

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada tahun 2008, Yasuhisa Kamikawa and Takashi Maeno, penelitian ini secara rinci membahas tentang desain dan pembuatan prototipe tangan prostetik lima jari yang memiliki kurangnya aktuasi, terutama dalam konteks kemampuan untuk menggenggam berbagai benda dalam kehidupan sehari-hari. Tujuan utamanya adalah untuk mengembangkan tangan prostetik yang mampu menyesuaikan distribusi gaya seperti yang terjadi pada tangan manusia, sehingga memungkinkan untuk melakukan genggam benda dengan kekuatan dan stabilitas yang memadai. Meskipun penelitian ini menawarkan kemajuan signifikan dalam bidang prostetik, terdapat beberapa kekurangan yang perlu dicatat. Salah satunya adalah kurangnya aktuasi pada tangan prostetik ini, yang menyebabkan keterbatasan dalam kemampuannya untuk melakukan genggam yang tepat dan efektif. Selain itu, masih ada keterbatasan dalam hal berat dan ukuran benda yang dapat ditangani oleh tangan prostetik ini, yang membatasi kepraktisan dan kenyamanannya dalam penggunaan sehari-hari. Dengan mempertimbangkan tantangan ini, penelitian ini memberikan landasan penting untuk pengembangan lebih lanjut dalam merancang tangan prostetik yang lebih fungsional, ergonomis, dan responsif terhadap kebutuhan pengguna yang lebih luas [7].

Penelitian pada tahun 2019 dari penelitian Keaton J. Young^{1*}, James E. Pierce¹ dan Jorge M. Zuniga¹, Penelitian ini mengevaluasi potensi teknologi pencetakan 3D dalam konteks produksi protesis jari parsial yang fungsional, terutama untuk individu yang mengalami amputasi jari. Dalam penelitian ini, penekanan diberikan pada upaya untuk meningkatkan fungsi tangan, koordinasi gerakan, dan kualitas hidup secara keseluruhan bagi individu yang membutuhkan protesis jari. Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk mengatasi tantangan yang dihadapi oleh individu yang kehilangan sebagian dari jari mereka, dengan memberikan solusi yang inovatif dan efektif melalui

teknologi pencetakan 3D. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memahami secara mendalam bagaimana teknologi pencetakan 3D dapat diadopsi dan disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan individu secara khusus, dengan memperhatikan aspek-aspek seperti desain yang ergonomis, kenyamanan pengguna, dan kepraktisan dalam penggunaan sehari-hari. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan wawasan yang berharga tentang potensi teknologi pencetakan 3D dalam produksi prostesis jari, tetapi juga membuka jalan bagi pengembangan solusi yang lebih baik dan lebih terarah untuk meningkatkan kualitas hidup individu yang membutuhkan prostesis jari dalam jangka panjang[5].

Pada tahun 2021, Nayara Mendes Lacerda et al. Menyoroti kenyamanan dalam proses pembuatan prostetik, terutama dengan mempertimbangkan bentuk filamen polimer dan resin yang digunakan untuk pencetakan 3D pada kaki prostetik, dapat disimpulkan bahwa PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) adalah bahan yang paling cocok untuk aplikasi tersebut. Penelitian ini memberikan wawasan penting tentang pentingnya memilih bahan yang tepat dalam pembuatan prostetik untuk mencapai tingkat kenyamanan yang optimal bagi pengguna. PETG menonjol sebagai pilihan yang ideal karena memiliki sifat-sifat seperti kekuatan, ketahanan terhadap deformasi, dan kemampuan untuk menyesuaikan dengan bentuk kaki secara efektif. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan arahan yang berharga bagi pengembangan teknologi prostetik yang lebih baik, yang tidak hanya memperhatikan fungsi, tetapi juga kenyamanan dan kepuasan pengguna dalam penggunaan sehari-hari [8].

Penelitian Lee et al. Kedokteran pada tahun 2022. Penelitian ini secara khusus mengevaluasi peningkatan fungsional dan kepuasan pasien yang mengalami amputasi jari dan menerima prostesis jari cetak 3D bertenaga tubuh. Fokus utama penelitian adalah untuk mengidentifikasi sejauh mana penggunaan prostesis jari cetak 3D ini dapat meningkatkan kemampuan fungsional dan kepuasan pengguna dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Dengan menggunakan metode evaluasi yang komprehensif, termasuk tes fungsional seperti *Jebsen-Taylor Hand Function Test* (JTHFT) dan survei kepuasan pasien, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki efektivitas prostesis jari cetak 3D

dalam mengembalikan kemampuan tangan yang hilang dan meningkatkan kualitas hidup pasien. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga bagi praktisi kesehatan dan desainer prostesis dalam pengembangan solusi yang lebih baik dan lebih efektif untuk individu yang mengalami amputasi jari [4].

Penelitian yang dilakukan oleh E. Brancewicz-Steinmetz et al. pada tahun 2022 menyoroti potensi besar dari modifikasi dalam proses pencetakan 3D, khususnya dalam meningkatkan ikatan perekat antara polimer yang berbeda. Studi ini menunjukkan bahwa dengan memanfaatkan teknik pencetakan 3D multi bahan menggunakan biopolimer seperti PLA dan TPU, dapat diciptakan koneksi yang lebih fleksibel antara kedua material ini. Hal ini menjadi langkah penting dalam pengembangan teknologi pencetakan 3D karena memungkinkan pembuatan struktur yang kompleks dan fungsional dari kombinasi bahan yang berbeda. Implikasi dari temuan ini sangat relevan untuk pengembangan material baru dan aplikasi pencetakan 3D di berbagai industri. Secara khusus, dalam industri prostetik, teknologi ini dapat digunakan untuk menciptakan prostesis yang lebih ringan, lebih fleksibel, dan lebih sesuai dengan anatomi individu. Kemampuan untuk menggunakan berbagai bahan yang berbeda juga membuka peluang untuk menciptakan produk-produk yang lebih inovatif dan efisien dalam bidang manufaktur dan rekayasa biomedis. Dengan adanya peningkatan dalam ikatan antar material yang berbeda, pencetakan 3D tidak hanya menghadirkan potensi untuk mengubah cara produk diproduksi tetapi juga memberikan solusi yang lebih adaptif dan spesifik terhadap kebutuhan pengguna. Hasil penelitian ini memberikan landasan yang kuat bagi pengembangan teknologi pencetakan 3D yang lebih maju dan berbagai aplikasi yang lebih luas di masa depan.[9].

Tabel 2.1Kajian Pustaka

No	Penelitian	Material	Metode	Temuan Utama
1	Yasuhisa Kamikawa and Takashi Maeno,2008	Filamen	Model matematika yang dikembangkan menggunakan	Tangan prototipe yang dikembangkan menunjukkan efektivitas dalam genggamannya yang

	[7].		Matlab	<p>kuat dan mampu melakukan gerakan khas dalam kehidupan sehari-hari, seperti menuangkan air dari botol atau panci ke cangkir. Dalam pengembangan prototipe, perancang harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti ergonomi, biomekanika, dan fisiologi kerja untuk memastikan bahwa prototipe tersebut dapat digunakan secara efektif dan efisien dalam berbagai situasi. Dalam contoh prototipe yang dikembangkan, tangan prototipe tersebut dapat berfungsi dengan baik dalam melakukan aktivitas sehari-hari, seperti menunjang kehidupan sehari-hari dalam lingkup genggam. Tangan prototipe ini dapat melakukan aktivitas sehari-hari lebih mudah secara mandiri, seperti menuangkan air dari botol atau panci ke cangkir. Hal ini menunjukkan bahwa prototipe tersebut telah dirancang dengan</p>
--	------	--	--------	---

				mempertimbangkan faktor-faktor ergonomi dan biomekanika yang relevan.
2	Keaton J. Young ^{1*} , James E. Pierce ¹ dan Jorge M. Zuniga ¹ , 2019 [5].	Plactive	FDM (Fused Deposition Modelling)	<p>Studi ini melaporkan dua kasus amputasi jari terkait pekerjaan pada pasien yang menerima prosthesis jari cetak 3D bertenaga tubuh. Dalam konteks ini, prosthesis jari tersebut dikembangkan untuk meningkatkan kinerja dan kepuasan pasien dalam melakukan berbagai aktivitas sehari-hari yang memerlukan manipulasi jari, seperti memasak dan mengetik di komputer.</p> <p>Dalam pelatihan prosthesis, pasien diberikan pelatihan yang spesifik untuk meningkatkan kemampuan mereka dalam menggunakan prosthesis. Dalam waktu satu bulan, kedua pasien menunjukkan peningkatan kinerja dan kepuasan dalam mencapai tujuan spesifik mereka. Hal ini menunjukkan bahwa prosthesis jari cetak 3D bertenaga tubuh dapat membantu pasien yang mengalami amputasi jari</p>

				<p>untuk kembali melakukan aktivitas sehari-hari dengan lebih mudah dan efektif.</p> <p>Dalam sintesis, studi ini menunjukkan bahwa protesis jari cetak 3D bertenaga tubuh dapat membantu meningkatkan kinerja dan kepuasan pasien yang mengalami amputasi jari terkait pekerjaan. Dengan demikian, protesis ini dapat menjadi alternatif yang efektif untuk membantu pasien yang mengalami amputasi jari untuk kembali melakukan aktivitas sehari-hari dengan lebih mudah dan efektif.</p>
3	Nayara Mendes Lacerda et al[8].	Filamen PETG	3D printing di aplikasikan pada kaki prostetik	<p>Polimer maupun resin untuk 3D printing diaplikasikan pada kaki prostetik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PETG adalah bahan yang paling cocok untuk aplikasi prostetik pada kaki.</p> <p>Dalam beberapa penelitian, polimer dan resin digunakan dalam proses 3D printing untuk membuat protesis, termasuk kaki prostetik. Polimer seperti PLA dan ABS</p>

				<p>telah digunakan dalam beberapa penelitian untuk membuat prostesis jari dan tangan. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa PETG (<i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>) adalah bahan yang paling cocok untuk aplikasi prostetik pada kaki.</p> <p>PETG memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya lebih sesuai untuk aplikasi prostetik pada kaki. Pertama, PETG memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan PLA dan ABS, sehingga dapat menahan beban yang lebih besar. Kedua, PETG memiliki ketahanan terhadap panas yang lebih baik, sehingga dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan suhu tinggi. Ketiga, PETG memiliki sifat yang lebih stabil dan tidak mudah mengalami deformasi, sehingga dapat memastikan kestabilan prostesis.</p>
--	--	--	--	--

4	Lee dkk., 2022 [6].	Filamen	JHFT (<i>Jebsen–Taylor Hand Function Test</i>)	Penggunaan pencetakan 3D menunjukkan potensi besar dalam pembuatan prostesis jari parSIALfungsional, meningkatkan fungsi pada pasien yang diamputasi. Ini juga menyediakan cara alternatif bagi pasien di daerah yang kurang terlayani atau berpenghasilan rendah untuk mendapatkan prostesis jari fungsional.
5	E. Brancewicz-Steinmetz et al[9].	PLA dan TPU	3D Printing	Proses 3D printing meningkatkan ikatan perekat antara kedua polimer yang berbeda. 3D printing dengan multi bahan seperti biopolimer PLA dan TPU, memungkinkan pembuatan koneksi yang fleksibel

Objek penelitian ini difokuskan pada pengembangan prostetik jari, yang memiliki peran vital dalam membantu rehabilitasi individu yang mengalami amputasi jari. Sebelumnya, belum banyak penelitian yang mengkaji secara mendalam tentang material yang paling cocok untuk digunakan dalam prostetik jari. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memenuhi kekosongan pengetahuan ini dengan melakukan pembuatan dan evaluasi finger prosthetic menggunakan tiga jenis material yang berbeda, yaitu PLA (Polylactic Acid), PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol), dan TPU (Thermoplastic Polyurethane).

Tujuan pendekatan ini adalah untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang karakteristik serta kinerja masing-masing material dalam konteks aplikasi prostetik jari. Evaluasi material ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga bagi pengembangan prostetik jari yang lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Selain itu, penelitian ini juga membuka peluang untuk menggunakan material yang lebih inovatif dan tepat guna dalam rehabilitasi amputasi jari di masa depan.

Dengan memahami dengan baik bagaimana material-material ini berperilaku dalam aplikasi prostetik, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan dasar yang kuat bagi pengembangan teknologi prostetik yang lebih canggih dan adaptif. Dengan demikian, individu yang mengalami amputasi jari dapat mendapatkan prostesis yang tidak hanya fungsional namun juga nyaman dan memenuhi kebutuhan mereka secara optimal.

2.2 DASAR TEORI

2.1.1 FINGER PROSTETIK

Jari adalah sejenis jari, organ manipulasi dan sensasi yang terdapat di tangan manusia dan primata lainnya, Biasanya manusia memiliki lima jari, yang disebut falang, di masing-masing tangan. Mereka memungkinkan kita berinteraksi dengan lingkungan kita dan membantu dalam banyak fungsi sehari-hari. Telah disebutkan bahwa ibu jari merupakan jari yang paling penting dari sudut pandang fungsional. Amputasi, berasal dari kata Latin *amputasi-are* (memotong, memotong) yang diartikan sebagai pengangkatan sebagian atau seluruh bagian tubuh yang tertutup kulit (Kamus Kedokteran Online). Hingga abad kedelapan belas, kecuali Pare, hanya sedikit dokter yang memikirkan kondisi tunggul amputasi untuk alat prostetik selama periode 1846–1847. Pengenalan antiseptik oleh Lister memungkinkan ahli bedah membutuhkan lebih banyak waktu untuk menghasilkan tunggul amputasi yang mampu mendukung prostetik[3].



Gambar 2. 1 Finger prosthetic

Amputasi jari dan sebagian jari merupakan salah satu bentuk kehilangan sebagian tangan yang umum terjadi. Penanganan yang paling tepat akan bergantung pada jenis cedera dan sejauh mana jari lainnya terlibat. Terdapat berbagai teknik yang tersedia untuk memulihkan amputasi ujung jari, dengan tujuan umum

mengurangi rasa sakit dan mempertahankan sensasi pada ujung jari. Pilihan pendekatan yang paling sesuai akan ditentukan oleh jumlah jaringan yang terlibat, apakah terdapat keterlibatan tulang (*phalanx distal*), sudut dan tingkat amputasi, serta apakah jari-jari lainnya juga terlibat[3].

2.1.2 Material PLA

PLA (*Polylactic Acid*) adalah bahan termoplastik yang keras, kuat, dan memiliki sifat *biodegradable*. Bahan ini berasal dari pati tanaman seperti tepung maizena dan tepung tapioka, sehingga lebih ramah lingkungan daripada plastik-plastik lain yang menggunakan bahan baku dari minyak mentah. PLA sering digunakan dalam teknologi pencetakan 3D, terutama dalam printer *3D Fused Deposition Modeling* (FDM). Keunggulan PLA dalam pencetakan 3D adalah kemampuannya untuk menghasilkan produk dengan detail yang baik dan permukaan yang halus. Namun, PLA juga memiliki kelemahan yaitu cenderung rapuh. Oleh karena itu, dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan mekanik yang tinggi, seperti suku cadang yang harus tahan terhadap tekanan atau benturan, bahan lain seperti ABS atau PVA mungkin lebih cocok[10].



Gambar 2. 2 Filamen PLA [11]

PLA telah menjalani uji tarik dan kompresi uniaksial untuk mengevaluasi kekuatan dan daya tahannya, yang sangat penting untuk memastikan bahwa produk yang terbuat dari PLA memenuhi persyaratan kekuatan yang dibutuhkan dalam berbagai aplikasi. Hasil uji ini memperkuat posisi PLA sebagai pilihan yang sangat

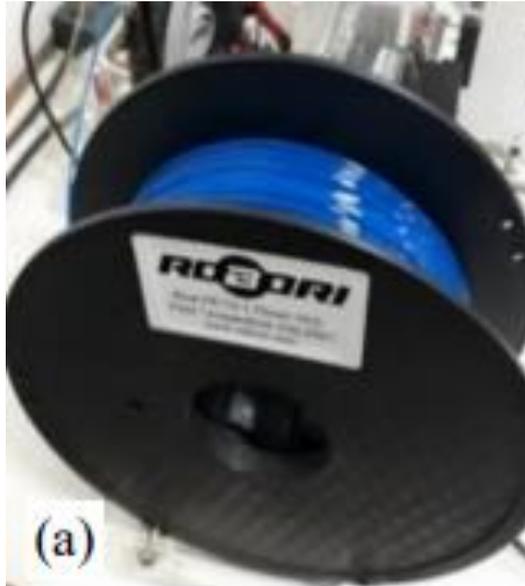
baik dalam dunia pencetakan 3D, tidak hanya karena sifatnya yang ramah lingkungan tetapi juga kemampuannya untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang tinggi. PLA dikenal karena kemudahan dalam proses pencetakan 3D, stabilitas dimensinya yang baik, serta daya tahan terhadap suhu yang moderat.

Meskipun demikian, penting untuk mempertimbangkan baik kelebihan maupun kelemahan PLA dalam aplikasi spesifik. Salah satu kelemahannya adalah ketahanan terhadap suhu yang terbatas, di mana PLA mulai melunak pada suhu sekitar 60-65°C, yang dapat membatasi aplikasinya dalam lingkungan dengan suhu tinggi atau dalam kontak dengan bahan-bahan yang panas. Selain itu, kekuatan mekanik PLA, meskipun cukup baik untuk banyak aplikasi, mungkin tidak mencukupi untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan ekstrem atau ketahanan terhadap tekanan yang sangat tinggi.

Dengan mempertimbangkan karakteristik ini, pemilihan PLA sebagai bahan pencetakan 3D harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi khusus untuk memastikan bahwa sifat-sifatnya cocok dengan lingkungan dan persyaratan mekanik yang diperlukan[12].

2.1.3 Material PETG

PETG, yang merupakan singkatan dari *Polyethylene Terephthalate Glycol*, merupakan resin plastik amorf yang dapat digunakan sebagai bahan filament dalam proses fabrikasi spesimen melalui injeksi cetakan atau ekstrusi lembaran. PETG memiliki karakteristik yang mencakup kekuatan tinggi, tingkat penyusutan rendah, dan ketahanan yang baik terhadap bahan. Bahan ini mudah dicetak menggunakan printer 3D dan mampu menghasilkan hasil cetakan dengan adhesi yang baik antar lapisan yang dibentuk[13].



Gambar 2. 3 Filamen PETG [14]

Sifat lain dari material PETG adalah bahan yang sangat tangguh dengan ketahanan benturan yang tinggi, membuatnya tahan lama dan mampu menahan penanganan kasar atau benturan tanpa putus. Selain itu, PETG juga memiliki ketahanan kimia yang baik, artinya dapat menahan paparan berbagai bahan kimia tanpa *degradasi* atau bereaksi. Keunggulan lain dari PETG adalah penyusutannya yang rendah, yang membantu meminimalkan lengkungan dan distorsi selama proses pencetakan 3D. Selain sifat-sifat teknis yang baik, PETG juga merupakan pilihan yang lebih berkelanjutan dibandingkan dengan plastik lainnya, karena dapat dengan mudah didaur ulang. Dengan kombinasi kekuatan, ketahanan kimia, kemudahan cetak, dan aspek lingkungan, PETG adalah pilihan yang sangat serbaguna untuk berbagai aplikasi pencetakan 3D[15].

2.1.4 Material TPU

TPU kelas medis Tecoflex LM-95A dari Lubrizol Advanced Materials Inc. merupakan poliuretan termoplastik dengan dasar bahan polieter alifatik. Bahan ini memiliki kepadatan sebesar $1,10 \text{ g/cm}^3$ dan kekuatan tarik sebesar $49,99 \text{ MPa}$, diukur dengan metode ASTM D412. TPU ini dikategorikan sebagai material yang cocok untuk aplikasi medis karena kekuatannya yang tinggi, yang penting untuk keandalan dan ketahanan produk medis.

Penggunaan poliuretan termoplastik dalam konteks kelas medis seperti Tecoflex LM-95A menawarkan beberapa keunggulan. Selain kekuatan tarik yang solid, TPU ini juga menampilkan fleksibilitas yang baik, memungkinkan aplikasi dalam perangkat medis yang memerlukan elastisitas dan kemampuan penahanan benturan. Sifat-sifat ini membuatnya cocok untuk produk-produk seperti kateter, selang medis, atau bagian dari perangkat ortopedi yang membutuhkan material yang dapat menyesuaikan diri dengan gerakan tubuh[16].

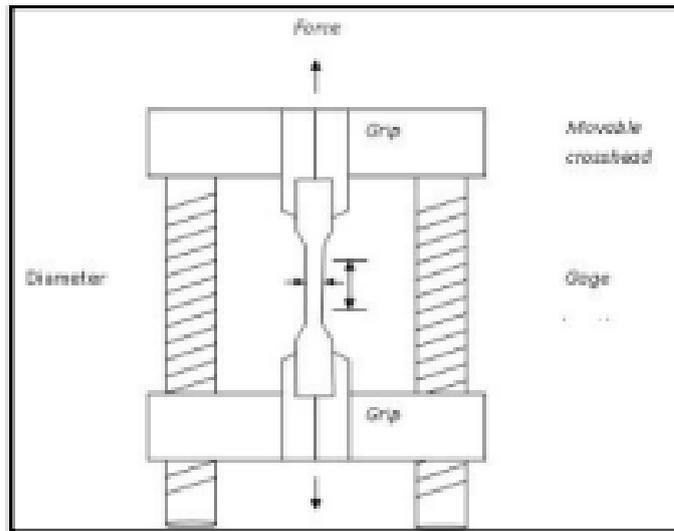


Gambar 2. 4 F ilamen TPU[17]

TPU (*polyurethane termoplastik*) memiliki sifat-sifat yang sangat menguntungkan. TPU memiliki fleksibilitas dan elastisitas yang sangat baik, memungkinkannya meregang dan memulihkan bentuknya tanpa deformasi permanen. Selain itu, TPU juga memiliki ketahanan abrasi yang tinggi, menjadikannya cocok untuk aplikasi yang membutuhkan daya tahan dan ketahanan terhadap keausan. TPU juga memiliki ketahanan kimia yang baik, sehingga dapat menahan paparan berbagai bahan kimia tanpa mengalami *degradasi* atau bereaksi. Dalam hal ketahanan benturan, TPU juga unggul, mampu menyerap dan menghilangkan energi dari benturan tanpa putus. TPU juga memiliki berbagai pilihan kekerasan, mulai dari yang sangat lembut dan fleksibel hingga kaku dan tangguh, memberikan fleksibilitas dalam aplikasi yang berbeda[18].

2.1.5 Uji Tarik dan elastisitas

Uji tarik adalah metode uji mekanis yang digunakan untuk mempelajari perilaku dan karakteristik material saat dikenai tegangan, di mana material ditarik hingga patah untuk mengukur kekuatan, regangan, dan elastisitas toughness serta mengidentifikasi ketidaksempurnaan dalam material tersebut.



Gambar 2. 5 Alat Uji Tarik [19]

Selama uji tarik, sampel material ditarik secara bertahap hingga mencapai titik putusya. Tes ini mengukur beberapa parameter, termasuk kekuatan tarik akhir, kekuatan luluh, perpanjangan, dan modulus elastisitas. Kekuatan tarik tertinggi adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum pecah. Ini memberikan informasi tentang seberapa kuat material tersebut. Kekuatan luluh adalah tegangan di mana material mulai berubah bentuk secara permanen. Ini menunjukkan batas elastisitas material. Perpanjangan adalah ukuran seberapa banyak material meregang sebelum pecah. Ini memberikan indikasi tentang keuletan material dan sejauh mana material dapat meregang sebelum mengalami kegagalan. Modulus elastisitas, juga dikenal sebagai modulus Young, adalah ukuran kekakuan material atau kemampuannya untuk menahan deformasi di bawah tegangan. Modulus elastisitas menggambarkan sejauh mana material dapat kembali ke bentuk aslinya setelah tegangan dihilangkan[20].

Uji Tarik relatif sederhana, murah dan sangat standar dibandingkan dengan pengujian lainnya. Hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk menghasilkan nilai yang valid seperti bentuk dan ukuran sampel, pemilihan grip dan lain-lain. Sampel uji harus sesuai dengan standar dan spesifikasi ASTM (American Standard Testing and Materials). Bentuk spesimen sangat penting karena kita harus mencegah munculnya patah atau retakan di area mencekram atau lainnya[19]. Pengujian uji Tarik pada prosthesis pernah dilakukan pada penelitian yang berjudul “Komposit Laminate Rami Epoksi Sebagai Bahan Alternatif Socket Prosthesis” dalam penelitian tersebut mengacu standar ASTM D 3039/D 3039M uji Tarik, yang mana hasil pengujian mempertimbangkan beberapa factor antara lain, hubungan kekuatan tarik (σ_t), tekan (σ_c), modulus elastisitas (E) versus fraksi volume serat (V_f)[21].

2.1.6 Uji Ketahanan terhadap suhu

Uji ketahanan suhu adalah metode pengujian yang digunakan untuk mempelajari perilaku dan karakteristik material dalam berbagai kondisi suhu. Selama pengujian, bahan tersebut dikenakan pada suhu yang berbeda untuk menentukan kemampuannya dalam menahan panas atau dingin tanpa mengalami perubahan signifikan dalam sifat-sifatnya.



Gambar 2. 6 Alat Uji Ketahanan Suhu

Pengujian ini mengukur beberapa parameter, seperti titik leleh, koefisien ekspansi termal, dan konduktivitas termal material. Titik leleh adalah suhu di mana material berubah dari keadaan padat menjadi cair. Ini memberikan informasi tentang suhu maksimum yang dapat ditoleransi oleh material sebelum mengalami perubahan fase. Koefisien ekspansi termal adalah ukuran seberapa banyak material akan mengembang atau berkontraksi ketika mengalami perubahan suhu. Ini penting untuk memahami bagaimana material akan berperilaku dalam kondisi suhu yang berbeda. Konduktivitas termal adalah ukuran kemampuan material untuk menghantarkan panas. Ini menggambarkan seberapa baik material dapat mengalirkan panas melalui dirinya sendiri. Uji ketahanan suhu membantu dalam menentukan kesesuaian bahan untuk aplikasi yang melibatkan paparan suhu tinggi atau rendah[22].

Sebuah penelitian yang berfokus pada pemanfaatan printer 3D dengan menggunakan bahan polylactic acid (PLA) bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan tarik produk 3D dengan merujuk pada standar ASTM D-638 tipe 1. Penelitian ini memperhatikan dua variabel independen, yakni suhu (dengan variasi 200°C, 220°C, dan 240°C) dan ketebalan lapisan yang berbeda (dengan ketebalan 0,1 mm, 0,2 mm, dan 0,3 mm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu 200°C dengan ketebalan lapisan 0,1 mm, produk mencapai tegangan rata-rata tertinggi sebesar 35,90 N/mm². Di sisi lain, pada ketebalan lapisan 0,2 mm dan suhu 200°C, tegangan maksimum tertinggi mencapai 25,43 N/mm² dengan regangan 0,18. Sementara itu, pada ketebalan lapisan 0,3 mm dan suhu 220°C, produk menunjukkan tegangan maksimum tertinggi sebesar 17,74 N/mm² dengan regangan 0,08[23].

Dalam konteks bahan PETG, berdasarkan analisis ANOVA, ketebalan lapisan diidentifikasi sebagai parameter independen yang paling signifikan dalam proses pencetakan dengan filament PETG, ditandai dengan P-value terendah (0,191). Adanya elastic modulus tertinggi (>0,125 GPa) menandakan ketahanan deformasi dan kekuatan tarik yang optimal pada bahan PETG. Dengan desain optimal, kombinasi parameter, seperti nozzle temperature 245°C, printing speed 35 mm/s, dan ketebalan lapisan 0,25 mm, dianggap sebagai yang terbaik. Kombinasi ini terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas hasil cetakan dengan menggunakan filament PETG[24].

Sementara itu, untuk bahan TPU, berdasarkan penelitian berjudul "Eksplorasi Eksperimental Sifat Mekanik Benda dari Material Thermoplastic Polyurethane melalui Metode Fused Deposition Modeling Additive Manufacturing," eksperimen dilakukan dengan memvariasikan temperatur pemanasan pada nilai 240°C, 250°C, dan 260°C[25].

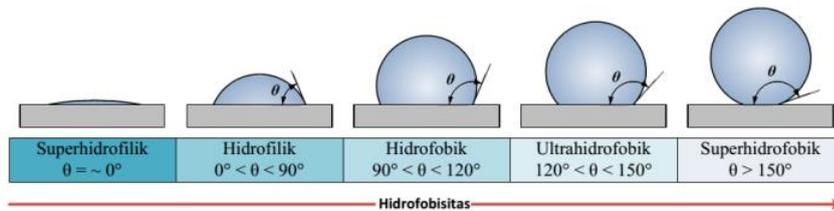
2.1.7 Uji Contact angle tes

Uji sudut kontak adalah metode yang digunakan untuk mengukur kemampuan basah permukaan padat oleh cairan. Dalam pengujian ini, tetesan cairan ditempatkan di permukaan padat dan sudut yang terbentuk antara tetesan cairan dan permukaan padat diukur. Dari hasil analisis uji *contact angel* pada filamen PLA, profil tetes air dan sudut kontak yang terbentuk, dapat diklasifikasi sebagai berikut, Suatu permukaan dikategorikan sebagai super-hidrofilik ketika sudut kontak yang terbentuk mendekati 0°. Permukaan dianggap hidrofilik jika sudut kontak yang terbentuk lebih kecil dari 90°. Sementara itu, permukaan dinilai hidrofobik jika sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari 90° dan lebih kecil dari 120°. Permukaan disebut ultra-hidrofobik ketika sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari 120° tetapi lebih kecil dari 150°. Akhirnya, permukaan diklasifikasikan sebagai super-hidrofobik jika sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari 150°[27].



Gambar 2. 7 Alat Uji Contact angle

Dalam kasus ini, tetesan cairan akan membentuk bola atau tetesan yang terkumpul di atas permukaan. Sudut kontak yang rendah, kurang dari 90 derajat, menunjukkan bahwa cairan menyebar dengan mudah di permukaan. Ini mengindikasikan bahwa permukaan tersebut bersifat *hidrofilik* atau membasahi. Dalam kasus ini, tetesan cairan akan merata dan menyebar di atas permukaan. Uji sudut bermanfaat untuk memahami sifat permukaan padat dan interaksi dengan cairan. Dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam industri kimia, farmasi, dan material, untuk memilih bahan yang sesuai untuk interaksi dengan cairan tertentu[26].



Gambar 2. 8 Sudut Kontak yang Terbentuk pada Uji Tetetsan dengan Tingkat Hidrofobisitas yang Berbeda [27]

Sampel material yang akan digunakan dalam uji penelitian ini bersifat *hidrofobik* dikarenakan banyak *prosthesis* termasuk *finger prosthesis* membutuhkan bahan yang tahan terhadap air atau cenderung menghindari air.