

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pierre Robinson Syndrome (PRS) ialah kelainan bawaan yang dikaitkan dengan sejumlah kelainan pada struktur Kepala dan wajah. Sindrom ini ditandai dengan gejala utama yaitu hipoplasia mandibula (rahang bawah yang lebih kecil), glossoptosis (lidah yang terletak terlalu belakang), dan celah langit-langit pada mulut (*cleft plate*).

Di Indonesia, belum banyak kasus tentang *Pierre Robinson Syndrome*, informasi spesifik tentang jumlah kasus dan statistiknya sulit ditemukan. Namun, PRS ini merupakan kelainan yang sangat jarang terjadi, sehingga jumlah kasusnya juga terbatas. Dalam penanganan medis, setiap kasus PRS membutuhkan perawatan yang berbeda tergantung pada tingkat keparahan gejala dan kondisi bayi. Beberapa Tindakan medis yang mungkin dilakukan yaitu memberi makan melalui tabung, pemasangan alat bantu pernapasan, dan dalam beberapa kasus dilakukan operasi untuk memperbaiki celah langit pada mulut atau mengkoreksi posisi rahang.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Andrej Thurjo dkk, dalam judul penelitian '*Pierre Robin Sequence and 3D Printed Personalized Composite Appliance in Interdisciplinary Approach*'. Dijelaskan bahwa data penelitian yang mereka peroleh menjelaskan tentang bagaimana menciptakan alat biomedis yang dipersonalisasi ke pencetakan 3D, menggunakan resin fotopolimer biokompatibel, dan diaplikasikan pada pasien dengan sindrom kranio-fasial seperti *Pierre Robinson Syndrome*. Beberapa referensi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Referensi Penelitian

Tahun	Referensi	Penelitian	Metode	Tujuan	Hasil
2002	S. Varadarajan <i>et al</i>	<i>Genetic Mutations Associated with Pierre Robin Syndrome/Sequence: A Systematic Review</i>	Mutasi <i>genetic</i> pada <i>Pierre Robinson Syndrome</i> (PRS).	Memberikan implikasi penting untuk penelitian masa depan tentang mutase <i>genetic</i> pada PRS.	Penelitian ini menghasilkan 39 artikel, terdapat 324 kasus yang dilaporkan, dengan 56% sebagai sPPRS, 22% terkait malformasi lain, dan 30,9% kasus memiliki mutase <i>genetic</i> , terutama pad gen SOX9 yang terkait dengan nsPRS dan sPRS.
2021	Park S <i>et al</i>	<i>Endotracheal Intubation Using A Threedimensional Printed Airway Model in A Patient With Pierre Robin Sequence and A History Of Tracheostomy</i>	Model saluran napas menggunakan 3D Printing	Mengevaluasi penggunaan pemodelan pernapasan cetak 3D pada pasien dengan PRS untuk menilai anatomi jalan napas dan memprediksi ukuran pipa endotrakea yang sesuai untuk manajemen jalan napas yang	Menunjukkan keberhasilan dalam pemodelan saaluran napas 3D Printing pada pasien dengan PRS dan riwayat trakeostomi.

Tahun	Referensi	Penelitian	Metode	Tujuan	Hasil
				aman.	
2022	E. Pedraza Deutsch <i>et al</i>	<i>Pierre Robin Syndrome, An Update From A Stomatological Point Of View</i>	<i>Literature review</i>	Menganalisis informasi mengenai sindrom PRS, termasuk etiologi, karakteristik klinis, diagnosis perawatan, serta identifikasi gen terkait dan teori lingkungan yang memengaruhi sindrom ini.	Etiologi PRS belum pasti, tetapi gen SOX9 terkait erat dengan sindrom ini.
2022	Thurzo Andrej <i>et al</i>	<i>Pierre Robin Sequence and 3D Printed Personalized Composite Appliances in Interdisciplinary Approach</i>	Ditujukan untuk kasus khusus seorang bayi berusia 2 tahun dengan PRS	Merancang dan memproduksi alat-alat tambagan personalisasi untuk pasien dengan sindrom kraniofasial, dengan fokus khusus pada studi kasus seorang bayi dengan PRS.	Desain dan manufaktur alat tambahan ekstraoral yang dipersonalisasi untuk pasien dengan focus khusus pada seorang bayi dengan PRS.
2024	Penelitian ini	Perbandingan Material PLA, ABS, dan TPU Terhadap Akurasi Dan Ketahanan Model Mandibula Untuk <i>Pierre Robin</i>	3D Printing	Sebagai pemodelan anatomi mandibula menggunakan metode 3D	Pengoptimalan metode 3D printing pada pemodelan anatomi mandibula dapat

Tahun	Referensi	Penelitian	Metode	Tujuan	Hasil
		<i>Syndrome</i> Menggunakan 3D Printing		printing sebagai alat bantu dalam perencanaan dan persiapan operasi.	digunakan sebagai alat bantu perencanaan dan persiapan operasi PRS.

2.2 *Pierre Robinson Syndrome*

Pierre Robinson Syndrome merupakan kondisi langka yang umumnya terjadi sejak bayi baru lahir dan ditandai dengan tiga gejala utama, meliputi miktoagnathia (rahang bawah yang lebih kecil), *cleft plate* (celah pada langit-langit bibir), dan glossoptosis (lidah yang terletak lebih kebelakang) yang bisa menyebabkan penyumbatan saluran pernapasan [4]. Sindrom ini terjadi dalam dua bentuk yaitu Sindrom Pierre Robin non-sindromik (*nsPRS*) dan PRS yang berkaitan dengan sindrom lain (*sPRS*). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan adanya variasi mutase genetic yang berkaitan dengan *nsPRS* maupun *sPRS*. Gen yang paling berhubungan dengan PRS adalah gen *SOX9*[5].



Gambar 2. 1 *CT-Scan Penyakit Pierre Robinson Syndrome* [6]

Anak-anak yang baru lahir dengan PRS mengalami kesulitan untuk bernapas dan makan. Jika terapi konservatif tidak berhasil untuk mengatasi penyumbatan saluran pernapasan, maka mungkin perlu dilakukan tindakan bedah

[7]. Pasien dengan PRS membutuhkan pengobatan yang melibatkan berbagai disiplin ilmu untuk mencapai hasil yang optimal. Susah menelan dapat menyebabkan aspirasi makanan, air liur dan isi lambung, yang berpotensi menyebabkan peradangan pada paru-paru (*pneumonia* aspirasi) yang parah. *Obstructive Sleep Apnea* (OSA) dapat menjadi kondisi yang mengancam nyawa bagi anak-anak dengan PRS bahkan dapat menyebabkan kematian akibat kekurangan oksigen. Tingkat rata-rata kematian akibat PRS menurut penelitian adalah sekitar 16%, yang bervariasi tergantung pada beberapa faktor seperti jumlah pasien dalam penelitian, keparahan kondisi, metodologi diagnostik, dan keberadaan sindrom terkait di daerah maksilofasial. Tingkat kematian pada PRS yang parah (terutama PRS terkait) adalah 41,4%. Selain tingkat kematian yang tinggi, OSA juga berkontribusi pada perkembangan penyakit kardiovaskular, termasuk hipertensi paru-paru, yang progresif lebih cepat daripada orang dewasa. OSA memperburuk komorbiditas yang ada; jika tidak diobati secara tepat waktu, *sleep apnea* dapat menyebabkan gangguan belajar dan masalah perilaku keterlambatan perkembangan, dan gagal tumbuh [8]. Untuk mendiagnosis PRS, dapat dilakukan pemeriksaan *ultrasound*, MRI, *polisomnografi*, serta melihat gejala klinis yang muncul.

Pada penelitian sebelumnya sebanyak 56% kasus merupakan sPRS, dan 22% kasus terkait dengan malformasi lain, sementara sisanya merupakan nsPRS. Mutasi genetik terdeteksi pada 30,9% dari total 300 kasus. Berdasarkan tinjauan ini, gen SOX9 ditemukan sebagai gen yang paling umum terkait dengan nsPRS maupun sPRS [5].

2.3 Teknologi 3D Printing bagi Kedokteran

3D *Printing* telah menjadi alat yang penting dalam dunia kedokteran di era modern, terutama dalam pembuatan model anatomis untuk perencanaan bedah, pendidikan, dan simulasi. Teknologi ini memungkinkan pembuatan model yang sangat akurat sesuai dengan anatomi pasien. Dalam perencanaan bedah, model 3D memungkinkan ahli bedah untuk melihat dan memanipulasi replika anatomi fisik sebelum melakukan operasi yang sebenarnya. Hal ini sangat membantu dalam mengidentifikasi potensi tantangan dan merencanakan pendekatan bedah yang optimal. Model 3D dapat digunakan untuk simulasi prosedur bedah yang kompleks,

memungkinkan tim bedah untuk melatih teknik mereka dan mengurangi resiko selama operasi. Ini sangat penting dalam kasus seperti PRS, dimana anatomi pasien sangat berbeda dan memerlukan pendekatan yang sangat khusus [9].

2.4 Meshmixer Software

Meshmixer merupakan perangkat lunak CAD yang memungkinkan pengguna untuk membuat dan mengedit model 3D [10].



Gambar 2. 2 Meshmixer Logo [11]

- Alat pengeditan: Meshmixer menyediakan beragam alat untuk mengedit model 3D, termasuk *sculpting*, *smoothing*, dan *cutting*.
- Alat analisis: Meshmixer dilengkapi dengan berbagai alat untuk menganalisis model 3D, seperti pengukuran jarak dan sudut, serta pemeriksaan kesalahan.
- Ekspor dan impor: Meshmixer mendukung berbagai format file untuk mengimpor dan mengekspor model 3D, termasuk STL, OBJ, dan PLY.

2.5 Blender

Blender merupakan perangkat lunak gratis dan open source yang digunakan untuk *modeling*, *texturing*, *lighting*, *animasi*. Blender dapat digunakan sebagai objek 3D, animasi, dan masih banyak lagi[12] .



Gambar 2. 3 Blender Logo

- *Interface* dalam blender tertata rapi sehingga menjadikannya *user friendly*

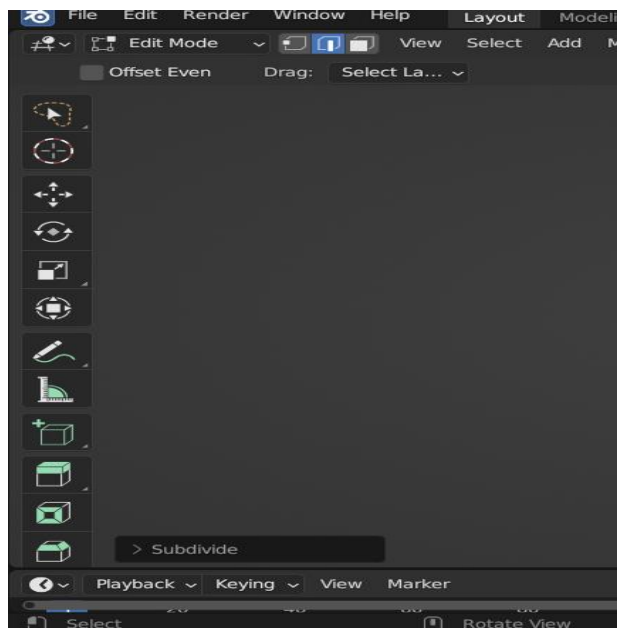


Gambar 2. 4 Inteface Blender

Sumber : Dokumen Pribadi

Interface blender dirancang agar pengguna dapat menyesuaikan tata letak dan panel sesuai dengan kebutuhan proyek, sehingga meningkatkan efisien.

- *Tool* untuk membuat objek 3D dala blender cukup lengkap,



Gambar 2. 5 Tools Blender

Sumber : Dokumen Pribadi

Sehingga pengguna dapat dengan mudah untuk men-design gambar, animasi 3D dan sebgainya.

- Kualitas hasil yang dihasilkan oleh *software* ini cukup tinggi dan bisa dikerjakan dengan lebih cepat dan efisien.

2.6 Jenis-jenis 3D Printing

- *Fused Deposition Modelling* (FDM)

FDM merupakan salah satu teknologi pencetakan 3D yang paling umum dan populer. Teknologi ini menggunakan proses aditif untuk membuat objek 3D dari model digital. Proses ini dimulai dengan membuat design digital menggunakan perangkat lunak CAD yang kemudian diubah menjadi lapisan-lapisan tipis melalui perangkat lunak *slicer*. *Printer* FDM mencetak objek dengan mengekstrusi termoplastik melalui *nozzle* panas yang dapat bergerak secara presisi sesuai dengan jalur yang ditentukan. Filamen termoplastik dimasukkan kedalam ekstruder, dipanaskan sampai titik lelehnya, dan dikeluarkan untuk membentuk setiap lapisan objek secara bertahap dari bawah ke atas.

Keuntungan utama dari FDM adalah kemudahan dalam pengoperasiannya, biaya operasional yang rendah, serta sifatnya yang ramah lingkungan. Hal ini membuat FDM menjadi lebih populer dibandingkan teknik pencetakan 3D lainnya. Keunggulan-keunggulan tersebut mendukung pengembangan berbagai bentuk dasar produk, proses manufaktur, dan aplikasi di berbagai bidang industri. Namun, meskipun memiliki banyak kelebihan, FDM juga memiliki kelemahan. Produk yang dihasilkan sering kali memiliki permukaan dengan garis-garis yang menampilkan batas antar lapisan, karena teknik ini membangun objek secara bertahap per lapisan. Tampilan garis ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kecepatan pencetakan (*print speed*), ketinggian atau ketebalan lapisan (*layer height*), dan tekstur material yang disebabkan oleh suhu pencetakan [13].

- *Stereolithography* (SLA)

SLA adalah salah satu teknologi pencetakan 3D yang paling canggih dan tertua yang menggunakan prinsip foto polimerisasi untuk membentuk objek 3D secara lapis demi lapis. Proses ini dimulai dengan membuat desain digital menggunakan CAD, yang kemudian diubah menjadi lapisan-lapisan tipis menggunakan perangkat lunak *slicer*. *Printer* SLA menggunakan laser *ultraviolet*

atau proyektor digital untuk mengarahkan cahaya ke resin foto polimer cair, mengeringkan resin tersebut sesuai dengan pola atau desain yang ditentukan oleh *slicer*. Setelah satu lapisan telah selesai, *platform* pencetakan bergerak untuk memulai lapisan berikutnya hingga objek terbentuk sepenuhnya. Material utama yang digunakan merupakan resin foto polimer, yang tersedia dalam berbagai formulasi untuk menghasilkan objek dengan berbagai sifat mekanis dan visual [14].

Keunggulan utama SLA termasuk resolusi tinggi, permukaan halus, dan akurasi dimensi yang sangat baik, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang memerlukan detail toleransi ketat. Namun teknologi ini memiliki beberapa kekurangan seperti biaya material yang tinggi, waktu pencetakan yang lebih lambat untuk objek yang besar, dan kebutuhan akan pasca pemrosesan untuk menghilangkan resin cair berlebih dan memastikan kekuatan maksimal.

- *Selective Laser Sintering (SLS)*

Merupakan teknologi pencetakan 3D yang menggunakan sinar laser untuk menggabungkan partikel serbuk menjadi bentuk padat berdasarkan model digital. Proses ini dimulai dengan membuat desain digital menggunakan perangkat lunak CAD, yang kemudian dipecah menjadi lapisan-lapisan tipis oleh *slicer*. Dalam printer SLS, serbuk material seperti plastik, keramik atau logam, diaplikasikan secara merata pada *platform* pencetakan. Sinar laser kemudian dipandu secara presisi untuk memanaskan dan menyinter partikel-partikel serbuk pada area yang sesuai dengan desain setiap lapisan mengubahnya menjadi bentuk padat. Setelah satu lapisan selesai, *platform* menurun sedikit, dan lapisan baru serbuk diaplikasikan di atasnya, diikuti oleh sinterring lapisan berikutnya. Proses ini akan berulang hingga objek selesai dibentuk [15].

SLS menawarkan beberapa keunggulan, termasuk kemampuan untuk mencetak objek dengan geometri yang kompleks tanpa memerlukan struktur pendukung, karena serbuk yang tidak tersinter bertindak sebagai penopang selama proses pencetakan. Teknologi ini juga menghasilkan objek dengan sifat mekanis yang baik dan ketahanan yang tinggi. Namun SLS memiliki beberapa kelemahan seperti biaya yang relatif lebih tinggi untuk material dan peralatan, serta

kebutuhan lingkungan yang harus terkontrol untuk mengelola serbuk dan laser dengan aman.

- *Digital Light Processing (DLP)*

DLP merupakan teknologi yang menggunakan sumber cahaya, biasanya LED atau proyektor digital, untuk mengeraskan foto polimer cair secara bertahap, lapis demi lapis, membentuk objek 3D dengan tingkat presisi yang tinggi. Dalam proses ini, model 3D dipecah menjadi lapisan-lapisan tipis menggunakan software khusus. Setiap lapisan kemudian diproyeksikan ke permukaan resin sebagai cahaya ultraviolet yang terfokus, yang mengeraskan resin sesuai dengan bentuk lapisan tersebut. Setelah satu lapisan selesai, *platform* cetak bergerak sedikit ke atas atau ke bawah, memungkinkan lapisan berikutnya sepenuhnya terbentuk. Pencetakan 3D dengan DLP dikenal dengan kemampuannya menghasilkan detail yang sangat halus dan akurat serta kecepatannya relatif tinggi. Secara keseluruhan proses pencetakan DLP hampir sama dengan proses pencetakan 3D menggunakan SLA[16].

2.7 Mesin 3D Printing

Pencetakan 3D *Printing* adalah teknologi manufaktur aditif dimana objek tiga dimensi dibuat dengan cara menumpuk lapisan-lapisan material secara berurutan. Metode ini juga dikenal sebagai *prototyping* cepat, dimana objek 3D dapat dibuat dengan cepat menggunakan mesin yang terhubung dengan computer yang memiliki rancangan objek tersebut. Konsep pencetakan 3D dalam manufaktur kustom ini menarik minat banyak orang. Metode revolusioner ini memungkinkan pembuatan model 3D lengkap dalam satu proses, menghemat waktu dan biaya yang sebelumnya diperlukan untuk merancang, mencetak, dan menyatukan bagian-bagian model secara terpisah [17].

Prinsip dasar pencetakan 3D melibatkan penggunaan kaset bahan, fleksibilitas output dan konversi kode menjadi pola yang dapat terlihat. Printer 3D adalah mesin yang mencetak lapis demi lapis untuk menghasilkan model fisik 3D dari data digital. Printer ini dapat digunakan untuk mencetak model fisik objek yang dirancang melalui program CAD atau dipindai menggunakan pemindaan 3D.

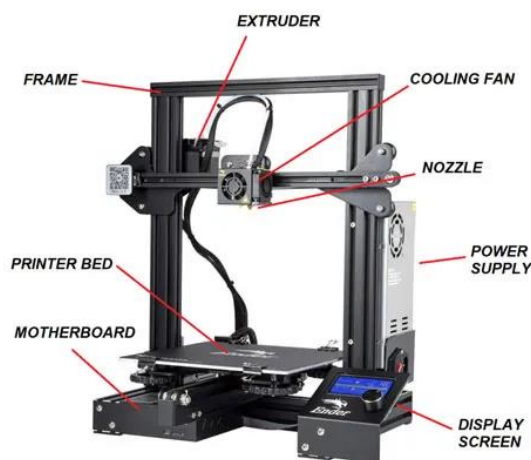


Gambar 2. 6 Mesin 3D printer [18]

Pencetakan 3D juga digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pembuatan model 3D cetak untuk perencanaan dan simulasi bedah serta analisis akurasi dan kecepatan pemindaian intraoral. Sebuah prototipe ekstruder dengan menggunakan palet dikembangkan dengan memperhatikan prinsip dasar Teknik pencetakan 3D untuk memastikan kinerja ekstruder paler, sehingga biayanya dapat dikurangi menjadi sepuluh kali lipat dan juga berfungsi sebagai ekstruder yang memiliki banyak fungsi. Hal ini akan menjadi dukungan yang besar bagi perusahaan manufaktur mesin pencetakan 3D [17].

2.8 Komponen-komponen 3D Printer

Komponen 3D Printer dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 7 Komponen 3D printer [19]

Berikut merupakan uraian dari komponen *3D printer* seperti yang ada pada gambar 2.3, yaitu:

1. *Nozzle*

Merupakan bagian mesin yang berfungsi untuk mencairkan dan menempatkan bahan cetak pada tempat yang diinginkan.



Gambar 2. 8 Nozzle pada *3D printer*[20]

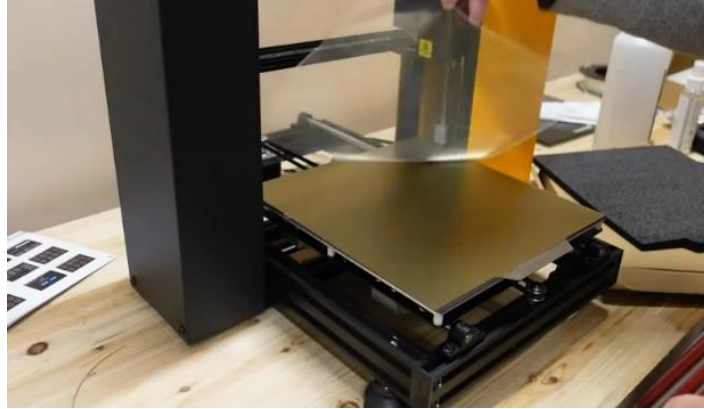
Fungsi utama dari *nozzele* adalah untuk melelehkan dan mengeluarkan filamen yang kemudian dicetak lapis demi lapis sehingga dapat membentuk objek 3D.

2. *Filamen*

Filamen merupakan bahan yang digunakan untuk *3D printer*. Filamen tersedia dalam bentuk gulungan. Filamen ini dipanaskan sampai suhu tertentu dan dicairkan untuk dicetak pada *print bed*. Banyak jenis filamen yang biasanya digunakan untuk pencetakan 3D yaitu: ABS (*Acetonitrile Butadiene Stryene*), PLA (*Polyactic Acid*), HIPS (*High Impact Polystrene*), Nylon, PVA (*Polyvinyl Acid*), PETG (*Glycol-modified Polyethylene Terephthalate*), TPU (*Thermoplastic Polyurethane*), ASA (*Acrylonitrile Styrene Acrylate*) [21].

3. *Print Bed*

Print bed adalah tempat dimana filamen dicetak. Salah satu bagian printer 3D utama yang menentukan kualitas dan permukaan akhir dari objek yang dicetak. Printer 3D mempunyai jenis *print bed* yang berbeda-beda.



Gambar 2. 9 Print Bed [22]

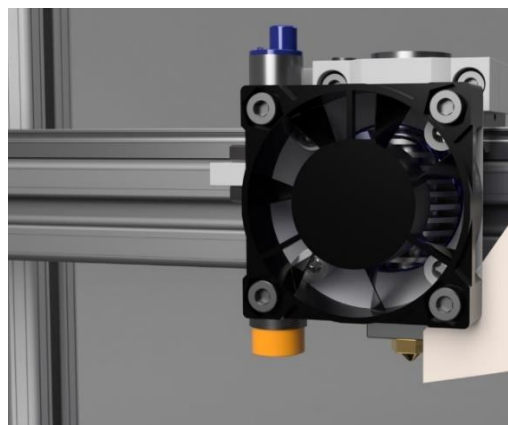
Ada *print bed* yang harus dipanaskan terlebih dahulu dan ada juga yang tidak perlu dipanaskan. *Print bed* yang tidak perlu dipanaskan mungkin biasanya digunakan untuk mencetak filamen PLA, namun untuk filamen lain, *heated print bed* lebih direkomendasikan.

4. *Infill*

Merupakan bagian dalam model 3D yang mengacu pada proses pengisi yang digunakan dalam *3D printer* guna untuk memberi kekuatan dan kepadatan pada bagian yang dicetak. Infill dapat berupa pola yang berbeda, seperti *honeycom*, *grid*, *tringular*, dan lain sebagainya.

5. *Cooling fan*

Kipas yang digunakan untuk mendinginkan bahan cetakan saat sedang dicetak agar tidak deformasi atau rusak.



Gambar 2. 10 Cooling Fan [23]

Kipas pendingin ini merupakan komponen yang cukup penting untuk kinerja *overhang* yang baik untuk mendapat kualitas produk yang baik komponen kipas ini dapat diatur kecepatannya selama proses pencetakan.

6. *Interface*

Interface adalah platform yang memungkinkan pengguna untuk mengakses, mengontrol dan mengelola proses pencetakan 3D.



Gambar 2. 11 LCD *interface* [24]

Saat ini, Sebagian dari *3D printer*, yang murah ataupun mahal sudah dilengkapi dengan *interface* pengguna LCD. Dengan bantuan *iinterface*, kita dapat mengontrol pengaturan printer tanpa harus melakukannya dari *computer*.

2.9 Cara Kerja Mesin 3D Printing

Cara kerja mesin *printer* 3D dengan membuat dahulu cetakan yang sebenarnya sama atau sejenis dengan printer yang konvensional yang dapat digunakan untuk membentuk *layer* yang nantinya akan menghasilkan objek 3D yang Nampak seperti objek aslinya.

- Data digital

Pencetakan 3D memerlukan data digital dari *blueprint* atau CAD (*computer-aided design*) *file* yang memiliki spesifikasi desain untuk objek yang akan dicetak.

- Proses translasi kode ke pilar yang terlihat

Data digital diterjemahkan ke dalam pola yang dapat dilihat oleh mesin pencetakan 3D, yang selanjutnya menghasilkan model fisik dengan cara menumpuk lapisan-lapisan bahan secara berurutan.

- *Finishing Process*

Tahapan terakhir yaitu *finishing*. Dapat menyempurnakan bagian yang belum sempurna, terutama jika perbedaan ukuran yang tidak sesuai dengan harapan. Salah satu teknik yang digunakan adalah teknik *multiple material*.

2.10 Filamen *Polyactic Acid* (PLA)

Filamen PLA merupakan jenis polimer yang bisa terurai secara alami dan berasal dari sumber daya alam. Polimer ini sering dipergunakan didalam pengaplikasian biomedis, seperti pembuatan benang jahit, sekrup fiksasi tulang dan banyak lagi. Keunggulan PLA yaitu memiliki sifat biodegradibilitasnya yang mudah mengurai. Dalam dunia *3D printing*, PLA memiliki popularitas yang tinggi, PLA memiliki keunggulan teknik dan praktis. Keunggulan lain dari PLA adalah ketahanan mekanik yang tinggi yang menjadikan persyaratan dari berbagai aplikasi [25].

Filamen PLA sering digunakan dalam proses *3D printing*. PLA biasanya berasal dari sumber daya alam seperti tepung jagung, akar tapioca , atau tebu. Hal yang menarik tentang PLA adalah memiliki kemampuan untuk terdegrasi secara alami ketika terpapar lingkungan, misalnya suatu produk yang terbuat dari PLA yang berada dilautan akan mengalami proses degradasi dalam waktu enam bulam hingga 2 tahun.



Gambar 2. 12 Filamen *Polyactic Acid* [26]

Keunggulan PLA adalah memiliki kemampuan sebagai plastic biodegradable yang dapat terurai secara alami. Bahan ini biasanya terbuat dari

senyawa yang diperoleh dari tumbuhan atau hewan, seperti kolegen, selulosa, lipid, protein, atau kitosan yang diambil dari sumber daya hewan dan tumbuhan. Hal ini yang menjadikan PLA sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan [27].

Selain itu, filamen PLA sangat diminati karena mudah untuk diolah. Dalam proses cetak, filamen PLA memerlukan suhu *nozzle* yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan filamen ABS atau filamen jenis yang lain. Dalam rentang suhu *nozzle* 190-220°C filamen PLA sudah bisa dicetak dengan baik. Yang menyebabkan hemat waktu dalam proses pencetakan, dan juga memiliki resiko deformasi yang kecil [25].

2.11 Filamen Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Filamen ABS adalah jenis polimer termoplastik yang berasal dari minyak bumi. Penggunaan material ini lumayan sering digunakan dalam dunia *3D printing* dan bahkan sama terkenalnya dengan filamen PLA. Salah satu alasan mengapa filamen ABS terkenal karena ketersediaannya dalam bermacam-macam warna, yang membuatnya diminati untuk penggunaan *3D printer*. Warna yang beragam ini dapat membuat objek atau model yang dihasilkan lebih menarik secara *visual*. Selain itu, filamen ABS sangat kuat dan memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi. Hal ini yang membuat hasil *print* yang dibuat menggunakan ABS menjadi tahan lama. Sifat kekuatan dan daya tahan terhadap suhu tinggi ini menjadikan ABS sebagai pilihan yang populer untuk mencetak objek atau model yang membutuhkan ketahanan mekanis yang baik, seperti komponen industri dan *prototipe* [28].

Penelitian [28], dilakukan pengaruh variasi ketebalan lapisan (*layer thickness*) dan orientasi *3D printing* terhadap uji tarik material ABS. Tiga variasi ketebalan lapisan yang digunakan 0,15 mm ; 0,25 mm dan 0,35mm. ketiga variasi ini dicetak dengan menggunakan orientasi aksial dan lateral. Setelah itu, hasil dari cetakan tersebut diuji tarik untuk mendapatkan data dari hasil pengujian.



Gambar 2. 13 Filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene*[29]

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa orientasi aksial dengan ketebalan lapisan 0,25 mm menghasilkan nilai uji tarik tertinggi, yaitu sebesar 21,56MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi orientasi aksial dan ketebalan lapisan 0,25mm memiliki kekuatan tarik yang optimal pada material ABS yang dicetak. Hasil ini menunjukkan pentingnya pertimbangan orientasi dan ketebalan lapisan dalam proses pencetakan 3D untuk mencapai performa mekanis yang optimal pada material ABS.

2.12 Filamen *Thermoplastic Polyurethane* (TPU)

Thermoplastic Polyurethane (TPU) merupakan salah satu jenis polimer termoplastik yang mempunyai sifat yang elastis dan kekuatan mekanis yang cukup baik.



Gambar 2. 14 Filamen TPU [30]

Sifat elastisnya yang memungkinkan TPU untuk merenggang dan kembali ke bentuk semula setelah diberi tekanan atau ditarik, sehingga sering digunakan dalam berbagai aplikasi dimana sifat elastisitas dan kekuatan mekanis yang baik sangat diperlukan. Material ini biasanya dapat menahan tekanan dan keausan dengan baik, yang menjadikannya pilihan yang cukup populer dalam berbagai aplikasi teknis dan industri.

2.13 Uji Tarik

Uji tarik merupakan proses penerapan gaya atau tegangan tarik pada material untuk menentukan atau mengukur kekuatan material tersebut. Proses ini melibatkan penarikan spesimen material yang dijepung pada kedua ujung alat uji tarik dan ditarik dengan gaya yang meningkat secara kontinu menggunakan mesin uji tarik. Selama proses ini, mesin akan mengukur gaya yang diterapkan dan perubahan panjang spesimen, yang digunakan untuk menghitung tegangan dan regangan. Hasil pengukuran ini yang digunakan untuk membuat grafik tegangan dan regangan yang menunjukkan berbagai sifat material tersebut, seperti modulus elastisitas, kekuatan tarik, titik leleh, dan regangan pada titik putus [31].



Gambar 2. 15 Mesin Uji Tarik

Sumber : Dokumen Pribadi

Mesin uji tarik sangat diperlukan dalam bidang teknik untuk mengetahui sifat-sifat mekanik suatu material. Mesin ini terdiri dari beberapa komponen

utama, termasuk kerangka, mekanisme pencekam spesimen, sistem penarik, mekanisme penggerak dan sistem pengukur.

2.14 Tegangan dan Regangan

a. Tegangan (*Stress*)

Tegangan merupakan ukuran kekuatan internal yang timbul dalam material ketika gaya eksternal diberikan.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Dimana, σ = Tegangan, F = Gaya, A = Luas Penampang.

Jika sebuah batang tegangan ditarik dengan gaya F ke kanan dan gaya yang sama dengan arah berlawanan ke kiri, gaya-gaya tersebut akan tersebar merata pada luas penampang batang. Rasio antara gaya F dan luas penampang A disebut tegangan tarik. Karena pemotongan dapat dilakukan di sembarang titik sepanjang batang, seluruh batang berada dalam keadaan mengalami tegangan [32]

b. Regangan (*Stain*)

Regangan adalah ukuran deformasi atau perubahan bentuk pada material akibat tegangan yang diberikan. Regangan juga merupakan besaran tanpa satuan yang menunjukkan perubahan panjang relatif terhadap panjang awal material.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.2)$$

Di mana: ε = regangan, Δl = perubahan panjang spesimen l_0 = panjang awal [32].

2.15 Uji Tekuk

Pengujian tekuk digunakan untuk material getas dan liat. Pada material liat, pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi cacat dan retakan di permukaan material. Sedangkan pada material keras dan getas, pengujian tekuk adalah metode untuk mengevaluasi kekuatan dan kegetasannya.



Gambar 2. 16 Mesin Uji Tekuk
Sumber : Dokumen Pribadi

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (2.3)$$

Keterangan :

σ = Kekuatan bending (MPa), M = Momen (N.mm), I = Inersia (mm⁴), c = Jarak dari sumbu netral ke tegangan serat (mm) [33].

2.16 Uji Impak

Pengujian impak membantu dalam menentukan seberapa banyak energi yang akan diserap oleh spesimen material, yang biasanya diukur dalam satuan Joule dan diketahui dalam bentuk skala yang telah dikalibrasi. Ada 2 metode umum yang digunakan dalam pengujian impak, yaitu metode Charpy dan Izon, yang dapat dilihat pada persamaan 2.4.

$$E = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2.4)$$

Dimana, E = Energi, m = massa, g = gravitasi, λ = panjang, α dan β = sudut. Massa benda (m), gravitasi (g), dan panjang lintasan (λ) semuanya berbanding lurus dengan energi potensial gravitasi, sehingga semakin besar nilai-nilai rumus maka semakin besar energi potensial yang diperoleh atau hilang.



Gambar 2. 17 Mesin Uji Impak Jenis Charpy

Sumber : Dokumen Pribadi

Uji impak merupakan metode mekanis yang digunakan untuk menilai ketahanan material terhadap beban kejut atau benturan. Pengujian ini menyediakan informasi penting mengenai keuletan dan ketahanan material terhadap fraktur saat terkena beban mendadak [34].

2.17 Rahang Manusia

Rahang ialah bagian tulang wajah yang terletak di atas dan bawah rongga mulut, yang menjadi tempat tubuhnya gigi. Rahang terdiri dari rahang atas (*maxila*) yang tidak bisa bergerak dan rahang bawah (*mandibula*), yang dapat digerakkan. Fungsi utama rahang adalah untuk menggigit dan mengunyah makanan dengan cara mmenggerakkan rahang atas dan rahang bawah secara berlawanan satu sama lain [35]



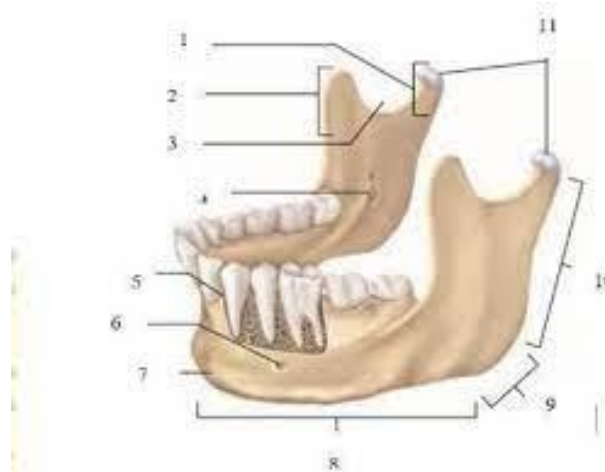
Gambar 2. 18 Rahang Manusia [36]

Mandibula, sebagai satu-satunya bagian tulang wajah yang bisa digerakkan sehingga memiliki keunikan tersendiri dibandingkan dengan struktur tulang wajah yang lain. Mandibula memungkinkan pergerakan rahang yang esensial untuk berbagai fungsi mulut, termasuk berbicara dan makan. Namun, meskipun fungsinya sangat penting, sudut mandibula merupakan bagian yang sangat lemah dan rentan terhadap kerusakan. Sudut mandibula pada manusia dikenal sebagai salah satu tulang yang paling mudah retak atau patah. Kelemahan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kekerasan fisik atau bawaan lahir.

Karena kerentanannya, sudut mandibula adalah bagian yang paling sering mengalami patah tulang pada manusia. Hal ini disebabkan oleh struktur anatomi sudut mandibula yang tidak sekuat bagian tulang lainnya di wajah. Oleh karena itu, sudut mandibula memerlukan perhatian khusus, terutama dalam kegiatan yang memiliki resiko tinggi cedera [35].

2.18 Mandibula

Mandibula yang umumnya dikenal sebagai tulang bawah merupakan bagian dari tulang wajah. Mandibula merupakan satu-satunya tulang dari wajah yang bisa bergerak [37].



Gambar 2. 19 Struktur dari mandibula[38]

Keterangan Gambar 2.18:

1. *Condylar process*
2. *Coronoid process*
3. *Mandibula notch*
4. *Mandibula foramen*
5. *Alveolar process*
6. *Mental foramen*
7. *Mental protuberance*
8. *Corpus/body*
9. *Angle/ganoin*
10. *Ramus*
11. *Mandibula condyles*

Ramus pada mandibula berbentuk menyerupai huruf Y. Cabang posterior pada ramus disebut dengan prosesus kondiloideus, yang berhubungan dengan fossa mandibular tulang temporal. Hubungan ini membentuk sendi yang dikenal sebagai *temporomandibular joint* (TMJ). Sementara itu, cabang anterior ramus adalah prosesus koronoideus, yang berbentuk seperti sebuah bilah. Prosesus koronoideus berfungsi sebagai tempat melekatnya otot temporalis, yang menarik mandibula ke atas saat sedang menggigit. Terdapat lingkungan berbentuk U diantara kedua prosesus tersebut, yang disebut mandibular notch. Dibawah mandibular notch terdapat foramen mandibular, yang memiliki fungsi sebagai

tempat lintasan syaraf dan pembuluh darah yang mengarah ke gigi-gigi bagian bawah.

Fungsi dari mandibula sendiri adalah:

- Membantu proses mengunyah

Mandibula berperan penting dalam proses pengunyahan. Tulang rahang yang berfungsi sebagai tempat untuk melekatnya gigi-geligi, yang berguna dalam pengunyahan makanan sehingga bisa dicerna dengan baik.

- Menopang struktur wajah

Mandibula sebagai penopang dan pembentuk struktur wajah. Bentuk dan posisi rahang bawah berpengaruh pada penampilan wajah dan memberikan kerangka bagi bibir, pipi, dan dagu.

- Membantu proses menelan

Selain berperan dalam pengunyahan, mandibula juga membantu proses menelan. Gerakan rahang yang terstruktur membantu untuk menggerakkan makanan dari mulut ke kerongkongan dalam proses menelan.

- Melindungi jaringan dan organ dalam

Mandibula juga berfungsi sebagai lapisan pelindung bagi jaringan organ dalam yang berada disekitar mulut, seperti syaraf dan pembuluh darah. Bentuk dan kekuatan mandibula membantu untuk melindungi struktur internal yang *sensitive*.

Bagian *horizontal* dari tulang mandibula disebut juga dengan *corpus* atau *body*, sementara itu bagian *vertical* dari *posterior* disebut ramus. Kedua bagian ini secara umum disebut dengan *ganoin*. Titik tengah pada bagian rahang bawah disebut dengan *mentum*. Di permukaan didalam mandibula di area dagu, terdapat foramen mental yang berbentuk titik kecil. Karena letaknya di *anterolateral*, mental menjadi jalur bagi syaraf dan pembuluh darah pada dagu. Ganion atau sudut mandibula ini memiliki permukaan lateral yang kasar yang berguna sebagai pelekatan otot-otot pengunyah. Seperti halnya rahang atas yang (maksial) mandibula juga mempunyai proesus alveolar yang terletak diantara gigi-geligi [37].