

Metode Pembuatan Alat Pelindung Wajah untuk Aktivitas Olahraga Berbasiskan Teknologi *Multi-Materials 3D printing*

Rahmat Riza^{1*}, Hazan Zainul Muttaqin²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding Email: rahmatriza@uii.ac.id

ABSTRAK

Topeng pelindung wajah pada olahraga sepakbola merupakan salah satu alat bantu penting yang memungkinkan pemain yang mengalami cedera di area muka tetap bisa melakukan aktivitas sepak bola. Akan tetapi alat ini memiliki karakteristik yang unik yaitu bentuk wajah dan posisi luka yang spesifik. Penerapan metode *reverse engineering* yang dikombinasikan dengan teknologi *multi-material 3-dimensi (3D) printing* dievaluasi pada makalah ini untuk membuat topeng pelindung wajah yang nyaman dipakai oleh pengguna yang spesifik. Metode *reverse engineering* digunakan untuk mendapatkan data profil muka pengguna yang dibantu 3Dscanner. Data yang diperoleh ini digunakan untuk membuat model topeng wajah pada tahapan berikutnya, *re-drawing*, dari metode *reverse engineering*. Model topeng yang diperoleh ini dibuat dengan menggunakan teknologi 3Dprinting yang berbasiskan multi-material. Hasil percobaan dengan tiga variasi pengaturan proses pencetakan dengan *dual nozzle 3Dprinter* diperoleh hasil yang memenuhi kriteria pada variasi ketiga dengan dua variasi lainnya gagal menghasilkan objek yang utuh. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa topeng pelindung wajah bisa sesuai dengan kontur wajah pengguna yang spesifik. Penggunaan material multi PLA yang dikombinasikan dengan TPU membuat bagian dalam topeng ini lebih lunak saat bersentuhan dengan kulit pengguna.

Keywords: Topeng pelindung wajah, *reverse engineering*, 3Dscanning, *multi-material*, 3Dprinting.

ABSTRACT

The face protection mask in soccer is an important tool that allows players with facial injuries to continue their soccer activities. However, it has unique characteristics such as specific face geometry and wound location. The application of the reverse engineering method combined with multi-material 3Dprinting technology was evaluated in this paper to develop a face protection mask that was comfortable to wear by a specific user. The results obtained showed that the face protection mask could conform to the specific facial contour of the user. The use of multi-material PLA combined with TPU made the inside of the mask softer when in contact with the user's skin.

Keywords: *Multi-material*, protective face mask, *reverse engineering*, 3D printing, 3D scanning

1. Pendahuluan

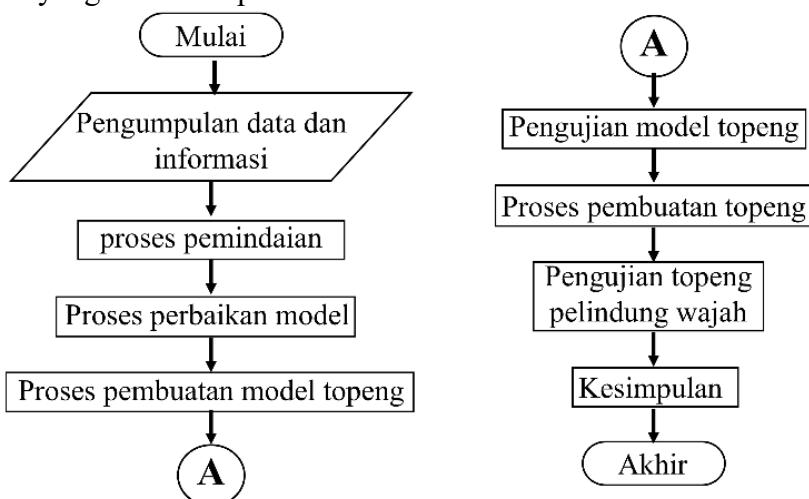
Pada beberapa aktivitas olahraga sangat rentan dengan cedera pada anggota tubuh seperti pada pesepakbola yang mengalami cedera pada area muka (Bobian Michael R. dkk, 2016). Kebutuhan olahraga ini membuat aktivitas ini tidak bisa ditinggalkan meskipun sedang mendapatkan cedera. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan alat pelindung wajah yang berupa topeng yang mampu menutupi atau melindungi bagian-bagian yang cedera. Sayangnya, muka memiliki bentuk yang kompleks dan area yang dilindungi juga spesifik. Jika produk ini dibuat dengan metode manufaktur konvensional maka akan ada dua permasalahan utama yang dihadapi, yaitu proses untuk

mendapatkan bentuk atau profil muka yang kompleks dan proses pembuatan yang memerlukan tahapan yang lebih banyak.

Metode *reverse engineering* yang berbasiskan 3Dscanning merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk mendapatkan gambar atau model 3D dari benda-benda yang memiliki bentuk geometri yang kompleks khususnya pada pembuatan komponen mesin (Barai, G. D dkk, 2015). Sedangkan teknologi 3Dprinting merupakan teknik pembuatan produk yang mampu membuat produk 3D solid langsung dari model 3D. Pada proses ini tidak diperlukan proses pembuatan cetakan terlebih dahulu sebelum dibuat produk akhir sebagaimana pada proses pembuatan produk secara konvensional (Pereira, T., 2019). Proses ini membutuhkan biaya dan waktu secara khusus yang tidak menguntungkan untuk proses pembuatan produk dalam jumlah sedikit terlebih lagi hanya untuk membuat satu produk saja. Lebih lanjut, teknologi 3Dprinting cukup pesat yang salah satunya adalah pembuatan satu produk dari dua jenis material yang berbeda yang dikenal dengan *multi-material 3Dprinting*. Pada penelitian ini, proses pembuatan dengan kombinasi teknik *reverse engineering* dan teknologi *multi-material 3Dprinting* coba dipelajari untuk pengembangan pembuatan topeng pelindung wajah. Dengan metode ini, diharapkan dapat memperoleh produk yang sesuai dengan kontur wajah pengguna dengan lebih baik dan lebih spesifik. Untuk mendapatkan kenyamanan lebih baik, maka pengembangan produk dengan metode *reverse engineering* ini dicoba dikombinasikan dengan menggunakan teknologi *multi-material 3Dprinting*. Dengan teknologi ini diharapkan diperoleh objek 3-Dimensi (3D) yang memiliki kombinasi material yang keras di sisi luar dan nyaman dipakai di bagian yang bersentuhan dengan muka pengguna. Untuk mendapatkan kombinasi sifat material tersebut, dua material, *polylactic acid* (PLA) dan *thermoplastic polyurethane* (TPU), akan coba dikombinasikan pada studi ini.

2. Metodologi

Topeng wajah yang digunakan untuk aktivitas olahraga harus dibuat dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran wajah yang menggunakannya. Hal ini dipelajari dengan memanfaatkan metode *reverse engineering* yang dikombinasikan dengan teknologi *multi-material 3D printing* pada penelitian ini seperti yang diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses penelitian

Metode *reverse engineering* merupakan teknik untuk mendapatkan tiruan dari benda yang ada (Tasiekh, dkk, 2024). Dengan metode ini, ukuran wajah yang memiliki bentuk yang kompleks diharapkan dapat dibuat tiruannya dengan lebih baik. Hal ini didukung dengan penggunaan alat pemindai 3D (3D scanner) untuk mendapatkan kontur wajah pengguna (Amornvit, P., dkk, 2019). Alat yang digunakan untuk memindai wajah pengguna merupakan 3Dscanner merk Sense. Alat ini memiliki kemampuan untuk memindai objek dari $0,2\text{ m} \times 0,2\text{ m} \times 0,2\text{ m}$ sampai dengan $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ dengan rentang operasi $0,45\text{ m}$ sampai $1,6\text{ m}$ dan bidang pandang horizontal 45° , vertikal $57,5^\circ$, diagonal $69^\circ 14'$. Kontur wajah yang diperoleh ini akan dibuat topeng wajah yang sesuai.

Objek yang diperoleh dari hasil 3D scanning masih berupa kumpulan titik yang membentuk objek 3D. Hasil ini belum merupakan objek solid 3D. Objek solid 3D ini diperoleh dengan melakukan proses *re-drawing* berdasarkan hasil yang diperoleh dari proses 3D scanning. Pada penelitian ini, proses *re-drawing* ini dibantu dengan fitur-fitur yang sudah dikembangkan pada beberapa aplikasi *Computer Aided Drawing* (CAD), yaitu Meshmixer dan Fusion 360.

Objek wajah yang telah berupa objek solid 3D digunakan sebagai basis untuk mendapatkan topeng pelindung wajah yang spesifik terhadap pengguna tertentu. Selain itu, bentuk geometri topeng wajah yang dibuat dapat disesuaikan dengan area yang akan dilindungi. Proses ini menggunakan fitur-fitur yang ada di aplikasi Fusion 360.

Topeng pelindung wajah yang digunakan pada aktivitas olahraga harus mampu melindungi bagian wajah yang cedera ataupun rentan terhadap benturan atau cedera. Selain itu, topeng tersebut harus tetap nyaman dipakai. Hal ini dipelajari pada penelitian ini dengan menganalisis pembuatan topeng wajah berdasarkan *multi-material 3D printing* (Jafferson, J. M. dkk, 2021). Pada proses ini, digunakan 3D printer Flashforge merek Creator Pro 2. Dua jenis material PLA dan TPU digunakan sebagai bahan dasar pembuatan topeng wajah yang lebih nyaman tetapi tetap memiliki kekuatan menahan benturan yang terjadi. PLA yang bersifat keras (Chacón, J. M. dkk, 2017) diharapkan mampu memberikan perlindungan terhadap benturan yang mungkin terjadi selama aktivitas olahraga dan material TPU yang memiliki sifat elastis (Qi, H. J., dkk., 2005, Harris, C. G. dkk, 2019) diletakkan pada bagian yang bersentuhan dengan wajah diharapkan memberikan kenyamanan saat bersentuhan dengan kulit dalam waktu yang cukup lama (Kolarsick, P. A. J. dkk, ,2011).

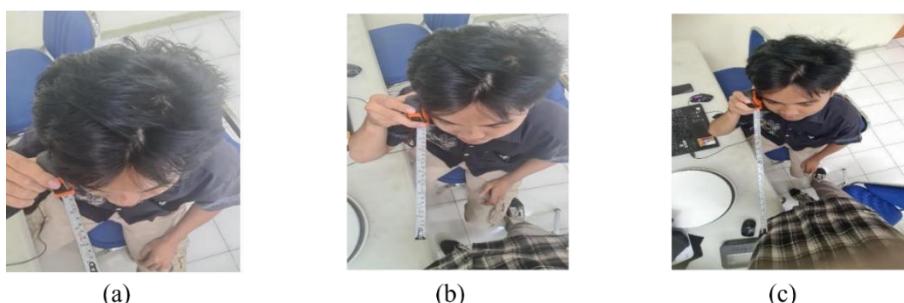
3. Hasil dan Diskusi

Metode pembuatan topeng wajah yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggabungkan metode reverse engineering dan metode *multi-material 3D printing*. Metode *reverse engineering* digunakan untuk mendapatkan bentuk geometri wajah pengguna. Hasil muka yang diperoleh pada metode *reverse engineering* ini menjadi basis untuk membuat topeng wajah yang spesifik sesuai dengan wajah pengguna. Pada metode *reverse engineering* ada dua langkah utama yang akan dilakukan, antara lain: *scanning* dan *re-drawing*. Metode *scanning* digunakan untuk mendapatkan gambar muka pengguna yang dijadikan basis pembuatan topeng wajah. Proses *re-drawing* digunakan untuk mendapatkan bentuk topeng wajah dengan menggunakan profil wajah pengguna yang didapatkan dari proses scanning sebelumnya.

Metode *multi-material 3D printing* digunakan untuk mencoba mendapatkan produk topeng wajah yang lebih nyaman digunakan oleh pengguna untuk melakukan aktivitas olahraga.

3.1. Proses Scanning

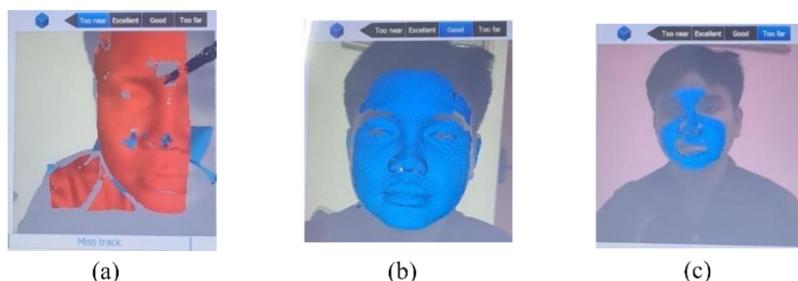
Konsep dasar pemindai adalah dengan menggunakan sinar yang dipantulkan. Sinar ini memiliki intensitas yang berbeda-beda saat mengenai suatu morfologi ataupun bahan tertentu. Untuk mendapatkan bentuk terbaik, maka jarak alat pemindai 3D ini harus ditempatkan pada jarak yang sesuai atau depth of field. Jarak ini masih dalam rentang yang direkomendasikan oleh pembuat alat ini. Pada penelitian ini, tiga alternatif jarak digunakan untuk mencoba mendapatkan hasil pemindaian terbaik, yaitu 5 cm, 10 cm, dan 20 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran alternatif jarak untuk pemindaian; (a) 5 cm, (b) 10cm, (c) 20cm.

Hasil percobaan untuk variasi jarak yang dipilih diberikan pada Gambar 3. Gambar 2(a) menunjukkan bahwa jarak 5 cm terlalu dekat untuk memindai bentuk atau profil muka sampel. Sedangkan jarak 20 cm terlalu jauh untuk mendapatkan produk terbaik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(c). Gambar 3(b) merupakan hasil yang diberikan untuk proses pemindai dengan jarak 10 cm. Pada Gambar ini terlihat hasil pemindaian sudah masuk pada posisi depth of field. Hal ini terlihat dari profil muka sampel dapat terdeteksi dengan baik termasuk bentuk-bentuk khusus muka seperti pada area mata dan hidung yang memiliki bentuk geometris yang kompleks.

Bentuk yang ditampilkan pada Gambar 3(b) dari hasil pemindaian dengan jarak 10 cm memberikan profil wajah sampel dengan lebih dari 80% area wajah mampu diperoleh. Hal ini menjadikan gambar ini bisa dipilih menjadi basis gambar yang digunakan untuk mendapatkan topeng pelindung wajah. Bagaimanapun, bentuk gambar yang dihasilkan ini masih jauh dari sempurna. Pada Gambar 3(b) ini terlihat masih ada bagian-bagian penting dari profil wajah yang tidak teridentifikasi.

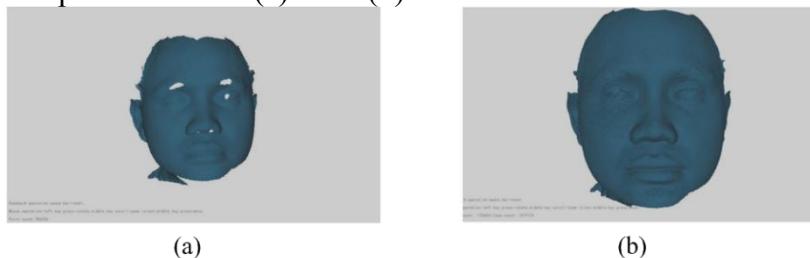


Gambar 3. Hasil pemindaian pada jarak yang berbeda; (a) 5 cm, (b) 10 cm, (c) 20 cm.

3.2. Proses Perbaikan Model Wajah

Area yang terlewatkan pada proses pemindaian yang dilakukan sebelumnya perlu dilakukan perbaikan dengan menggunakan fitur-fitur yang tersedia pada beberapa aplikasi *Computer Aided Drawing* (CAD). Pada penelitian ini, Handy studio digunakan untuk memperbaiki kekurangan hasil pemindaian tersebut. Fitur “*fill hole*” merupakan salah satu fitur *Handy studio* yang tersedia untuk mengisi area yang terlewat pada proses pemindaian.

Perbandingan hasil pemindaian yang belum diperbaiki dan yang telah diperbaiki secara berurutan ditunjukkan pada Gambar 4(a) dan 4(b).



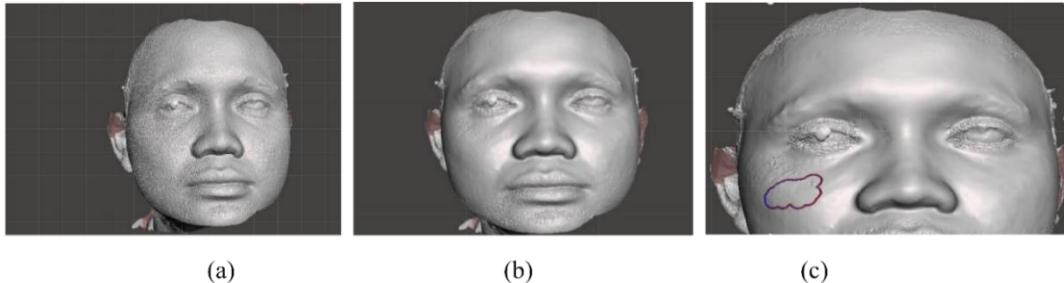
Gambar 4. Perbaikan gambar hasil pemindaian dengan Handy Studio; (a) sebelum, (b) sesudah

Pada Gambar 4(b) area yang tidak terpindai terlihat sudah tertutupi dengan cukup baik. Hasil yang diberikan pada Gambar 4(b) ini menunjukkan fitur ini cukup baik untuk membaca bentuk area di sekitar bagian yang tidak tertutupi dan membuat kurva geometri yang menyesuaikan bentuk geometri sekitarnya untuk menutupi area yang tidak terpindai pada proses sebelumnya.

Proses perbaikan model wajah 3D ini dilanjutkan dengan menghaluskan permukaan wajah khususnya area yang akan digunakan untuk membuat topeng wajah. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan model yang baik sebagai dasar untuk membuat topeng wajah. Proses ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi “*Meshmixer*”.

Merujuk data pada jurnal terkait dengan olah raga sepak-bola, area wajah yang rawan terjadi benturan dan terkena cedera adalah tulang hidung, tulang pelipis, pipi dan dahi (Bobian, M. R., dkk, 2016). Area ini dipilih dari model 3D yang ada dengan menggunakan fitur “*Unwarp brush*” yang disediakan oleh aplikasi Meshmixer.

Proses penghalusan permukaan pada area ini dilakukan dengan menggunakan fitur "Smooth". Proses penghalusan perlu diulang 2-3 kali untuk mendapatkan hasil terbaik. Perbandingan model wajah yang belum dihaluskan dan sudah dihaluskan ditunjukkan pada Gambar 5(a) dan 5(b). Sedangkan Gambar 5(c) memperlihatkan area spesifik pada wajah model 3D yang menjadi fokus proses perbaikan

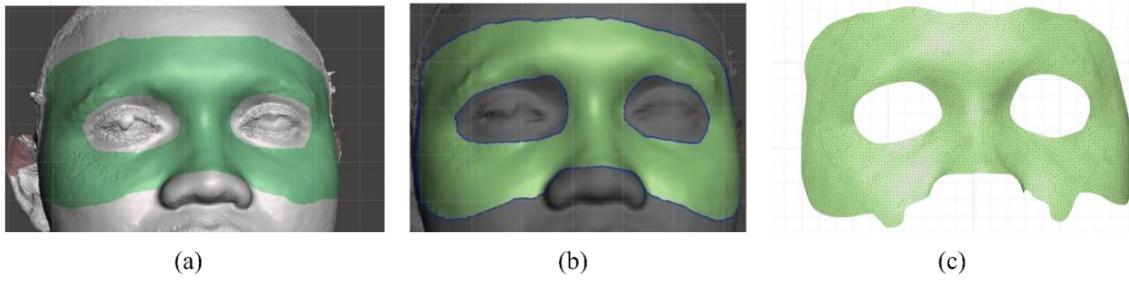


Gambar 5. Penghalusan objek 3D dengan menggunakan aplikasi *Meshmixer*; (a) sebelum, (b) sesudah (c) area yang diperbaiki

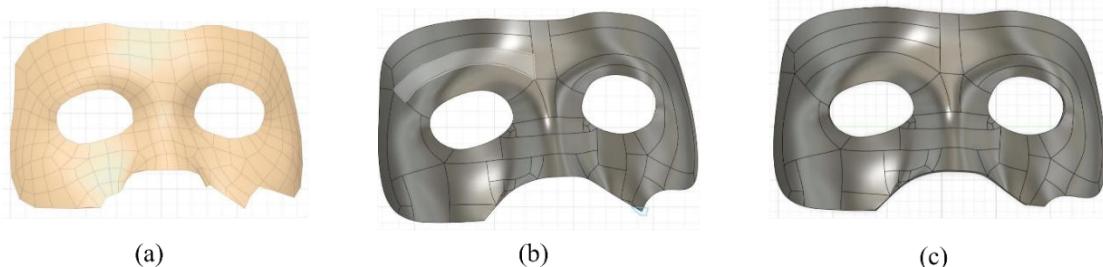
Hasil yang didapat pada proses penghalusan seperti yang ditunjukkan Gambar 5(a) dan 5(b) menunjukkan permukaan wajah pada model terlihat jauh lebih baik. Fitur ini mampu menghaluskan permukaan wajah pada model tanpa mengubah bentuk geometri permukaan wajah. Hal ini membuat model wajah tetap mempunyai profil yang diinginkan tetapi dengan kondisi yang lebih baik.

3.3. Pembuatan Model 3D Topeng Wajah

Model 3D dari wajah pengguna yang telah diperbaiki digunakan sebagai basis pembuatan model 3D topeng wajah. Proses ini dimulai dengan memilih area yang akan ditutupi oleh topeng wajah dan dilanjutkan dengan pemisahan area tersebut dari area lainnya. Proses ini dilakukan masih dengan menggunakan aplikasi yang sama dengan proses sebelumnya, yaitu *Meshmixer*. Proses pengambilan bentuk yang diingin dilakukan dengan menggunakan fitur *Unwarp bush* untuk mengarsir area yang akan dipilih. Setelah itu, area ini dipilih dengan menggunakan fitur *Smooth boundrys*. Hasil dari proses ini ditunjukkan pada Gambar 6(a) dan 6(b). Area yang telah dipilih perlu dipisahkan dari objek wajah. Hal ini dilakukan dengan menggunakan fitur *Separate*. Hasil dari pemisahan ini ditunjukkan pada Gambar 6(c).



Gambar 6. Langkah-langkah pengambilan bentuk untuk model topeng wajah; (a) Identifikasi area wajah yang dilindungi, (b) Pembuatan bentuk model topeng wajah, (c) Bentuk awal 3D topeng wajah yang akan dibuat



Gambar 7. (a) Proses perbaikan model 3D topeng wajah hasil pengaturan *mesh* yang lebih teratur dengan menggunakan fitur *Quadmesh*, (b) Hasil konversi desain *mesh* menjadi desain *surface* dengan menggunakan fitur *Brep*, (c) Perbaikan pada bentuk akhir topeng wajah.

Bentuk yang didapat ini di pindahkan ke aplikasi Autodesk Fusion360 untuk dibuat menjadi model 3D topeng wajah dalam format file *.stl. Proses pertama pada pembuatan topeng wajah dari hasil pemindaian ini dilakukan dengan memperbaiki *mesh* hasil pemindaian menjadi lebih teratur, stabil dan efisien. Proses ini dilakukan dengan menggunakan fitur *QuadMesher* pada aplikasi Autodesk Fusion 360. Hasil perbaikan *mesh* dari objek hasil pemindaian ditampilkan pada Gambar 7(a).

Bentuk dan ukuran *mesh* pada Gambar 7(a) terlihat lebih teratur dan sederhana dibandingkan gambar hasil pemindaian yang *mesh* nya berbentuk triangle secara keseluruhan seperti yang ditampilkan pada Gambar 6(b). Bentuk *mesh* yang teratur dan sederhana ini bertujuan untuk memudahkan proses pengubahan objek 3D ini menjadi objek solid.

Proses pengubahan objek 3D hasil pemindaian menjadi objek solid ini dilakukan dengan menggunakan fitur *Brep* (*Boundary Representation*). Fitur ini berfungsi untuk mengubah format *mesh* menjadi *surface*. Selanjutnya, bentuk *surface* 3D ini diberi ketebalan 1 mm untuk mendapatkan objek solid 3D. Hasil proses konversi bentuk 3D hasil pemindaian menjadi objek dengan bentuk solid 3D ditunjukkan pada Gambar 7(b). Gambar 7(c) menunjukkan beberapa perbaikan yang dilakukan pada bentuk yang tidak diinginkan.

Objek solid 3D yang dihasilkan dari pengubahan *mesh* yang dikondisikan tersebut memungkinkan terbentuknya kurva yang tidak sempurna. Hal ini perlu dievaluasi dengan menggunakan analisis zebra. Hasil analisis zebra yang diperoleh pada objek solid 3D topeng wajah tunjukkan pada Gambar 8(a). Hasil analisis zebra ini menunjukkan keteraturan garis hitam yang diperoleh cukup dominan. Hal ini menunjukkan kurva yang terbentuk pada objek ini cukup baik. Ada beberapa area yang garis-garis hitamnya kurang teratur. Akan tetapi area yang memiliki garis hitam kurang teratur tidak terlalu banyak sehingga hal ini masih bisa diterima. Kekurang teraturan garis ini juga menunjukkan bahwa bentuk permukaan wajah yang dibentuk cukup kompleks sehingga kurva yang terbentuk juga tidak terlalu baik. Banyak perpotongan kurva yang terjadi untuk mendapatkan bentuk geometri wajah manusia yang sangat kompleks tersebut.



Gambar 8. Analisis model 3D topeng pelindung wajah, (a) Hasil analisis zebra; (b) Hasil analisis struktur terhadap resiko beban yang diterima.

Untuk memastikan keamanan konstruksi topeng wajah yang akan dibuat, maka kekuatan struktur model topeng wajah ini dievaluasi dengan menggunakan analisis *Computer Aided Engineering* (CAE). Pada proses ini, PLA diskenariokan berbenturan secara langsung dengan sumber. Perbandingan sifat mekanik PLA dan TPU yang cukup jauh sehingga PLA akan menahan beban yang lebih besar. Dengan dua pertimbangan ini, pemodelan untuk struktur geometri dan konstruksi topeng wajah ini dilakukan dengan menggunakan bahan PLA. Pada pemodelan ini diasumsikan bahwa dari data (Chacón, J. M., dkk, 2017) diketahui *yield strength* PLA adalah 46 MPa dan Ultimate tensile stress PLA adalah 65 MPa (Matweb.com, 2025). Dengan pertimbangan lokasi cedera yang paling rawan, maka pada proses pemodelan topeng wajah dirancang menerima beban maksimum sebesar 7,36 kg pada area hidung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8(b). Data ini digunakan sebagai dasar analisis kekuatan model topeng wajah. Hasil yang diperoleh seperti pada Gambar 8(b) menunjukkan bahwa konstruksi desain dan bahan ini masih aman digunakan saat terjadi benturan.

3.4. Pembuatan Topeng Pelindung Wajah Berbasiskan *Multi-Material 3D-Scanning*

Model 3D yang diperoleh pada proses perancangan topeng wajah menunjukkan bahwa model ini memiliki dimensi yang spesifik. Selain itu, model ini juga memiliki bentuk kurva yang cukup kompleks seperti yang diberikan dari hasil analisis zebra yang telah dilakukan. Kedua alasan ini membawa kesimpulan untuk membuat model topeng wajah ini menggunakan teknologi *3Dprint*.

Topeng wajah ini tidak akan digunakan dalam rentang waktu yang lama sehingga penggunaan material PLA menjadi pilihan yang cukup baik. Akan tetapi material ini cukup keras sehingga perlu dilapisi dengan material yang cukup lunak untuk bagian yang bersentuhan dengan kulit wajah pengguna. Material TPU menjadi pilihan yang sesuai untuk tujuan ini. Penggabungan kedua material ini bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan material perantara (lem) dan menggunakan teknologi *3Dprint* multi-material. Cara pertama kemungkinan kedua material akan terlepas saat digunakan sehingga pada penelitian ini cara kedua dipilih untuk mendapatkan topeng wajah pelindung ini.

Proses *3Dprint* multi-material bisa dilakukan dengan menggunakan *3Dprint* jenis *fused filament fabrication* (FFF) dengan dua nozzle. Dengan konstruksi *3Dprinter* yang memiliki dua nosel ini maka, kedua material bisa dicetak bersamaan tanpa memerlukan material perantara. Pada proses ini *3D printer* Creator Pro 2 dari Flashforge digunakan untuk mendapatkan topeng wajah yang berbasis dua material. Proses pencetakan sendiri dimulai dengan membagi model 3D yang sudah didapat menjadi lapisan-lapisan yang berguna untuk pembentukan objek 3D. Proses ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi yang disebut *slicer Flashprint* sebagai aplikasi yang direkomendasikan pembuat alat *3Dprinter* Creator Pro 2. Aplikasi *slicer* ini selain digunakan untuk membagi model 3D juga digunakan untuk mengatur parameter pencetakan seperti *nozzle temperature*, *printing speed*, dan pemilihan *nozzle* yang digunakan untuk proses pencetakan.

Parameter-parameter yang ada ini mempengaruhi kualitas produk yang dicetak (Maszybrocka, J., dkk., 2022). Kombinasi multi-material 3D print melibatkan dua material yang berbeda sehingga pengaturan parameter pencetakan pada teknik ini lebih kompleks dibandingkan dengan pencetakan mono material. Hal ini semakin rumit saat pengaturan posisi pencetakan. Kesulitan utama pada proses penempatan posisi ini disebabkan bentuk geometris dari model 3D topeng pelindung wajah ini yang sangat kompleks. Bentuk kurva yang ada pada model menyebabkan model ini memiliki bagian yang tergantung (*cantilever*). Bagian ini sangat sulit dicetak karena tidak adanya penahan saat filamen yang dalam kondisi *semi-molten* bersifat sangat elastis. Hal ini juga dipersulit dengan kondisi ikatan pada kondisi *semi-molten* ini juga belum terbentuk sempurna. Bagian yang dalam posisi tergantung umumnya bisa diberikan penahan (*support*). Akan tetapi, pemberian *support* yang terlalu banyak juga memberikan dua dampak buruk yaitu menambah material yang digunakan pada proses pencetakan dan meninggalkan bekas-bekas pada objek 3D yang dihasilkan.

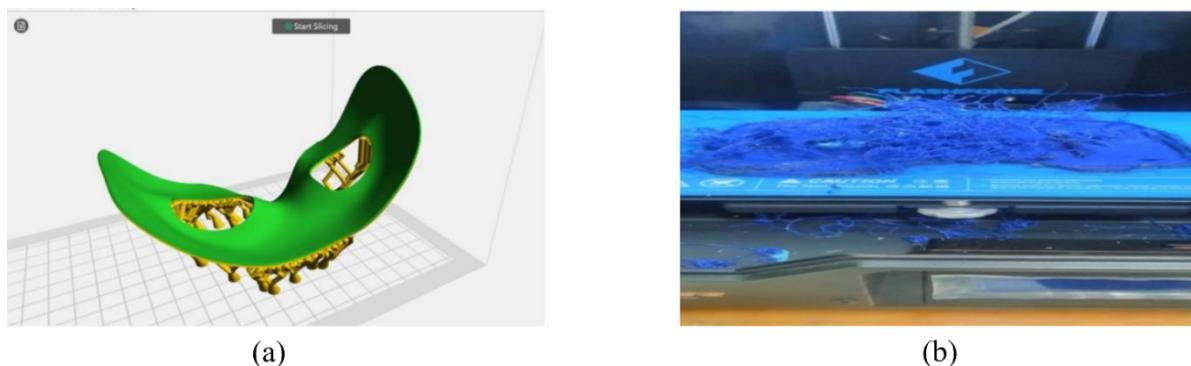
Sehingga, pada penelitian ini dibuat beberapa variasi pengaturan pada proses pencetakan model 3D. Variasi yang pertama terkait pengaturan posisi seperti yang ditampilkan pada Gambar 8(a). Pada variasi 1 ini, model 3D dibuat dalam posisi terlentang ke bawah dengan bagian luar topeng wajah atau material PLA dibagian bawah dan bagian dalam atau material TPU ada diatasnya. Variasi 1 ini dikombinasikan dengan pengaturan parameter temperature nosel untuk filamen PLA diatur pada 210 °C dan nosel untuk TPU dengan temperature 220°C (Harris, C. G., 2019). Pemilihan temperatur kedua nosel ini merujuk pada studi yang telah dilakukan terkait hubungan temperatur nosel dan kekuatan mekanis objek 3D dimana temperatur terbaik pencetakan untuk material PLA berada pada rentang 180 °C – 210 °C (Taib, N. A. A. B., dkk., 2023) dan untuk material TPU ada pada rentang 210 °C – 230 °C (Harris, C. G. dkk, 2019).

Parameter berikutnya yang perlu diatur kecepatan *retraction*. Parameter ini berguna untuk memastikan bahwa filamen tidak bersisa setelah melakukan proses pengeluaran filamen dan berpindah ke area lain pada pencetakan objek 3D yang dikenal dengan *stringing*. Parameter ini sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil pencetakan. Kecepatan rektrasi yang tepat dipengaruhi oleh sifat mekanis material. Tulisan yang membahas terkait kecepatan rektrasi menunjukkan material PLA efektif dicetak menjadi objek pada *3Dprinter* pada kecepatan 40-60 mm/s (O'Connell, J., 2023) dan TPU dengan kecepatan rektrasi 20-30 mm/s. Merujuk pada data ini, variasi pertama proses pembuatan

objek 3D dilakukan dengan mengatur kecepatan rektrasi PLA pada 60 mm/s, kecepatan rektrasi TPU pada 30 mm/s.

Parameter lain yang diatur pada variasi 1 ini adalah temperature *bed/platform*. *Bed/platform* merupakan landasan tempat meletakkan objek pada proses pencetakan. Pada variasi ini, temperature bed ditentukan 60 °C dengan merujuk pada data temperature *bed* untuk nosel PLA dan TPU berturut-turut pada rentang 20 °C – 60 °C dan 30 °C – 60 °C (Tan, M.A., dkk, 2021)

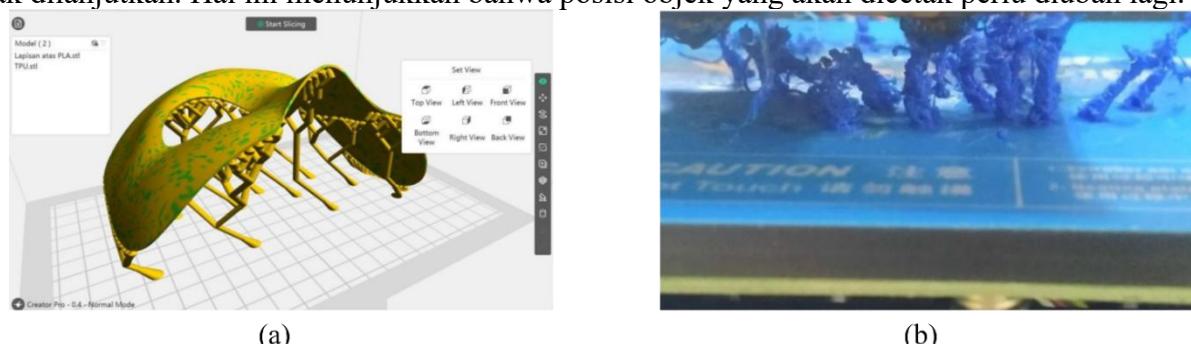
Hasil pencetakan variasi 1 ini diberikan pada Gambar 8.b. Gambar 8.b menunjukkan bahwa filamen yang diletakkan pada bed tidak menempel atau terlepas dari bed setelah beberapa saat diletakkan pada bed. Kesalahan pencetakan seperti ini disebut dengan “*print not sticking to the bed*”. Hal ini disebabkan banyak faktor. Posisi geometri menjadi salah satu faktor yang menyebabkan terjadi nya kesalahan ini. Bentuk kurva dari model 3D yang diatur dengan posisi yang ditunjukkan pada Gambar 9(a) menyebabkan filamen yang diletakkan menjadi bergulung dan terlepas dari bed seperti yang ditunjukkan Gambar 9(b). Proses pencetakan pada variasi ini tidak dilanjutkan.



Gambar 9. Variasi pertama; (a) Penempatan model 3D untuk dicetak; (b) Hasil pencetakan variasi pertama.

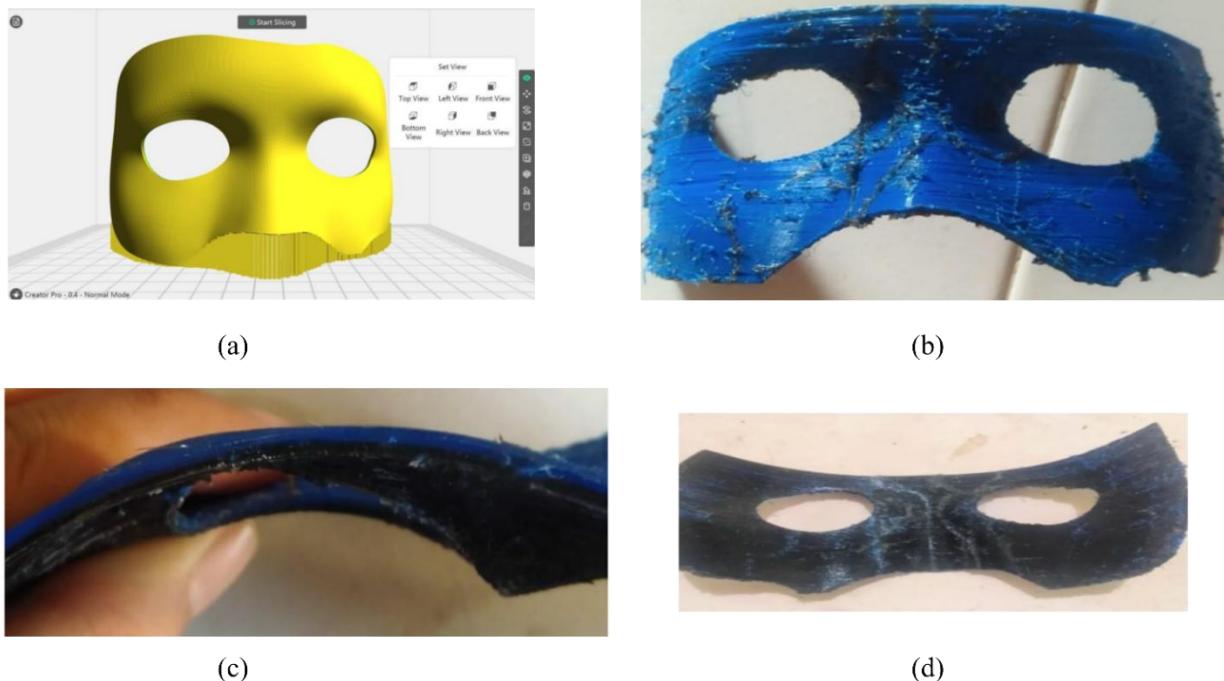
Dengan pertimbangan hasil variasi pertama, maka pencetakan topeng wajah dicoba dengan variasi kedua. Pada variasi kedua ini, posisi objek yang dicetak dibalik seperti yang terlihat pada Gambar 10(a). Pada variasi ini bagian luar topeng menghadap atas dan bagian dalam terletak pada bagian bed 3D printer. Perubahan pada variasi 2 juga dilakukan pada pengaturan beberapa parameter pencetakan. Temperatur pencetakan pada nosel untuk PLA diubah menjadi 200 °C dan temperatur *bed* 50 °C. Selain itu, kecepatan rektrasi untuk filamen PLA juga disesuaikan menjadi 55 mm/s.

Hasil yang didapat pada proses pencetakan objek topeng pelindung wajah ini diberikan pada Gambar 10(b). Pada Gambar ini terlihat bahwa support yang digunakan tidak cukup kuat untuk menyanggah objek yang dibuat. Sehingga proses pembuatan objek dengan menggunakan variasi ini tidak dilanjutkan. Hal ini menunjukkan bahwa posisi objek yang akan dicetak perlu diubah lagi.



Gambar 10. Variasi kedua; (a) Penempatan model 3D untuk dicetak; (b) Hasil pencetakan variasi kedua.

Alternatif terakhir untuk letak objek yang akan dicetak adalah dengan posisi topeng berdiri. Dengan demikian pada variasi ketiga, objek topeng diposisikan dalam kondisi berdiri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11(a). Pengaturan parameter pencetakan juga disesuaikan seperti temperatur *bed* yang dikembalikan menjadi 60 °C, dan kecepatan rektrasi PLA diatur menjadi 40 mm/s.



Gambar 11. Variasi ketiga; (a) Penempatan model 3D untuk dicetak; (b) Hasil pencetakan variasi ketiga; (c) penampakan atas dari hasil pencetakan variasi ketiga; (d) Penampakan dalam hasil pencetakan variasi ketiga.

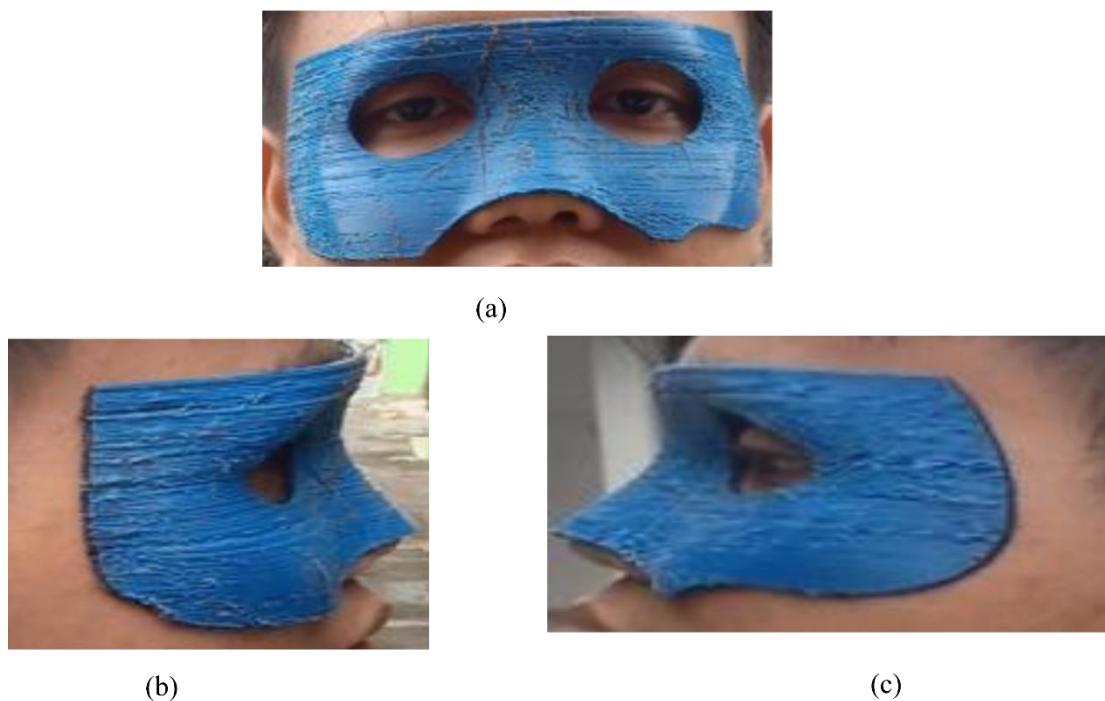
Hasil yang diperoleh pada proses pencetakan dengan variasi ini cukup memuaskan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11(b), 11(c), dan 11(d). Ketiga gambar ini menunjukkan hasil pencetakan pada variasi ini menghasilkan objek 3D yang kokoh. Kedua material berbeda yang digunakan sebagai bahan dasar mampu menyatu cukup baik walaupun tanpa diberi material perantara.

Lebih lanjut, ketiga gambar ini menunjukkan bahwa proses pencetakan dengan teknik multi-material 3Dprinting ini mampu mendapatkan bentuk geometri objek yang cukup baik meskipun pada satu sisi masih ada pengotor pada bagian permukaan yang merupakan sisa filamen yang tersisa. Akan tetapi, sisa filamen ini bisa dibersihkan tanpa mengubah bentuk geometri objek yang dihasilkan. Perbandingan ketiga bentuk variasi proses pencetakan topeng wajah ini dapat dijelaskan seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Proses Pencetakan dengan 3 Variasi

Variasi	Pengaturan parameter/penyesuaian	Hasil	Lama pengerjaan
1	Posisi pencetakan horizontal dengan PLA di bed 3Dprinter	Tidak berhasil	Tidak dilanjutkan
2	Posisi pencetakan horizontal dengan TPU di bed 3Dprinter	Tidak berhasil	Tidak dilanjutkan
3	Posisi pencetakan berdiri/vertikal	Berhasil	7 jam 18 menit

Untuk memastikan bentuk geometri objek topeng pelindung wajah yang dihasilkan, maka topeng ini diuji ke model yang digunakan sebagai basis pembuatan topeng pelindung wajah ini. Hasil pengujian topeng pelindung wajah ini diberikan pada Gambar 12. Gambar 12(a), 12(b), dan 12(c) menunjukkan bahwa topeng yang dibuat dengan kombinasi metode *reverse engineering* dan *multi-material 3Dprinting* cukup akurat mengikuti lengkungan bentuk muka pengguna di semua area muka.



Gambar 12. Pengujian topeng pelindung wajah pada model yang digunakan; (a) Tampak depan; (b) Tampak samping kanan; (c) Tampak samping kiri.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, kombinasi metode *reverse engineering* dan *multi-material 3D printing* mampu menghasilkan topeng pelindung wajah sebagai alat pelindung pada aktivitas olahraga. Topeng wajah yang dihasilkan mampu mengikuti pola wajah pengguna yang spesifik secara presisi. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan metode *reverse engineering* berhasil diaplikasikan pada penggunaan diluar bidang otomotif yang selama ini banyak digunakan. Penggunaan teknologi *3D printing* pada proses pembuatan objek topeng pelindung wajah ini bisa dilakukan dengan lebih praktis tanpa harus membuat cetakan yang memerlukan biaya dan waktu lebih banyak. Lebih lanjut, proses pembuatan topeng dengan teknologi *3D printing* ini menunjukkan bahwa teknologi ini sudah bisa menggabungkan dua material yang memiliki sifat berbeda sesuai dengan kebutuhan masing-masing bagian topeng sebagaimana tujuan penelitian ini untuk mendapatkan topeng yang keras diluar tapi lunak di bagian dalam. Hal ini sesuai dengan semakin variatifnya kebutuhan akan produk-produk konsumen dewasa ini. Bagaimanapun, produk yang dihasilkan pada proses penelitian ini masih memiliki kekurangan yaitu pada proses penentuan mata yang tidak terlalu mengikuti pola mata dan permukaan pada produk ini sangat kasar sehingga memerlukan proses pengrajin akhir. Hal ini menunjukkan pengembangan teknologi *multi-material* ini masih memerlukan penelitian lebih lanjut sehingga bisa diperoleh produk yang lebih baik lagi.

Acknowledgement

Makalah ini dibiayai oleh penelitian Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Universitas Islam Indonesia.

References

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.

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 Otology, Rhinology & Laryngology*, 125(12), 992-996.

Barai G. D, Shete, S. S, & Raut, L. P. (2015). Design and Development of a Component by Reverse Engineering, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, eISSN: 2319-1163, Volume 04, Issue.

Chacón, J. M., Caminero, M.A., García-Plaza, E., Núñez, P.J. (2017). Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection. *Materials Design*, 124, 143-157.

Harris, C. G., Jursik N. J. S., Rochefort W. E., Walker T. W. (2019). Additive manufacturing with soft TPU– Adhesion strength in multimaterial flexible joints. *Front Mech Eng*, 5, 1-6.

Jafferson, J. M., & Pattanashetti, S. (2021). Use of 3D printing in production of personal protective equipment (PPE)-a review. IN: *Materials Today: Proceedings*, 46, 1247-1260.

Kolarsick, P. A. J., Kolarsick, M. A., Goodwin, C. (2011) Anatomy and Physiology of the Skin. *Journal of the Dermatology Nurses' Association* 3(4): p 203-213.

Matweb.com, (2025)

Maszybrocka, J., Dworak, M., Nowakowska, G., Osak, P., Łosiewicz, B. (2022) The Influence of the Gradient Infill of PLA Samples Produced with the FDM Technique on Their Mechanical Properties, *Materials*, 15(04).

O'Connell, J. (2023) 3D Printer Retraction Speed – Simply Explained, Available online: <https://all3dp.com/2/3d-printer-retraction-speed-what-does-it-mean/>

Pereira, T., John V Kennedy, Johan Potgieter, A comparison of traditional manufacturing vs additive manufacturing, the best method for the job, *Procedia Manufacturing*, Volume 30, Pages 11-18, ISSN 2351-9789

Qi, H. J., & Boyce, M. C. (2005). Stress-strain behavior of Thermoplastic Polyurethanes. *Mechanics of materials*, 37(8), 817-839.

Taib, N. A. A. B., Rahman, M. R., Huda, D., Kuok, K. K., Hamdan, S., Bakri, M. K. B., Julaihi, M. R. M. B., Khan, A. (2023). A review on poly lactic acid (PLA) as a biodegradable polymer. *Polymer Bulletin*, 80(2), 1179-1213.

Tan, W. H., Ashraf, M., Ooi, L. E., & Niresh, J. (2021). Static and dynamics analysis of bicycle frame. *Journal of Physics: Conference Series*, 2051(1), 012032.

Tasiekh, I. A., Riza, R., Puspaputra, P. (2024). Desain Foglamp Cover Mobil dengan Pendekatan Reverse Engineering. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship (AJIE)*, 8(3).