun 1980, awalnya 3Dprint untuk membuat sebuah purwarupa. Ada beberapa tipe metode 3D printing antara lain *Stereolitografi (SLA)*, *Fused Filament Fabrication (FFF)*, *Digital Light Processing (DLP)* *Selektif Laser Sintering (SLS)*. Dalam perkembangannya percetakan 3D printing banyak sekali pengaplikasiannya dari mulai Kesehatan, otomotif, penerbangan, manufaktur, dalam pengaplikasi umumnya 3D print untuk membuat sebuah purwarupa (CM Thakar et al,2022). Keunggulan teknologi ini bisamencetak produk yang kompleks. Tetapi 3D print ini memiliki sebuah kekurangan seperti waktu pencetakan yang lumayan lama sehingga *cost* atau biaya pembuatan produk menjadi mahal. Hal ini yang membuat jika produk diproduksi menggunakan 3D print kurang layak dari pengeluaran harga.

2.2.5. PLA

PLA (*Polylactic acid*) adalah salah satu bahan percetakan 3D print, bahan ini termasuk dalam plastik biodegradable, PLA ini adalah suatu plastik yang terbuat dari saripati jagung dan kentang yang tentunya ramah lingkungan serta bahan yang berkelanjutan (M Singhvi et al,2013). PLA memiliki keunggulan seperti kekerasan yang cukup baik, tahan terhadap sinar UV, biodegradable, lebih

murah. PLA biasa digunakan untuk mencetak purwarupa, produk mainan, dan banyak produk lainnya. PLA dicetak dalam bentuk benang atau *filament* yang mana *filament* tersebut dilelehkan, terus di cetak lapisan demi lapisan di *bed* atau *platform* sampai membentuk sebuah produk, bahan PLA ini memiliki suhu cetak berkisar 190-210 °C berdasarkan sumber dari website wevolver dan memiliki kekuatan sebesar 45 MPa sampai 65 Mpa.

2.2.6. TPU

TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) dikenal sebagai bahan jenis poliuretan termoplastik yang mempunyai karakteristik sifat bahan elastis dan tahan terhadap tekanan (HJ Qi, MC Boyce, 2005). *Material* TPU ini terbuat dari minyak, aplikasi dari TPU antara lain digunakan untuk mencetak objek atau produk yang memerlukan fleksibilitas, dan ketahanan terhadap tekanan seperti alat olahraga, pelindung ponsel, peralatan *outdoor*. TPU memiliki bentuk benang atau *filament* yang nantinya TPU ini dilelehkan ke *platform* selanjutnya di cetak lapis per lapis ke *platform* sampai membentuk sebuah produk, bahan TPU mempunyai suhu cetak berkisar 210-250 °C berdasarkan sumber dari website wevolver, kekurangan TPU karena sifat mekanik yang elastis maka dalam mencetak agak sulit daripada bahan yang mempunyai sifat kaku.

2.2.7. Mekanika Kekuatan Material

Mekanika kekuatan material adalah salah satu bidang studi yang mempelajari tentang bahan yang terkena tekanan sehingga menghasilkan tegangan dan regangan (JM Gere et al, 2000), dalam hal ini ada beberapa jenis tegangan antara lain tegangan tekan, tegangan tarik, tegangan geser dan tegangan torsi. Dalam merancang sebuah produk perlu diperhatikan beban yang bisa ditahan oleh kekuatan *material* dalam banyak kasus tegangan tidak boleh melebihi *Yeild Strength* karena akan membuat benda tersebut terkena deformasi plastis atau perubahan bentuk struktur benda (E Didik et al, 2015), dalam perancangan harus memastikan keamanan sebuah produk dengan mempertimbangkan *Safety Factor* (SF) dan tegangan izin untuk memastikan

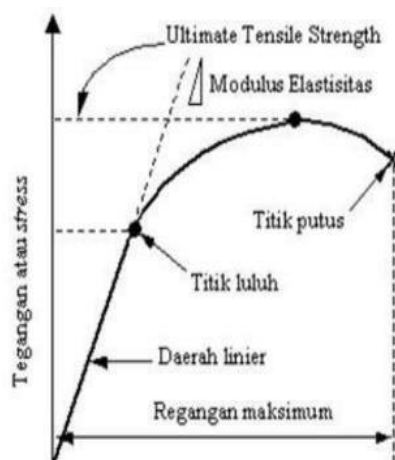
produk mempunyai kekuatan yang cukup, dengan margin keamanan mengatasi ketidakpastian beban yang terjadi. Rumus :

$$\sigma = F/A$$

$$SF = >1$$

$$\sigma_{izin} = YS/SF$$

Berikut adalah grafik tegangan regangan



Gambar 2.3 Kurva tegangan regangan

2.2.8. CAD CAE

CAD(Computer-Aided Design) adalah merujuk pengguna computer sebagai media mendesain,merancang dan menghasilkan gambar teknis sebuah produk atau objek yang ingin digambar menggunakan CAD ada banyak di berbagai bidang seperti arsitektur, rekayasa, desain produk (O Ostrowsky, 2019). Penggunaan CAD membuat professional mendesain lebih akurat, mudah dan efisien secara waktu dibandingkan menggambar secara manual. CAE singkatan dari Computer-Aided Engineering ilmu ini merujuk pada penggunaan software untuk menganalisis sebuah desain untuk kepentingan teknis dengan hasil analisis dan simulasi yang nantinya sebagai referensi analisa dan pengembangan produk, ada beberapa macam analisis CAE terbagi menjadi analysis simulasi mekanika,

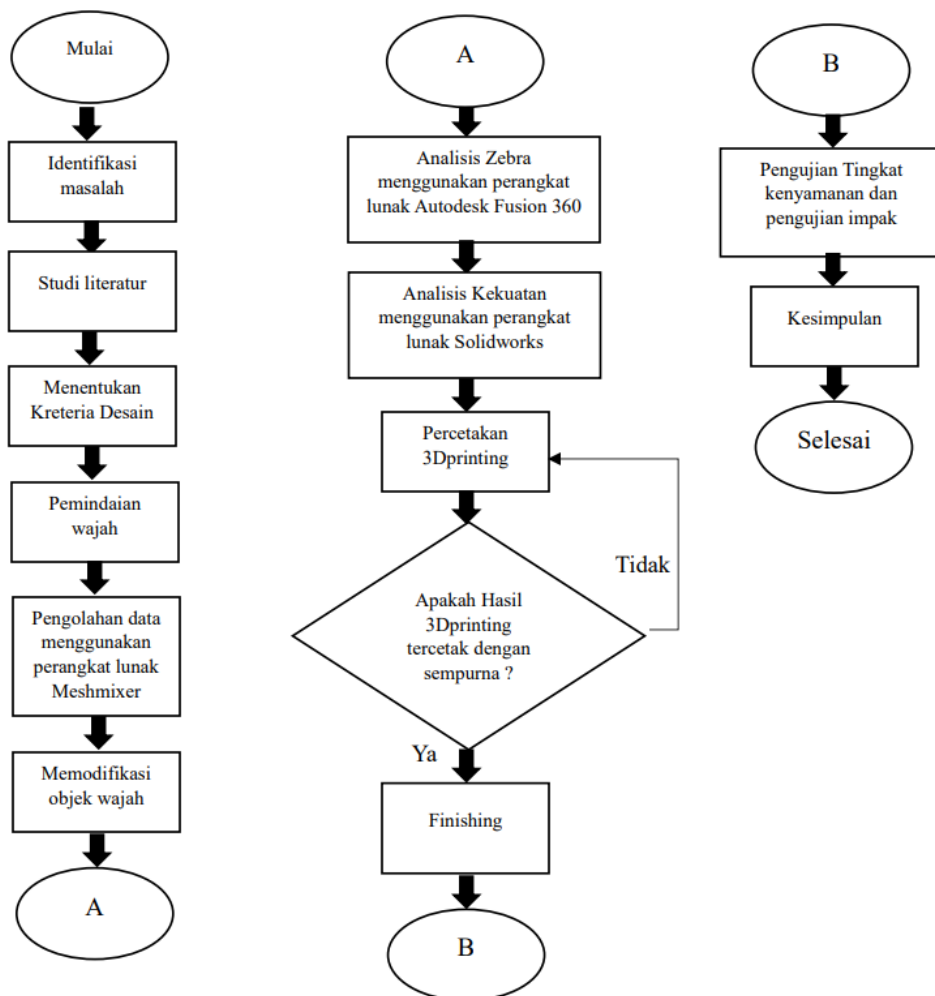
dinamika fluida, analisis termal, analisis elemen ,dan analisis struktur (RA Walker, et al,1984).

2.2.9. Multimaterial

Multimaterial merujuk kepada penggunaan berbagai jenis *material* dalam sebuah produk atau sistem, terutama dalam konteks rekayasa dan manufaktur. Pendekatan *multimaterial* dapat digunakan untuk memanfaatkan keunggulan masing-masing *material*, memenuhi persyaratan khusus, atau mengatasi tantangan teknis tertentu (Vivi Triyanti & Orlena Tirtasari, 2007). Ini umumnya digunakan dalam beberapa aplikasi seperti manufaktur, rekayasa, dan desain produk. Salah satu penerapannya *multimaterial* yakni pada teknologi *aerospace* dalam pesawat, penggunaan *multimaterial* umumnya berkaitan dengan pengurangan berat dan peningkatan efisiensi. Bagian-bagian tertentu mungkin terbuat dari komposit serat karbon yang ringan dan kuat, sementara bagian lain mungkin menggunakan logam seperti aluminium atau titanium

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Alur Penelitian



3.2. Kriteria Desain

Pelindung wajah memiliki fungsi untuk melindungi wajah dari benturan eksternal dari luar. Kriteria desain yang ditentukan berdasarkan fungsi dan keinginan perancangan adalah:

1. Topeng pelindung wajah spesifik dengan wajah individu
2. Topeng pelindung wajah menggunakan proses *multimaterial* 3Dprinting dengan bahan PLA dan TPU
3. Topeng pelindung wajah permukaan dalam elastis agar kulit wajah nyaman

3.3. Alat Dan Bahan

3.3.1. Laptop

Laptop merupakan alat terpenting dalam proses penelitian ini karena hampir semua pekerjaan dalam penelitian ini baik dari backup data pembuatan desain atau *modeling* Spesifikasi laptop yang di gunakan adalah Asus tuf f15 dengan sistem operasi Windows 11 dan RAM 8GB

3.3.2. 3D scan merek sense

3D *scan* adalah alat untuk memindai objek, dalam pengaplikasian penelitian ini 3D *scan* digunakan untuk memindai wajah yang nantinya akan *dimodeling*. Penelitian ini menggunakan 3d *scan* merek sense 3D *scans* sense memiliki spesifikasi berikut (Aqis nurkholis,2021):

Volume pemindaian : Min: 0,2 m x 0,2 m x 0,2 m

Maksimal: 2m x 2m x 2m Rentang operasi :

Min: 0.45m, Max: 1.6m

Bidang Pandang : Horisontal: 45 °, Vertikal: 57,5 °, Diagonal 69 °

3.3.3. Aplikasi Meshmixer

Meshmixer adalah sebuah perangkat lunak untuk pengolahan, pengeditan data 3D model beberapa kegunaan meshmixer seperti reparasi model, menggabungkan dan memotong model, serta penghalusan permukaan model. Alasan pemilihan *software* ini karena penghalusan, pemolaan permukaan bisa dilakukan secara manual dengan menandai bagian objek atau wajah, sistem pemotongan juga sangat mudah.

3.3.4. Aplikasi Autodesk Fusion 360

Autodesk Fusion 360 adalah salah satu perangkat lunak untuk pengolahan gambar teknik 3D model, ini bagus untuk membuat pekerjaan yang memerlukan kolaborasi, fitur-fitur integrasi desain 3D dan manufaktur menjadikan salah satu keunggulan ini. *Quadremesh* salah satu fitur yang dipakai dalam penelitian ini fitur ini mengedit *mesh* menjadi lebih praktis dan merubah *mesh* menjadi desain solid. Selain mengolah *mesh* menjadi solid Autodesk Fusion 360 mampu untuk menganalisis lengkungan sebuah desain menggunakan fitur analisis zebra.

3.3.5. Aplikasi solidworks 2021

Solidworks adalah sebuah perangkat lunak CAD ini memiliki kegunaan untuk membuat sebuah gambar teknik selain membuat gambar teknik solidworks juga bisa melakukan sebuah simulasi desain dari mulai simulasi kekuatan *material*, torsi, dan aliran fluida. Dalam perancangan/penelitian ini aplikasi solidworks dipakai untuk simulasi kekuatan.

3.3.6. Wajah (Sampel)

Objek wajah digunakan sebagai sampel pembuatan pelindung wajah dalam penelitian/perancangan ini sampel wajah yang digunakan menggunakan wajah peneliti. Alasan sampel wajah peneliti sendiri karena peneliti tahu betul wajahnya, yang memungkinkan pengambilan keputusan berdasarkan parameter pengukuran dan kenyamanan dengan lebih akurat.

3.3.7. 3D Printer

3D printer adalah perangkat keras yang berguna untuk mencetak desain dalam bentuk 3D, kelebihan dari 3D printer ini mampu mencetak desain yang kompleks. Alasan memilih 3D printer sebagai alat untuk memproduksi pelindung wajah karena yang dibutuhkan pelindung wajah hanya 1 produk.

3.3.8. Amplas

Amplas adalah salah satu bahan *abrasive*, kegunaan dari amplas ini untuk menghaluskan dan merapikan sebuah permukaan. Amplas memiliki banyak nilai grit, 40-60 grit (kasar), 80-120 (sedang), 150-240 (Halus), 280-600(sangat halus), 800-1200 (sangat sangat halus), grit di atas 1200 (super halus).

3.3.9. Filament PLA dan TPU

Dalam pemrosesan sebuah produk harus mengidentifikasi bahan apa yang dibutuhkan agar produk tersebut bekerja dengan baik, dalam penelitian ini ada 2 bahan yang dibutuhkan yakni bahan yang keras dan bahan yang elastis, bahan yang keras untuk menahan benturan pada saat bermain sepakbola sementara bahan yang elastis berguna untuk meredam benturan, selain itu bahan elastis menimbulkan gesekan yang lebih rendah daripada bahan yang keras hal ini berguna untuk memberikan kenyamanan pada kulit wajah, karena sifat elastisitas yang bisa meregang dan beradaptasi dengan baik pada saat pemakaian. PLA dan TPU adalah salah satu bahan pada pemrosesan 3D printing, bahan ini berbentuk *filament* benang, PLA memiliki karakteristik keras sementara TPU memiliki karakteristik bahan yang lunak dan elastis. Alasan memilih bahan PLA karena karakteristiknya yang keras, ramah lingkungan, pemrosesan pada saat pencetakan lebih mudah dari bahan lain, sementara alasan memilih bahan TPU daripada bahan elastis lain karena TPU mempunyai sifat mekanik dan elastis yang lebih baik daripada bahan elastis yang lain.

3.3.10. Alat Uji Impak Charpy

Alat Uji impak charpy adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk melakukan uji impak. Alat ini dirancang untuk mengukur ketangguhan *material* atau produk dengan cara memberikan beban tiba-tiba. Dalam penelitian ini alat tersebut untuk mengetahui seberapa besar ketangguhan purwarupa topeng pelindung wajah.

3.4. Scanning

Proses *scanning* ini menggunakan alat 3D *scanner* dengan merek 3d *scan sense* dan diproses menggunakan *software* handy. Proses *scanning* ini untuk mendapatkan model sampel dengan keluaran atau *output* berupa *mesh* penelitian atau perancangan ini mengambil 1 model, proses *scanning* ini dibagi beberapa tahap

3.4.1. Scanning wajah (objek) menggunakan 3D scanner sense

Install handy *scan* di laptop dan atur jarak pindai wajah dan *scanner* sampai mendapat jarak yang bagus : excellent dan good, setelah itu save maka di dapetkan sampel dengan format ply (penyimpanan data 3D objek) berikut percobaan 3D *scanning*, variasi gambar 3.1 menampilkan jarak 5 cm, gambar 3.2 menampilkan jarak 10 cm dan gambar 3.3 menampilkan jarak 20 cm.



Gambar 3.1 Pengukuran jarak 5 cm



Gambar 3.2 Pengukuran jarak 10 cm



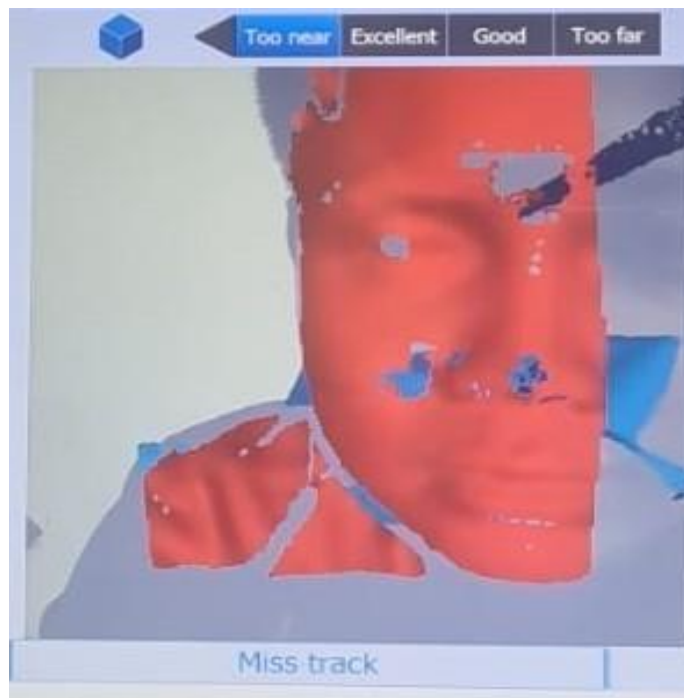
Gambar 3.3 Pengukuran jarak 20 cm

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Scanning objek menggunakan 3D scanner sense dan pengolahan scanning

Setelah melakukan studi literatur langkah selanjutnya adalah mencari data geometri objek. Dalam penelitian ini geometri objek yang dicari adalah permukaan dan dimensi wajah, karena keterbatasan pengukuran menggunakan cara tradisional maka diperlukan pengukuran dengan cara *modern* yakni dengan proses 3D scanning dengan maksud untuk mendapatkan permukaan dan dimensi wajah. Berikut adalah gambar hasil scanning dengan variasi jarak 5-20 cm:



Gambar 4.1 Hasil pemindaian ke 1 jarak 5 cm

Pada pemindaian ke 1 dengan jarak 5 cm seperti yang terlihat pada gambar 4.1 menghasilkan nilai *Too near* yang berarti jarak terlalu dekat, hal ini dikarenakan 3D scanner memindai wajah diluar posisi *depth of field*.



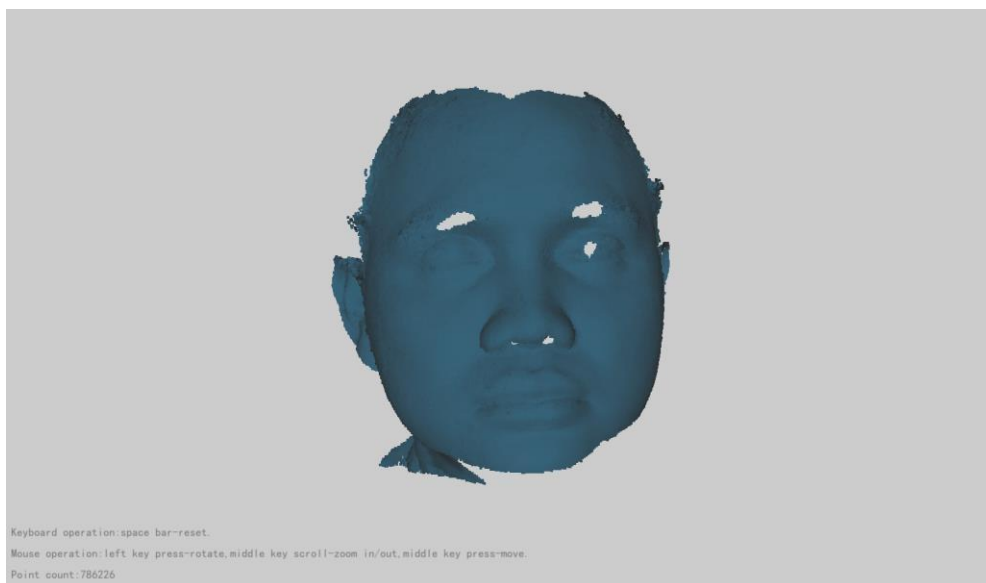
Gambar 4.2 Hasil pemindaian ke 2 jarak 10 cm

Pada pemindaian ke 2 dengan jarak 10 cm seperti yang terlihat pada gambar 4.2 didapatkan nilai good hal ini karena saat 3D scanner memindai wajah pada posisi *depth of field*, posisi tersebut adalah posisi yang dapat diterima oleh 3D scanner posisi diantara jauh dan dekat.



Gambar 4.3 Hasil pemindaian ke 3 jarak 20 cm

Pada pemindaian ke 3 dengan jarak 20 cm seperti yang terlihat pada gambar 4.3 menghasilkan nilai *Too far* yang berarti jarak terlalu jauh, hal ini dikarenakan 3D scanner memindai wajah diluar posisi *depth of field*.



Gambar 4.4 Menampilkan *Import* Sampel sebelum diproses

Pada tahap ini *file scan* dengan format ply diimpor ke handy studio seperti yang terlihat pada gambar 4.4, pemrosesan ini bertujuan untuk mengedit desain agar lebih baik, dalam kasus ini desain diedit menggunakan fitur *fill hole* agar lubang tertutup dengan hasil desain lebih baik dan berbentuk mesh seperti yang terlihat pada gambar 4.5.

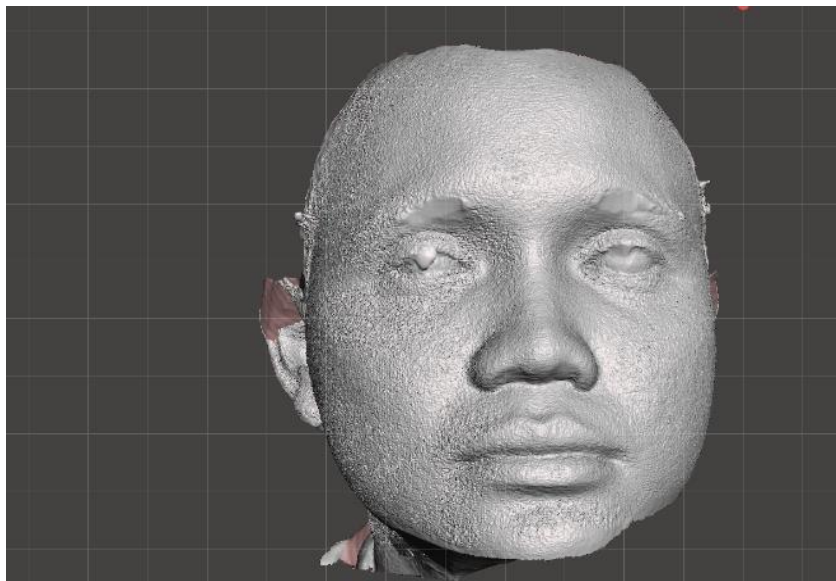


Gambar 4.5 Hasil Pemrosesan Sampel ke 1 di handy studio

4.2. Penghalusan dan pemotongan permukaan scan menggunakan meshmixer

Penghalusan permukaan bertujuan agar objek mudah dimodeling di Autodesk Fusion 360 jika objek kasar akan berpengaruh pada proses pengeditan *mesh*, tata cara penghalusan di meshmixer pertama tentukan bagian mana yang akan dihaluskan, dalam penelitian ini bagian wajah yang rawan tentunya perlu dihaluskan dari data jurnal Soccer-Related Facial Trauma: A Nationwide Perspective dan artikel medscape.com yang sudah dibaca bagian bagian wajah yang rawan terjadi benturan dan terkena cedera pada saat aktivitas sepakbola adalah tulang hidung, tulang pelipis, pipi dan dahi. Setelah menentukan bagian

wajah mana yang akan dihaluskan langkah selanjutnya masukan file *scan* yang sudah di dapat setelah itu gunakan fitur *Unwrap brush* untuk menentukan bagian wajah yang nantinya akan dipotong, langkah selanjutnya gunakan fitur *smooth* lakukan 2-3 kali agar permukaan halus sempurna. Berikut gambar objek *scan* sebelum dihaluskan seperti yang terlihat pada gambar 4.6 dan sesudah dihaluskan permukaannya seperti pada gambar 4.7.



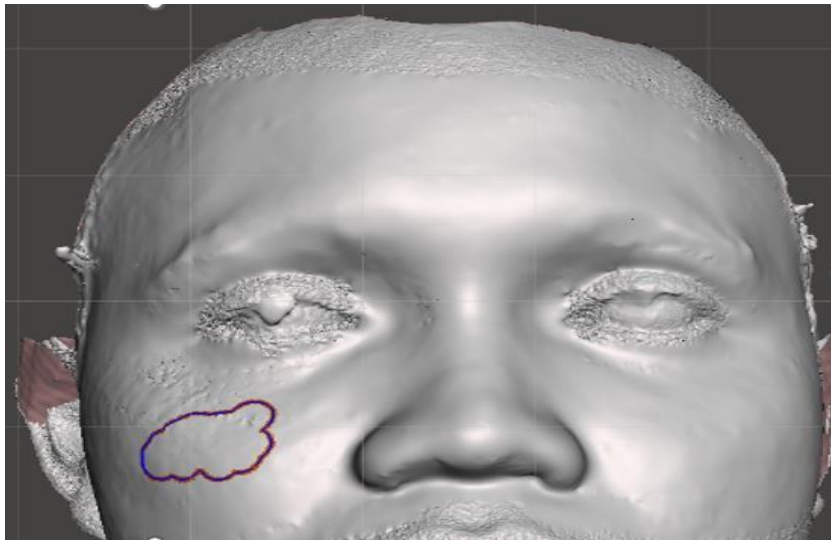
Gambar 4.6 Objek sebelum diperhalus



Gambar 4.7 Hasil penghalusan objek

Proses pemotongan adalah proses lanjutan dari penghalusan. Proses pemotongan penting karena dalam tahap ini proses tersebut untuk mendapatkan bagian tertentu objek wajah, yang nantinya akan di modeling di *software* Autodesk Fusion 360. Langkah pertama adalah mengidentifikasi bagian mana wajah yang sering terkena benturan dan rawan cedera pada saat bermain sepakbola, dari data yang sudah didapatkan bahwasanya tulang hidung, tulang pelipis, pipi dan dahi sering terkena benturan dan rawan cedera. Setelah mengidentifikasi, langkah selanjutnya adalah mengambil bagian wajah mana yang rawan terjadi benturan dan cedera menggunakan fitur *Unwarp bush* dan *smooth boundrys*. Fitur *unwarp bush* berguna untuk mengarsir dan fitur *smooth boundrys* berguna untuk memvalidasi area yang sudah diarsir atau ditandai oleh *Unwarp bush*. Pada proses pengambilan bagian wajah tertentu seperti bagian yang berdekatan dengan mata perlu memperhatikan aspek seperti pada saat pengambilan area wajah tidak menutupi bagian mata, menutupi bagian tonjolan alis, menutupi tulang pelipis yang berdekatan dengan mata, menutupi bawah mata bagian pipi dan menutupi bagian hidung atas yang berdekatan dengan mata. Setelah bagian wajah yang perlu sudah diambil langkah selanjutnya memotong objek, langkah ini bertujuan untuk memisahkan dari objek asli dan objek yang

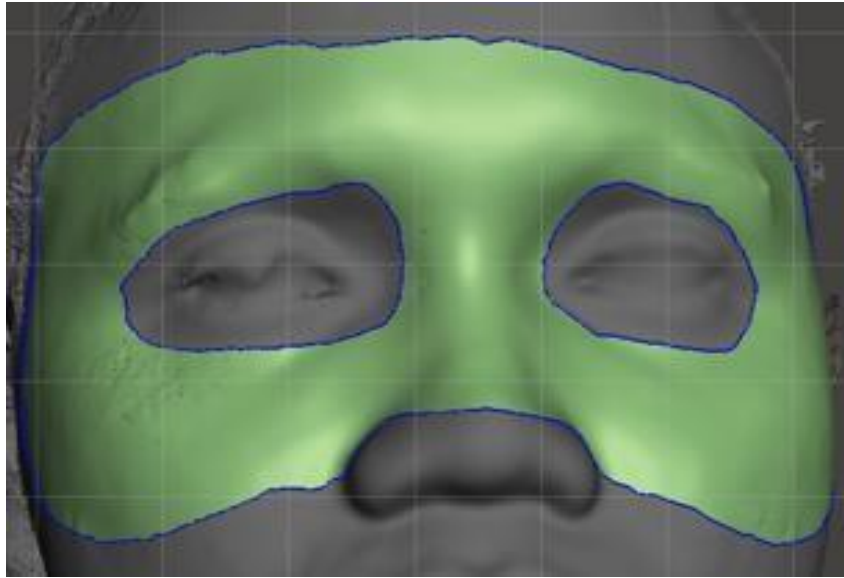
dibutuhkan, dalam proses pemisahan ini menggunakan fitur *separate* fitur tersebut berguna untuk memisahkan dan memotong objek. Berikut gambar objek sebelum pengambilan bagian wajah yang perlu, seperti yang terlihat pada gambar 4.8, pada gambar 4.9 menampilkan hasil pengambilan wajah sampel yang perlu diambil dan pada gambar 4.10 menampilkan hasil pemotongan objek wajah.



Gambar 4.8 Objek sebelum pengambilan wajah yang perlu diambil



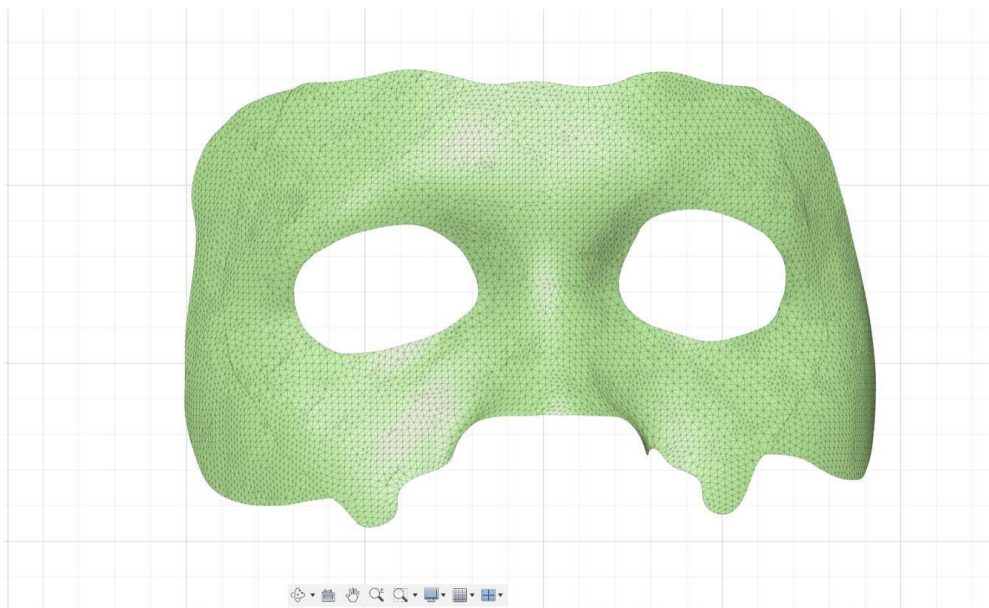
Gambar 4.9 Hasil pengambilan wajah sampel



Gambar 4.10 Hasil Pemotongan Objek wajah

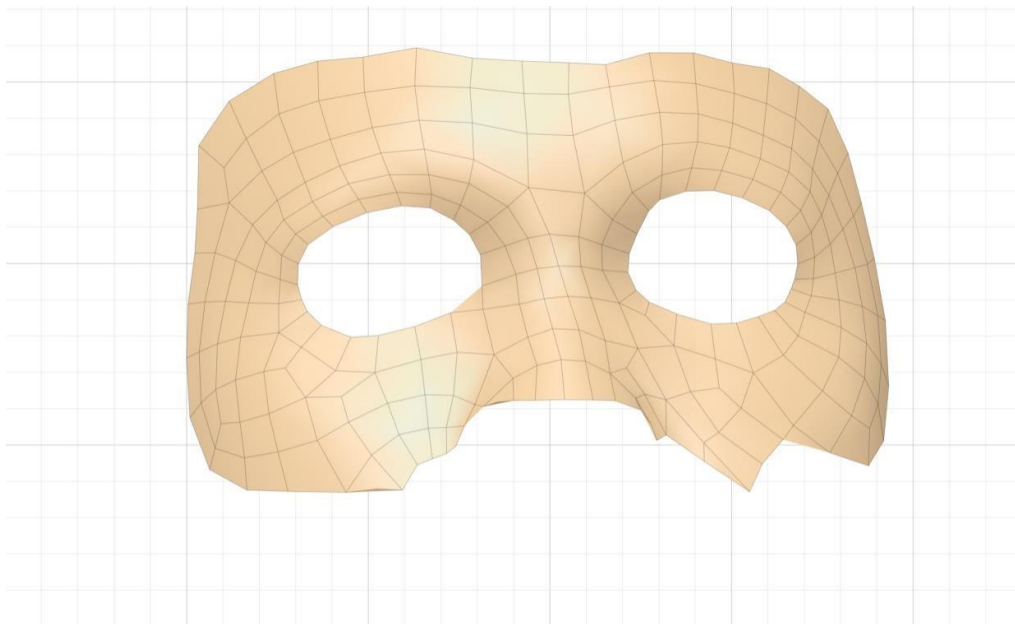
4.3. Proses pemodelan dengan software Autodesk 360 Fusion

Pemodelan ini bermaksud untuk mendapatkan desain produk yang nantinya diproduksi di 3D printer, dalam proses pemodelan tahap awalnya adalah mengimport file sebagaimana terlihat pada gambar 4.11 yang meunjukkan gambar import hasil pemotongan objek.



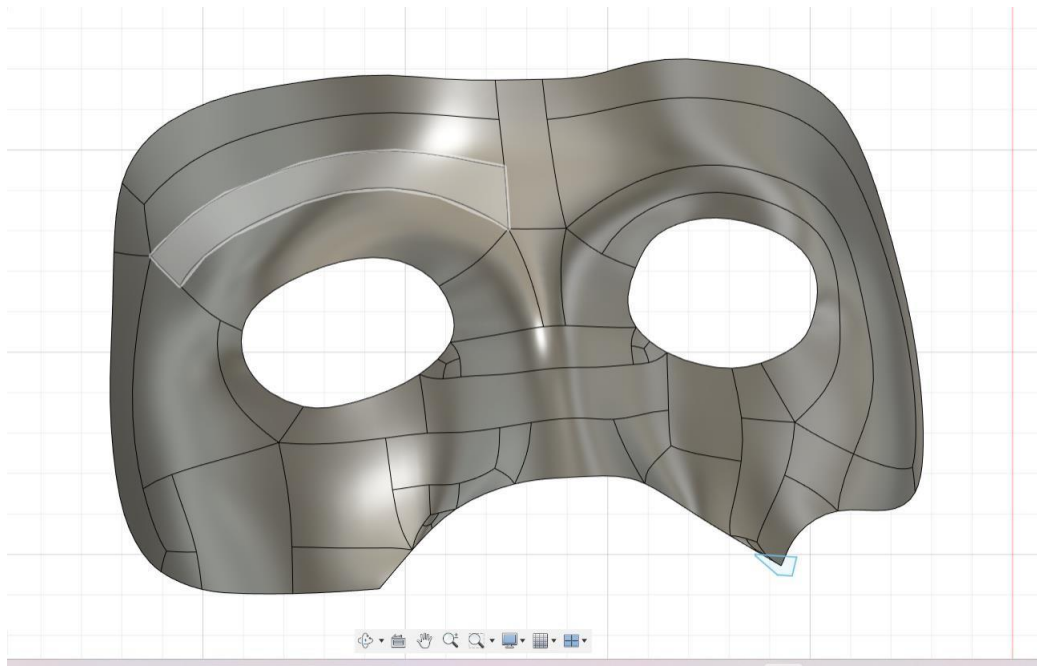
Gambar 4.11 *Import* Hasil pemotongan objek

Proses pemodelan ini dilakukan dengan cara mengimport objek yang telah dipotong, format objek berupa stl. Setelah di *import* langkah selanjutnya buat jadi *mesh* yang lebih beraturan menggunakan fitur *QuadMesher*. Fitur ini berguna untuk membuat *mesh* lebih teratur, stabil, efisien dibanding *mesh* tipe *triangle*. cara kerja fitur ini mereduksi *mesh* menjadi bagian yang lebih simpel dan bisa diproses di komputer. Gambar 4.12 adalah hasil reduksi dan mengubah format mesh dari *triangle* menjadi *quad*.



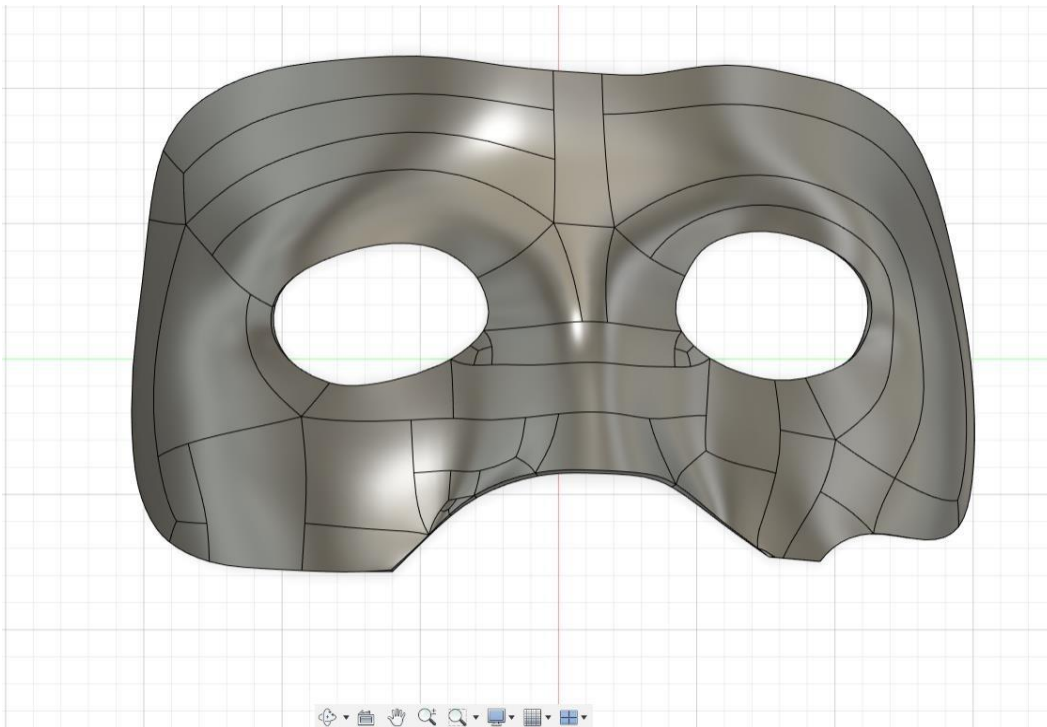
Gambar 4.12 Hasil *Quadmesh*

Setelah proses *quadmasher* maka proses selanjutnya membuat desain *mesh* menjadi desain *surface* solid seperti yang terlihat pada gambar 4.13 adalah hasil dari membuat mesh menjadi desain *surface* dalam hal ini memakai fitur *Brep* yang ada di *Quadmesher* selanjutnya saya membuat ketebalan sebesar 1 mm menggunakan fitur *thicken* bagian *surface* untuk menjadikannya solid, seperti yang terlihat pada gambar 4.14 adalah hasil mengedit dari *surface* ke solid, pada saat yang sama saya juga memotong bagian desain yang tajam agar pada saat pemakaian topeng pelindung wajah tidak mengganggu.



Gambar 4.13 Hasil Brep desain produk

Brep (*Boundary Representation*) adalah format untuk menjelaskan bagian bagian tepi, permukaan matematis untuk menyatakan batasnya, sederhananya Brep adalah format setengah jadi solid.



Gambar 4.14 Hasil pemotongan bagian tajam dan *edit thickness*

4.4. Simulasi dan analisis desain

Simulasi dan analisis ini bertujuan untuk mengetahui masalah potensial yang terjadi. Analisis dan simulasi banyak macamnya dari analisis aliran, tegangan, zebra, termal, kekuatan material. Dalam kasus produk ini analisis yang perlu dan penting yakni analisis zebra, analisis tegangan dan kekuatan material.

4.4.1. Analisis Zebra

Analisis zebra adalah analisis untuk mengetahui sebuah kelengkungan permukaan, jika garis zebra ini berkelok maka digambarkan bahwasannya permukaan tersebut tidak rata atau berlekuk. Gambar 4.15 memberikan penjelasan kompleksibilitas permukaan desain topeng pelindung wajah dengan garis-garis yang melengkung tidak lurus. Analisis zebra bertujuan untuk memvalidasi kecocokan desain dengan permukaan kompleks wajah, garis yang lurus mengindikasikan ketidaksesuaian dikarenakan wajah tidak datar, jika hal tersebut ada maka perlu ada perbaikan desain pada area

tertentu.



Gambar 4.15 Hasil analisis zebra

4.4.2. Analisis Tegangan dan kekuatan material

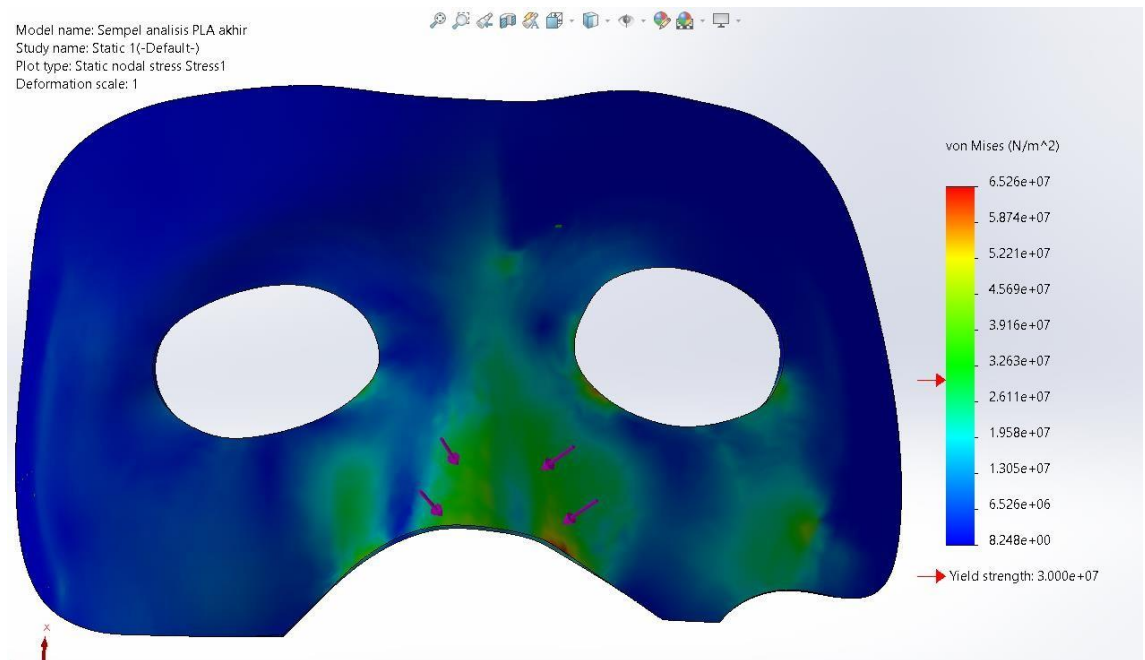
Tegangan atau (stress) adalah sebuah gaya yang bekerja pada penampang atau luas area sebuah benda. Semakin besar gaya maka semakin besar pula tegangannya, setiap material mempunyai batas maksimal tegangan sebelum terjadinya patah atau biasa disebut Ultimate Tensile Stress tetapi batas yang harus diperhatikan yakni yield stress karena setelah melewati batas yield stress material akan terkena deformasi plastis. Deformasi plastis adalah keadaan material ketika terkena beban tetapi tidak bisa ke bentuk semula. Analisis tegangan dan kekuatan material pada penelitian kali ini mempunyai tujuan untuk mengetahui seberapa besar beban yang dapat diterima oleh desain topeng pelindung wajah. Langkah awal dari proses analisis dan simulasi ini yakni menentukan bahan yang mau digunakan, untuk bahannya pada simulasi ini menggunakan bahan PLA saja dikarenakan data bahan TPU belum bisa didapatkan, setelah menentukan bahan yang digunakan maka selanjutnya menentukan

software yang akan digunakan. Untuk software kali ini menggunakan software Solidworks, karena di software tidak ada material tersebut maka langkah pertama yakni mengcustom material yang diperlukan. Pada gambar 4.16 menampilkan data kekuatan material jenis PLA yang nantinya data tersebut akan di custom ke software solidworks.

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell R	104 - 118	104 - 118	Average value: 114 Grade Count:5
Hardness, Shore A	63.0 - 87.0	63.0 - 87.0	Average value: 76.8 Grade Count:8
Hardness, Shore D	34.0 - 87.0	34.0 - 87.0	Average value: 69.0 Grade Count:19
Ball Indentation Hardness	105 - 190 MPa	15200 - 27600 psi	Average value: 131 MPa Grade Count:4
Tensile Strength, Ultimate	0.160 - 3000 MPa	23.2 - 435000 psi	Average value: 59.5 MPa Grade Count:169
	5.00 - 42.0 MPa @ Temperature 30.0 - 110 °C	725 - 6090 psi @ Temperature 86.0 - 230 °F	Average value: 27.8 MPa Grade Count:2
Film Tensile Strength at Yield, MD	19.0 - 54.0 MPa	2760 - 7830 psi	Average value: 30.5 MPa Grade Count:13
Film Tensile Strength at Yield, TD	14.0 - 48.0 MPa	2030 - 6960 psi	Average value: 26.5 MPa Grade Count:13
Tensile Strength, Yield	8.00 - 103 MPa	1160 - 14900 psi	Average value: 41.9 MPa Grade Count:58
	46.0 - 49.0 MPa @ Temperature 30.0 - 110 °C	6670 - 7110 psi @ Temperature 86.0 - 230 °F	Average value: 47.8 MPa Grade Count:2
Film Elongation at Break, MD	2.00 - 4550 %	2.00 - 4550 %	Average value: 489 % Grade Count:48
Film Elongation at Break, TD	2.00 - 3980 %	2.00 - 3980 %	Average value: 554 % Grade Count:48
Elongation at Break	0.500 - 1400 %	0.500 - 1400 %	Average value: 76.2 % Grade Count:232
	15.0 - 100 % @ Temperature 30.0 - 110 °C	15.0 - 100 % @ Temperature 86.0 - 230 °F	Average value: 41.3 % Grade Count:2
Elongation at Yield	1.00 - 400 %	1.00 - 400 %	Average value: 29.3 % Grade Count:49
	2.00 - 2.00 % @ Temperature 30.0 - 110 °C	2.00 - 2.00 % @ Temperature 86.0 - 230 °F	Average value: 2.00 % Grade Count:2
Modulus of Elasticity	0.0500 - 13.8 GPa	7.25 - 2000 ksi	Average value: 2.34 GPa Grade Count:213
	2.96 - 3.60 GPa @ Temperature 30.0 - 110 °C	429 - 522 ksi @ Temperature 86.0 - 230 °F	Average value: 5.92 GPa Grade Count:2
	6.10 - 8.90 GPa @ Temperature 70.0 - 70.0 °C	885 - 1290 ksi @ Temperature 150 - 150 °F	Average value: 5.92 GPa Grade Count:1
	6.10 - 8.90 GPa @ Time 0.000 - 1.44e+6 sec	885 - 1290 ksi @ Time 0.000 - 400 hour	Average value: 5.92 GPa Grade Count:1

Gambar 4. 16 Data kekuatan *material* jenis PLA

Diketahui PLA mempunyai $Y_S = 46 \text{ MPa}$ dan $UTS = 65 \text{ MPa}$, Tahap awal membuat custom *material* di *software* solidworks dengan memasukan dan mengedit varibel variable data yang sudah di dapat dari web.

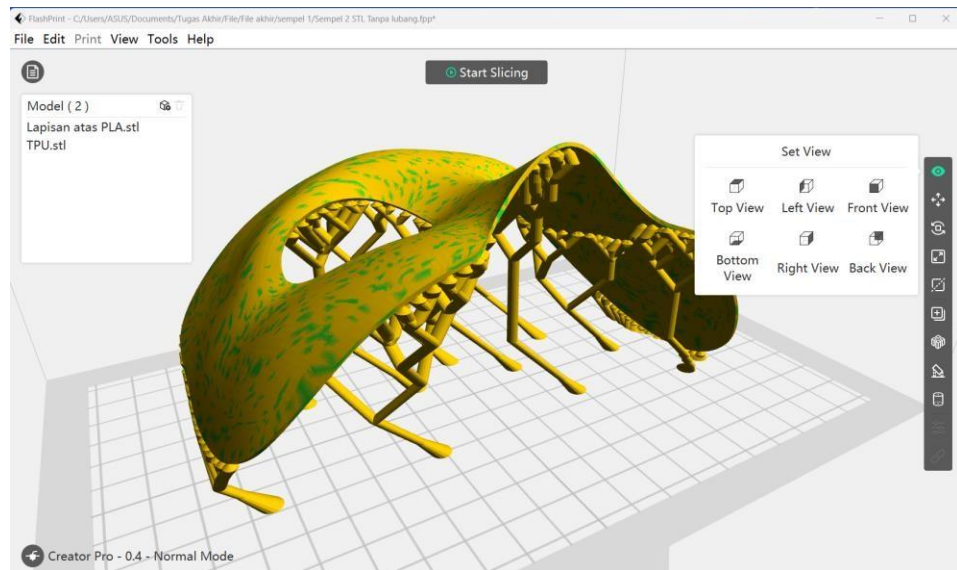


Gambar 4.17 Analisis kekuatan bahan PLA dengan beban 73.5 Newton

Dari simulasi pada gambar 4.17 didapatkan bahwasanya desain pelindung wajah pemain sepakbola berbahan PLA saja hanya mampu menahan beban 7,35 kg. Sementara pada saat bermain sepakbola sering terjadi benturan yang tidak terduga yang mana bisa melebihi 7,35 kg. Diperlukan penambahan bahan yang elastis agar beban bisa teredam dan terdistribusi merata, salah satu bahan yang elastis adalah TPU.

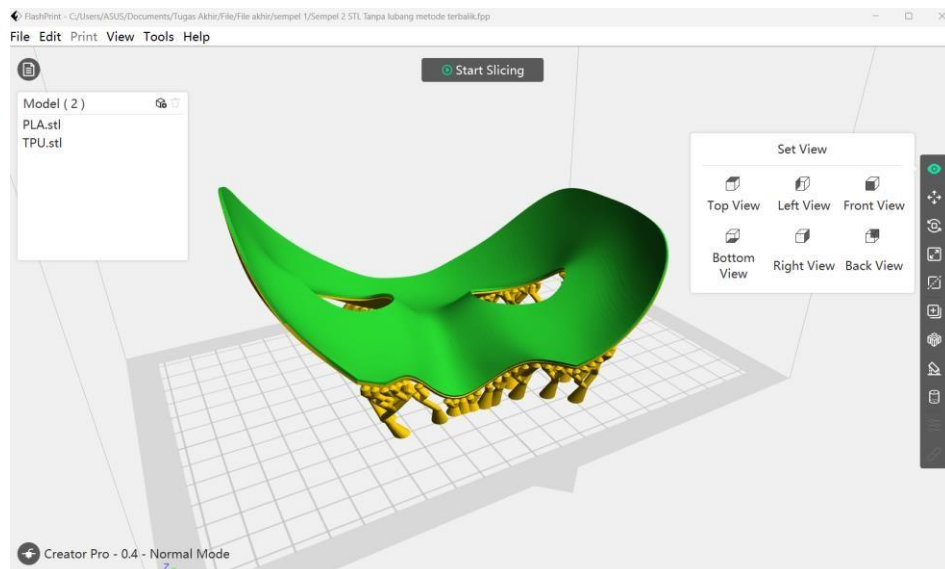
4.5. Perancangan dan proses setting parameter 3D printing

Perancangan proses 3D ini bertujuan untuk memproduksi hasil pemodelan 3D dari hasil ini peneliti menggunakan metode 3D printing karena hasil yang dibutuhkan hanya 1. Dalam pemrosesan 3D printing ini peneliti menggunakan software Flashprint 5 sebagai Setting parameter pemrosesan 3D printing. Pada saat pengaturan parameter di Flasprint harus memperhatikan beberapa aspek seperti peletakan posisi objek pada saat pencetakan, pengaturan kecepatan ekstruder, density, suhu bed atau suhu ekstruder. Menurut O'Neill (2023) suhu ekstruder material PLA memiliki rentang suhu terbaik pada 190-210 °C, rentang terbaik TPU sebesar 210-230 °C untuk bed pada 60 °C sementara untuk



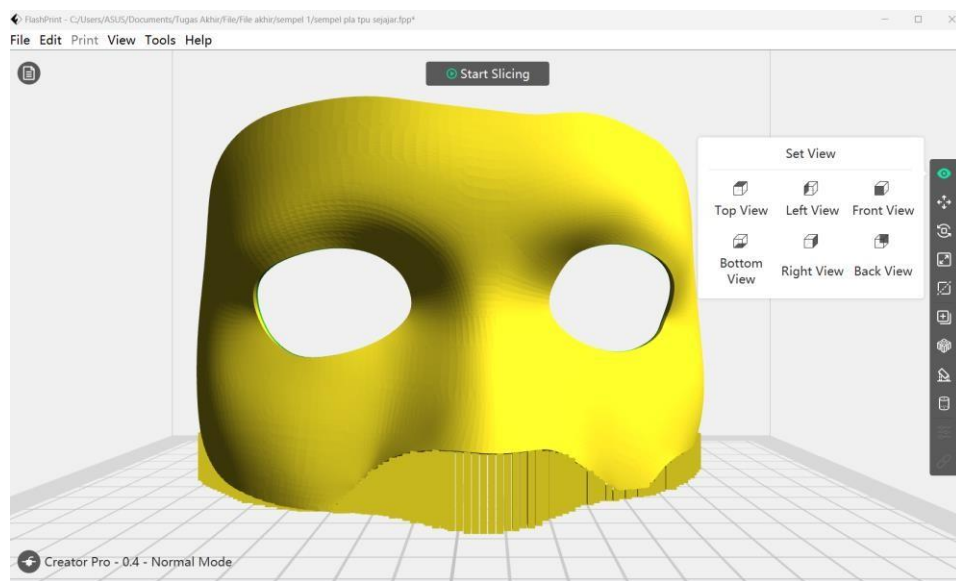
Gambar 4.19 Penempatan posisi percobaan 2

Pada percobaan kedua peneliti menempatkan 2 bahan dengan posisi bagian luar topeng menghadap ke atas dengan jarak posisi objek bahan sebesar 0 mm atau tergabung, seperti yang terlihat pada gambar 4.19. Koordinat posisi bahan: PLA $x= 0.87\text{mm}$, $y= -0.66 \text{ mm}$ $z= 0.00 \text{ mm}$. TPU $x= 0.00 \text{ mm}$, $y= 0.00\text{mm}$, $z= 0.00\text{mm}$.Warna hijau adalah TPU warna kuning adalah bahan PLA.



Gambar 4.20 Penempatan posisi percobaan 3

Pada percobaan ke 3 peneliti menempatkan 2 bahan dengan posisi menimbun satu sama lain dengan terbaring dengan jarak masing masing bahan sebesar 1 mm , seperti yang terlihat pada gambar 4.20. Koordinat posisi bahan: PLA $x=0.00\text{mm}$, $y=-0.63\text{mm}$, $z=0.00\text{mm}$. TPU $x=0.00\text{mm}$, $y=0.03\text{mm}$, $z=6.00\text{mm}$. Warna hijau adalah bahan TPU dan warna kuning adalah bahan PLA.

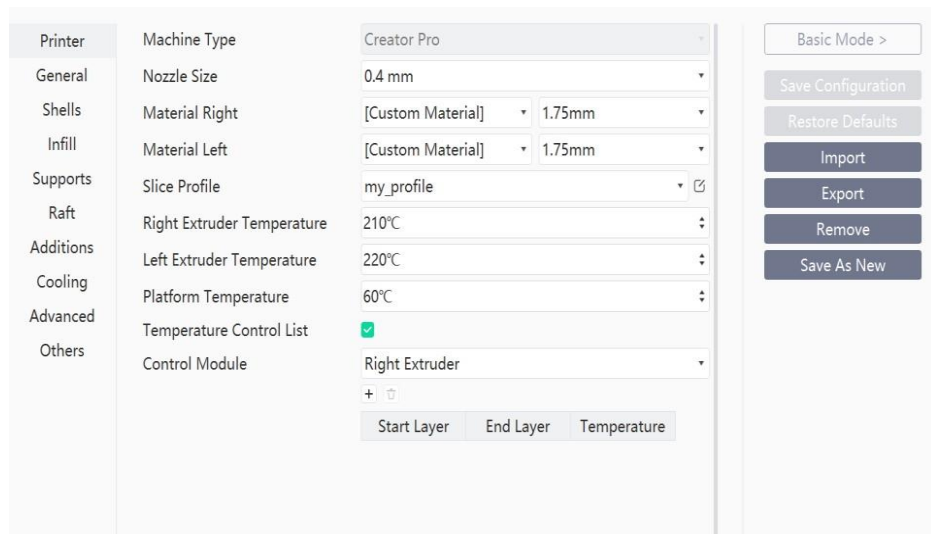


Gambar 4.21 Penempatan posisi percobaan 4

Pada percobaan ke 4 peneliti menempatkan 2 bahan dengan posisi sejajar menempel dengan *bed* dengan jarak posisi masing masing bahan sebesar 1 mm, seperti yang terlihat pada gambar 4.21. Koordinat posisi bahan: PLA $x= -1.60\text{mm}$, $y= 2.24\text{mm}$, $z= 0.00\text{mm}$, TPU $x= -1.60\text{mm}$, $y= 3.44\text{mm}$, $z= 0.00\text{mm}$. Warna hijau adalah bahan TPU bahan warna kuning adalah bahan PLA.

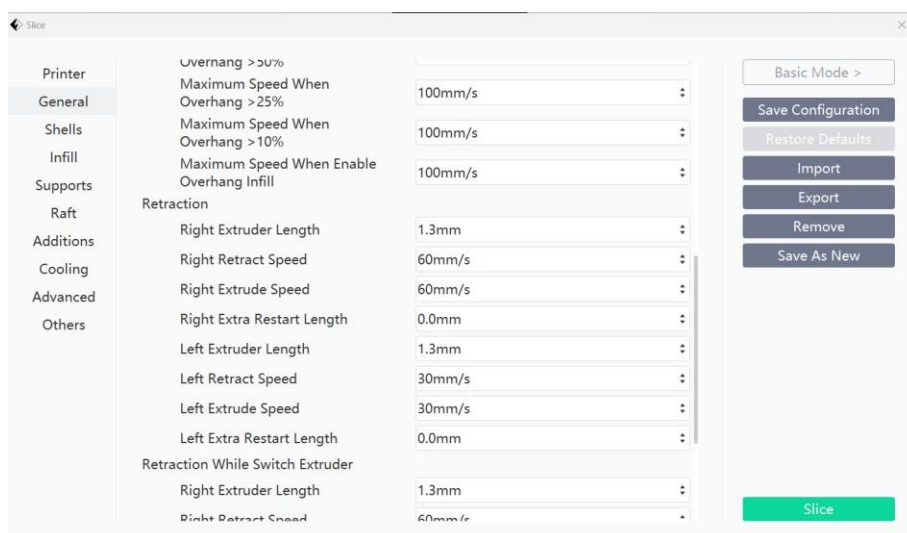
4.5.2. Setting Parameter 3D printing

Setting parameter berguna untuk mengatur tingkat pemrosesan pada saat produksi 3D print, parameter pengaturan meliputi : kecepatan percetakan, suhu ekstruder, suhu *bed*, resolusi *layer*, *infill density*, *support structure*.



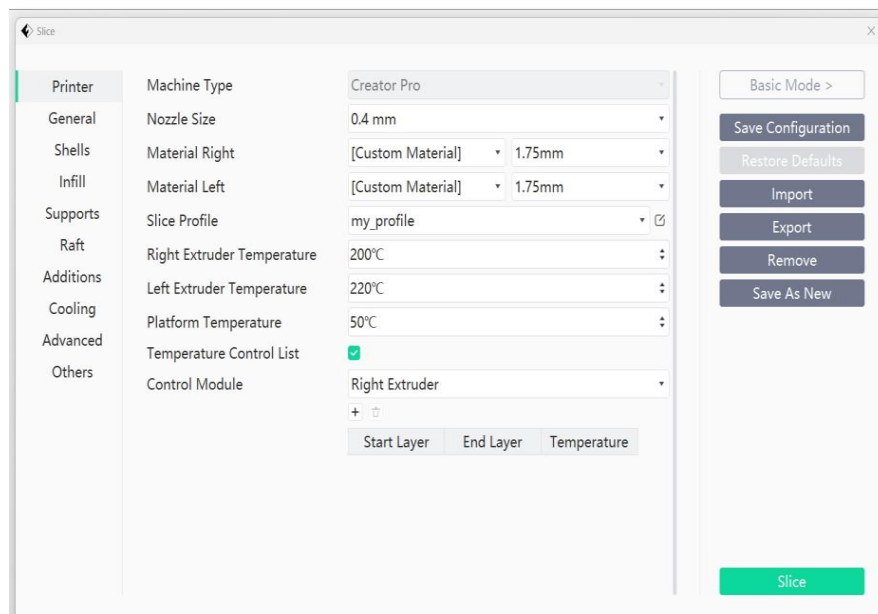
Gambar 4.22 *Setting* parameter suhu ekstruder dan *bed* percobaan ke 1

Peneliti mengatur suhu nozzle PLA sebesar 210 °C dan TPU sebesar 220 °C dan mengatur suhu bed sebesar 60°C seperti yang terlihat pada gambar 4.22. Menurut Hay (2023) suhu terbaik nozzle dalam mencetak PLA dari suhu 180°C-210°C dan suhu mencetak TPU sebesar 210°C-230°C sementara suhu terbaik bed dalam mencetak PLA sebesar 20°C-60°C dan untuk TPU sebesar 30°C-60°C.



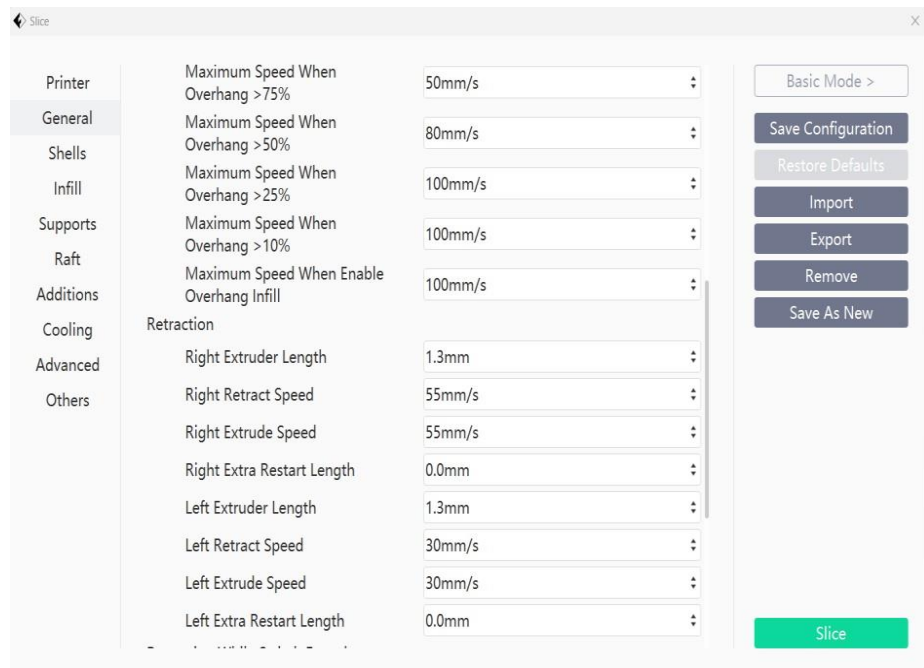
Gambar 4.23 *Setting* parameter kecepatan *retraction* percobaan 1

Kecepatan retraction sangat penting dalam percetakan karena dalam basisnya parameter kecepatan retraction mengontrol seberapa cepat filament ditarik kembali oleh ekstruder. Rektrasi umumnya untuk mengurangi munculnya stringing yang terbentuk saat filament masih menetes ketika berpindah tempat, semakin cepat rektrasi maka stringing semakin sedikit tetapi jika rektrasi terlalu cepat (Over retraction) maka akan mempengaruhi kualitas percetakan. Menurut Taylor David (2023) kecepatan yang direkomendasikan retraction PLA sebesar 40-60 mm/s dan TPU sebesar 20-30 mm/s. Dalam percobaan ini peneliti mengatur kecepatan retraction PLA sebesar 60 mm/s dan TPU 30 mm/s. seperti yang terlihat pada gambar 4.23.



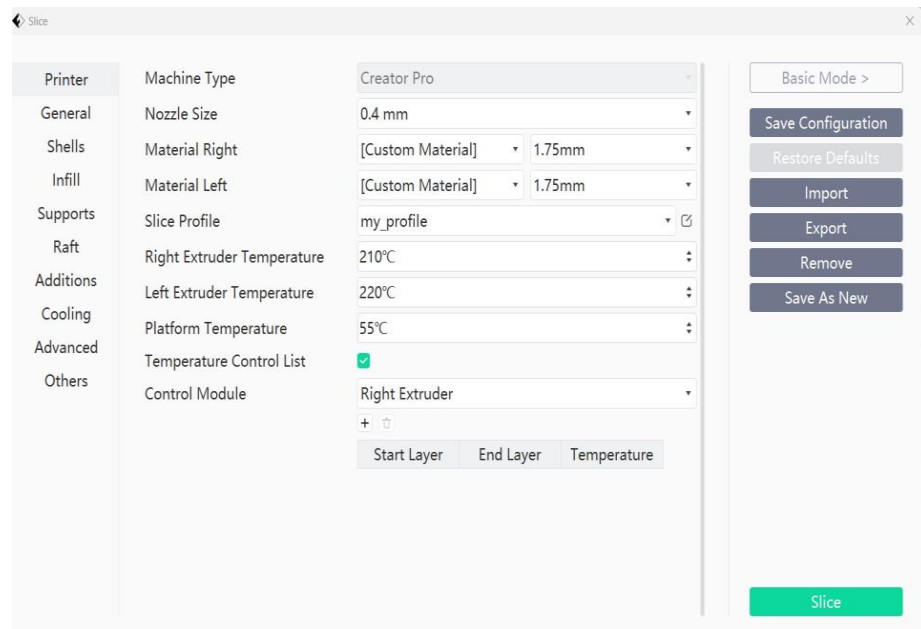
Gambar 4.24 *Setting* parameter suhu ekstruder dan *bed* percobaan 2

Pada percobaan kedua peneliti mencoba mengganti suhu nozel sebelah kanan (PLA) dengan percobaan suhu 200 °C dan mengganti suhu bed menjadi 50 °C seperti yang terlihat pada gambar 4.24.



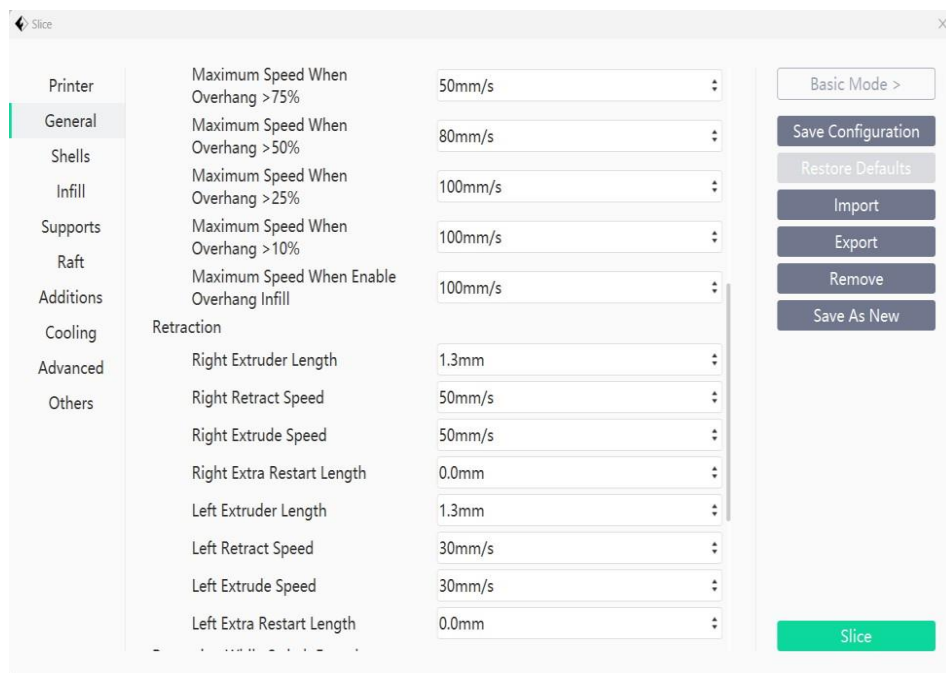
Gambar 4.25 *Setting* parameter kecepatan *retraction* percobaan 2

Peneliti mencoba merubah kecepatan *retraction* kanan (PLA) sebesar 55 mm/s sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.25.



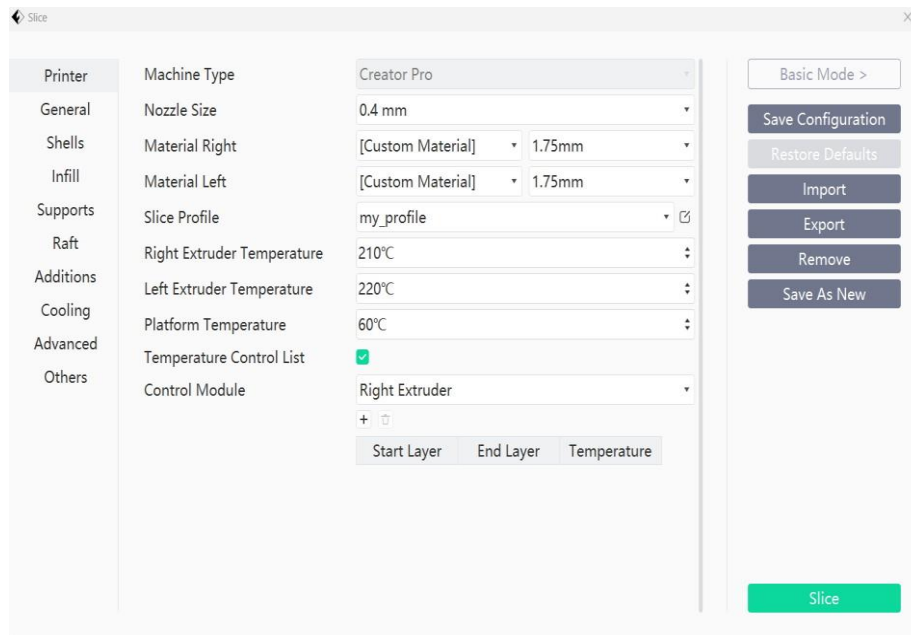
Gambar 4.26 *Setting* parameter suhu ekstruder dan bed percobaan 3

Pada percobaan ketiga peneliti mencoba mengganti suhu nozzle sebelah kanan (PLA) dengan percobaan suhu 210 °C dan mengganti suhu bed menjadi 55 °C sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.26.



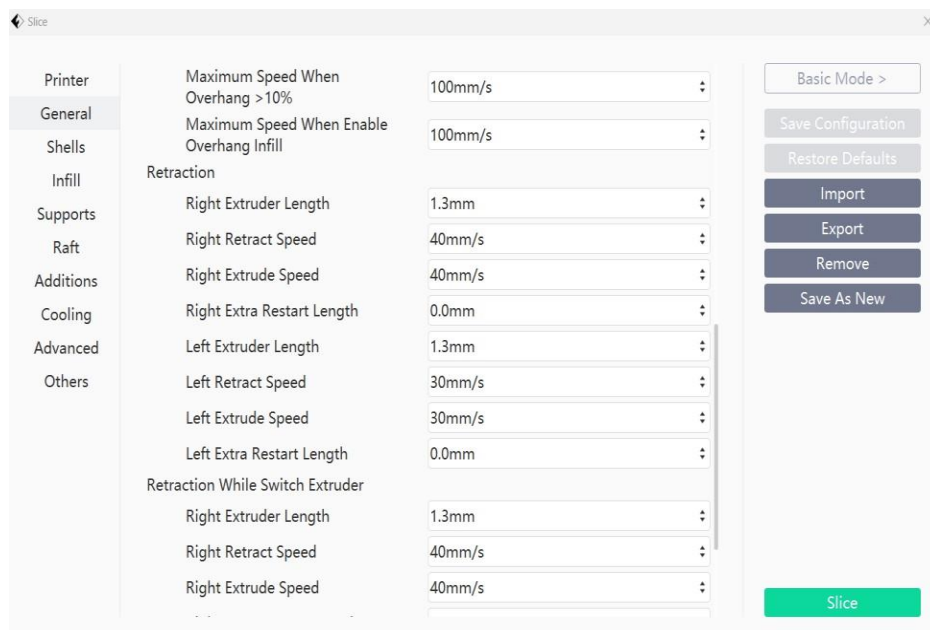
Gambar 4.27 Setting parameter kecepatan retraction percobaan 3

Peneliti mencoba merubah kecepatan retraction kanan (PLA) sebesar 50 mm/s sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.27.



Gambar 4.28 *Setting* parameter suhu extruder dan *bed* percobaan 4

Pada percobaan keempat peneliti mencoba hanya mengganti suhu bed menjadi 60 °C sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.28.

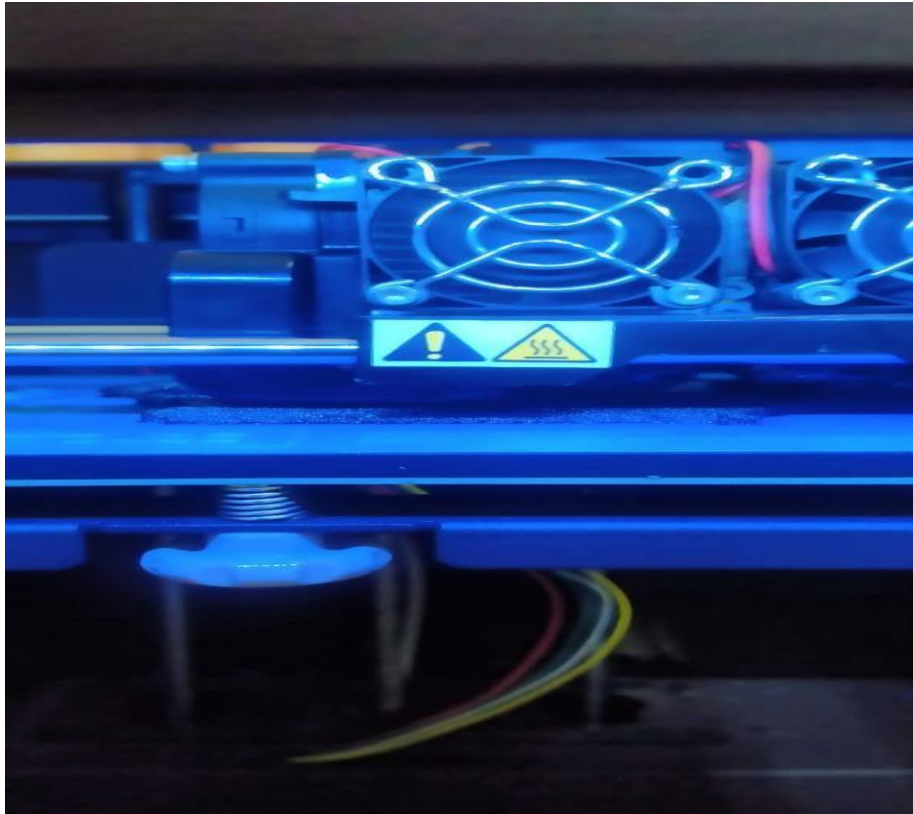


Gambar 4.29 *Setting* parameter kecepatan *retraction* percobaan 4

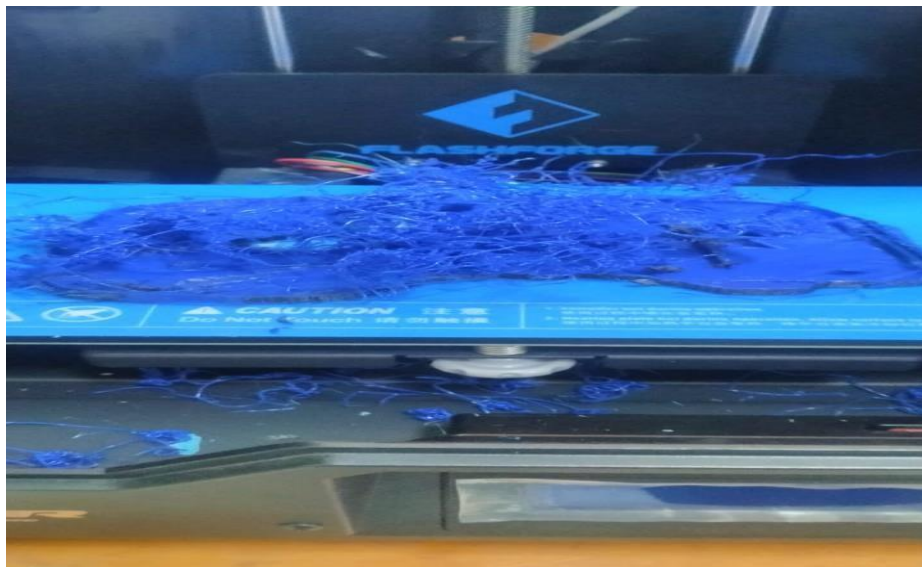
Peneliti mencoba merubah kecepatan *retraction* kanan (PLA) sebesar 40 mm/s sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.29, alasan peneliti mencoba menurunkan kecepatan *retraction* dikarenakan TPU memiliki sifat elastis yang mana proses pengerasan memakan waktu yang lebih lama daripada PLA yang memiliki sifat material yang keras. Hal ini yang membuat peneliti mencoba menurunkan kecepatan *retraction* PLA agar pada saat proses percetakan tidak terhambat disebabkan proses pengerasan material PLA dan TPU yang berbeda.

4.6. Proses 3D Printing

3D printing adalah salah satu proses untuk memproduksi sebuah purwarupa atau barang dalam prosesnya 3D printing memanfaatkan filament sebagai bahan untuk mencetak sebuah desain, cara kerja proses 3D printing ini adalah mencetak layer perlayer sampai bentuk jadi. Sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.30 menampilkan proses 3D printing melakukan percetakan lapisan demi lapisan. Dalam penelitian ini jenis alat 3D printer menggunakan tipe Creator Pro.



Gambar 4.30 Proses 3D printing



Gambar 4.31 Hasil percobaan 1

Sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.31 merupakan hasil pada saat percobaan pertama dalam kasus ini mengalami *trouble* jenis erornya Print not sticking to the *bed*.



Gambar 4.32 Hasil percobaan 2

Sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.32 merupakan hasil pada percobaan ke dua dalam percobaan ini mengalami masalah jenis Printing in the air 3D printing atau *filament* baru tidak menempel di struktur yang sudah dicetak.



Gambar 4.33 Hasil Percobaan ke 3

Sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.33 merupakan hasil dari percobaan ke 3 tetapi dalam percobaan ini mengalami masalah yang sama dengan percobaan ke 1 yakni *Print not sticking to the bed*.



Gambar 4.34 Hasil percobaan ke 4

Sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.34 merupakan hasil dari percobaan ke 4 didapatkan topeng pelindung wajah yang cukup bagus, tetapi masih ada beberapa kekurangannya antara lain bagian dalam pelindung masih kasar perlu pemolesan agar halus atau pengulangan kembali 3D printing.

4.7. Finishing

Setelah proses 3Dprinting proses selanjutnya adalah *finishing*, proses ini bertujuan untuk membuat permukaan dalam topeng pelindung wajah menjadi lebih halus, dalam pemrosesan ini bahan yang digunakan amplas 500 grit, menggunakan amplas 500 dikarenakan 500 grit adalah nilai amplas yang cukup halus dan tidak kasar sehingga meminimalisir permukaan TPU rusak akibat proses *finishing*. Pada gambar 4.35 merupakan hasil 3Dprinting sebelum proses *finishing*, gambar 4.37 dan 4.38 merupakan hasil sesudah proses finishing dan gambar 4.36 menampilkan foto bagian atas topeng.



Gambar 4.35 Hasil 3D printing bagian dalam sebelum *finishing*



Gambar 4.36 Foto bagian atas topeng



Gambar 4.37 Hasil *finishing* bagian depan.



Gambar 4.38 Hasil *finishing* bagian belakang

4.8. Pengujian Tingkat kenyamanan saat dipakai

Pengujian tingkat kenyamanan sangat penting karena dalam tahap ini apakah produk atau purwarupa sesuai yang diinginkan. Cara pengujian ini dengan memakaikan secara langsung sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.39, 4.40, 4.41, 4.42, 4.43. dan gambar 4.44, dengan parameter pengujian: bisa melihat objek bola didepan dengan radius 0° dan jarak 130 cm, bisa melihat objek bola didepan dengan radius 45° kanan dan jarak 130 cm, melihat objek bola didepan dengan radius 45° kiri dan jarak 130 cm, bisa melihat objek bola dari atas dengan ketinggian 90 cm dari jarak pandang, pandangan bisa melihat kebawah, permukaan bagian dalam elastis, topeng spesifik dengan wajah. Berikut adalah gambar percobaan pemakaian pandangan depan, pandangan sebelah kanan, kiri, gambar pengujian kenyamanan dengan variasi parameternya.



Gambar 4.39 Percobaan pemakaian dengan pandangan depan



Gambar 4.40 Percobaan pemakaian dengan pandangan sebelah kanan



Gambar 4.41 Percobaan pemakaian dengan pandangan sebelah kiri



Gambar 4.42 Pengujian pandangan melihat objek bola didepan dengan radius 0° dan jarak 130 cm



Gambar 4.43 Pengujian pandangan melihat objek bola didepan dengan radius 45° kanan dan jarak 130 cm



Gambar 4.44 Pengujian pandangan melihat objek bola didepan dengan radius 45° kiri dan jarak 130 cm



Gambar 4.45 Pengujian pandangan melihat objek bola dari atas dengan ketinggian 90 cm dari jarak pandang

Setelah mencoba dan merasakan topeng pelindung wajah dengan parameter: bisa melihat objek bola didepan dengan radius 0° dan jarak 130 cm, bisa melihat objek bola didepan dengan radius 45° kanan dan jarak 130 cm, melihat objek bola didepan dengan radius 45° kiri dan jarak 130 cm, bisa melihat objek bola dari atas dengan ketinggian 90 cm dari jarak pandang, pandangan bisa melihat kebawah, permukaan bagian dalam elastis, topeng spesifik dengan wajah. Berikut adalah tabel 4.1 menampilkan hasil percobaan pengujian tingkat kenyamanan, untuk yang memberi tanggapan adalah peneliti sendiri sebagai pengguna purwarupa topeng pelindung wajah.

Tabel 4.1 Hasil percobaan pengujian

No	Pengujian	Tanggapan ya	Tanggapan tidak
1	Pandangan melihat objek bola didepan dengan radius 0° dan jarak 130 cm	ya	-
2	Pengujian pandangan melihat objek bola didepan dengan radius 45 ° kanan dan jarak 130 cm	ya	-
3	Pengujian pandangan melihat objek bola didepan dengan radius 45 ° kiri dan jarak 130 cm	ya	-
4	Pengujian pandangan melihat objek bola dari atas dengan ketinggian 90 cm dari jarak pandang	ya	-
5	Pandangan bisa melihat kebawah		tidak
6	Permukaan bagian dalam elastis	ya	

7	Topeng spesifik dengan wajah	ya	
---	------------------------------	----	--

4.9. Pengujian impact

Pengujian Impact sangat penting dalam penelitian ini karena pada saat bermain sepakbola seringkali terjadi benturan yang tidak terduga, hal ini membuat perlu mencari harga ketangguhan bahan purwarupa pelindung wajah untuk mengetahui seberapa besar purwarupa pelindung wajah dalam menyerap pembebanan tiba-tiba.

Tahap pertama membuat spesimen dalam pembuatan spesimen pengujian impact menggunakan standar ASTM E23, yang mana panjang (P) sebesar 55 mm lebar (L) sebesar 10 mm dan ketebalan (T) sebesar 2 mm. Langkah selanjutnya mencari luas penampang dengan rumus $A_0 = L \times (T - kedalaman\ takikan)$ maka $A_0 = 10 \times (2 - 0.2) = 18\text{ mm}$. Setelah mendapatkan luas penampang langkah berikutnya adalah menguji spesimen menggunakan alat uji impact charpy untuk mendapatkan nilai sudut $\cos\beta$ yang nantinya sudut $\cos\beta$ tersebut untuk menghitung nilai energi yang diserap bahan saat purwarupa pelindung wajah patah. Berikut adalah gambar pengujian impact charpy peletakan purwarupa, sudut $\cos\beta$ hasil pengujian, dan purwarupa setelah diuji.



Gambar 4.46 Peletakan spesimen puwarupa pelindung wajah

Peletakan posisi pada saat pengujian impak charpy menghadap ke depan seperti yang terlihat pada gambar 4.46 peletakan pada posisi didepan karena benturan terjadi pada bahan PLA dan peletakan posisi ditengah agar pembebanan lebih merata daripada posisi peletakan purwarupa menyamping.

Setelah meletakkan bahan, peneliti melanjutkan dengan pengujian impak Charpy menggunakan standar ASTM E23 pada tiga spesimen (spesimen 1, 2, dan 3) sebagaimana terlihat pada Gambar 4.47, 4.48, dan 4.49. Hasil pengujian mencatat nilai $\cos\beta$ untuk masing-masing spesimen.



Gambar 4.47 Nilai $\cos\beta$ spesimen 1

Pada percobaan pengujian impak ke 1 nilai sudut $\cos\beta$ spesimen 1 sebesar 89° .



Gambar 4.48 Nilai $\cos\beta$ spesimen 2

Pada percobaan pengujian impact ke 2 nilai sudut $\cos\beta$ spesimen 2 sebesar 119° .



Gambar 4.49 Nilai $\cos\beta$ spesimen 3

Pada percobaan pengujian impact ke 3 nilai sudut $\cos\beta$ spesimen 3 sebesar 98° .

Setelah mendapatkan nilai sudut $\cos\beta$ langkah selanjutnya mencari nilai energi yang diserap saat bahan patah dengan rumus:

$$W = G \times L(\cos\beta - \cos\lambda), \text{ setelah itu masukan nilai nilainya.}$$

Perhitungan W spesimen 1

$$W1 = 12.5 \times 70 (\cos 89^\circ - \cos 140^\circ) = 685,5 \text{ joule.}$$

Perhitungan W spesimen 2

$$W2 = 12.5 \times 70 (\cos 119^\circ - \cos 140^\circ) = 246,08 \text{ joule}$$

Perhitungan W spesimen 3

$$W3 = 12,5 \times 70 (\cos 98^\circ - \cos 140^\circ) = 548,5 \text{ joule}$$

Setelah mendapatkan nilai W1, W2, dan W3 langkah selanjutnya mencari nilai harga ketangguhan dengan rumus:

$$K = W/A_0,$$

Harga ketangguhan spesimen 1

$$K1 = 685,5 / 18 \text{ mm}^2 = 38 \text{ J/mm}^2.$$

Harga ketangguhan spesimen 2

$$K2 = 246,08 / 18 \text{ mm}^2 = 13 \text{ J/mm}^2.$$

Harga ketangguhan spesimen 3

$$K3 = 548,5 / 18 \text{ mm}^2 = 30 \text{ J/mm}^2.$$

Setelah mendapatkan K1, K2, dan K3 maka langkah selanjutnya mencari rerata harga ketangguhan spesimen maka didapatkan harga ketangguhan rerata sebesar 27 J/mm^2 .

Jadi nilai ketangguhan bahan purwarupa topeng pelindung wajah menggunakan bahan PLA dan TPU sebesar 27 J/mm^2 .

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Penelitian menggunakan metode *Reverse engineering* terbukti berhasil dalam membuat purwarupa topeng pelindung wajah yang nyaman dan kuat, dengan langkah mulai dari tahap *scanning* dengan tujuan untuk mendapatkan data geometris yang akurat mengenai bentuk objek mencakup permukaan dan dimensi objek. Proses selanjutnya *redrawing*, proses ini bertujuan untuk memperbaiki, mendesain ulang model sampel objek yang sudah di scan dengan bantuan *software* meshmixer dan Autodesk Fusion 360. Proses yang ke tiga menganalisis kelengkungan dan kekuatan desain menggunakan bantuan *software* Autodesk Fusion 360 dan Solidworks 2021. Dan proses yang terakhir adalah proses manufakturing dengan tujuan untuk memproduksi purwarupa topeng pelindung wajah, dalam penelitian ini menggunakan 3Dprinting sebagai metode untuk memmanufakturing.
2. Pelindung wajah spesifik dengan pengguna

5.2. Saran dan saran penelitian selanjutnya

1. Saran untuk mengatasi masalah bahan sisa yang bocor pada saat pemrosesan 3D printing, perlu konsistennya pemantauan proses percetakan 3D print, jika terjadi material bocor langsung di usap secara terus-menerus.
2. Kolaborasi penelitian lintas jurusan perlu dilakukan dengan jurusan kedokteran atau olahraga, agar alat pelindung wajah menggunakan proses 3D printing ini bisa lebih optimum dan bisa diterima dipasar.
3. Dikarenakan output dari penelitian ini adalah purwarupa masih ada yang perlu ditingkatkan seperti peletakan lokasi lubang tali dan model tali yang cocok untuk penelitian ini.
4. Penelitian kedepannya alat pelindung wajah bisa ditambahkan motif budaya agar lebih menarik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bobian, M. R., Hanba, C. J., Svider, P. F., Hojjat, H., Folbe, A. J., Eloy, J. A., & Shkoukani, M. A. (2016). Soccer-related facial trauma: a nationwide perspective. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 125(12), 992-996, doi: 10.1177/0003489416668195.
- Singhvi, M., & Gokhale, D. (2013). Biomass to biodegradable polymer (PLA). *Rsc Advances*, 3(33), 13558-13568, doi: 10.1039/C3RA41592A.
- Ostrowsky, O. (2019). *Engineering Drawing with CAD applications*. Routledge.
- Qi, H. J., & Boyce, M. C. (2005). Stress-strain behavior of *Thermoplastic Polyurethanes*. *Mechanics of materials*, 37(8), 817-839, doi: 10.1016/j.mechmat.2004.08.001.
- Elverum, C. W., & Welo, T. (2015). On the use of directional and incremental prototyping in the development of high novelty products: Two case studies in the automotive industry. *Journal of engineering and technology management*, 38, 71-88, doi: 10.1016/j.jengtecman.2015.09.003.
- Gere, J. M., Timoshenko, S. P., Hardani, W., & Suryoatmono, B. (2000). *Mekanika bahan*. Erlangga.
- Thakar, C. M., Parkhe, S. S., Jain, A., Phasinam, K., Murugesan, G., & Ventayen, R. J. M. (2022). 3d Printing: Basic principles and applications. *Materials Today: Proceedings*, 51, 842-849, doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.272.
- Walker, R. A., Shah, S. C., & Gupta, N. K. (1984). Computer-aided engineering (CAE) for system analysis. *Proceedings of the IEEE*, 72(12), 1732-1745, doi: 10.1109/PROC.1984.13082.
- Didik, E., Mardjuki, M., & Jumiadi, J. (2015). Analisa Pengaruh Deformasi Plastik Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Baja St 42. *TRANSMISI*, 11(1), 19-26.
- Amornvit, P., & Sanohkan, S. (2019). The accuracy of digital face scans obtained from 3D scanners: an in vitro study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 5061, doi: 10.3390/ijerph16245061.

- Jafferson, J. M., & Pattanashetti, S. (2021). Use of 3D printing in production of personal protective equipment (PPE)-a review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1247-1260, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.072.
- Laad, M. S. (2020). Polymers in sports. In *Polymer Science and Innovative Applications* (pp. 485-523). Elsevier, doi: 10.1016/b978-0-12-816808-0.00015-9.
- Sabantina, L., Kinzel, F., Ehrmann, A., & Finsterbusch, K. (2015, June). Combining 3D printed forms with textile structures-mechanical and geometrical properties of multi-material systems. In *IOP conference series: Materials science and engineering* (Vol. 87, No. 1, p. 012005). IOP Publishing, doi: 10.1088/1757-899X/87/1/012005.
- Lopes, L. R., Silva, A. F., & Carneiro, O. S. (2018). Multi-material 3D printing: The relevance of materials affinity on the boundary interface performance. *Additive Manufacturing*, 23, 45-52, doi: 10.1016/j.addma.2018.06.027.
- Kolarsick, P. A., Kolarsick, M. A., & Goodwin, C. (2011). Anatomy and physiology of the skin. *Journal of the Dermatology Nurses' Association*, 3(4), 203-213, doi: 10.1097/JDN.0b013e3182274a98.
- Taib, N. A. A. B., Rahman, M. R., Huda, D., Kuok, K. K., Hamdan, S., Bakri, M. K. B., ... & Khan, A. (2023). A review on poly lactic acid (PLA) as a biodegradable polymer. *Polymer Bulletin*, 80(2), 1179-1213, doi: 10.1007/s00289-022-04160-y.
- Triyanti, V., & Tirtasari, O. (2007). Pengembangan teknologi rapid prototyping untuk pembuatan produk-produk multi material. *J@ ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 3(1), 1-9, doi: 10.12777/jati.3.1.1-9.
- Setiawan, A. (2011). Faktor timbulnya cedera olahraga. *Media Ilmu Keolahragaan Indonesia*, 1(1).
- MacIsaac, Z. M., Berhane, H., Cray Jr, J., Zuckerbraun, N. S., Losee, J. E., & Grunwaldt, L. J. (2013). Nonfatal sport-related craniofacial fractures: characteristics, mechanisms, and demographic data in the pediatric population. *Plastic and reconstructivesurgery*, 131(6), 1339-1347, doi: 10.1097/PRS.0b013e31828bd191

O'Neill Benedict. 2023. PLA Bed Temperature & Print Temperature Settings. Diakses pada 29 November 2023 dari <https://www.wevolver.com/article/pla-bed-temperature-print-temperature-settings>.

Hay Zachary. 2023. The Best 3D Printing Temperatures for PLA, Nylon & More. Diakses pada 1 Oktober 2023 dari <https://all3dp.com/2/the-best-printing-temperature-for-different>.

Taylor David. 2023. How to Configure Retraction Settings for Printing TPU?. Diakses pada 1 Oktober 2023 dari <https://www.3dprintgorilla.com/tpu-retraction-settings/>.

Taylor David. 2023. Configuring Retraction Settings for PLA – Detailed Guide. Diakses pada 1 Oktober 2023 dari <https://www.3dprintgorilla.com/pla-retraction-settings/>.

LAMPIRAN

GAMBAR KERJA

