

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam melakukan suatu penelitian, observasi sangat dibutuhkan sebagai referensi untuk mencari sumber yang berkaitan dengan judul yang diambil. Berikut adalah beberapa referensi yang diambil sebagai sumber referensi dalam penelitian ini.

Tabel 2.1 Sumber Referensi

No	Judul-Penulis-Tahun	Bahan (Komposit)	Metode, Hasil dan Pembahasan
1	<p>Judul: <i>Exo-Glove: A Soft Wearable Robotic Hand for Stroke Survivors</i></p> <p>Penulis: Benny Cherian, Clins Dominic, Vysakh G, K R Vishakh</p> <p>Tahun: 2018</p>	<i>Fabric Straps</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Standar yang digunakan: ISO 9001 • Sebuah tangan robot yang digerakkan oleh <i>Tendon</i> berbasis polimer, <i>EXO-Glove Poly</i>, diusulkan dan fitur desain rinci dari komponen yang dijelaskan. <i>EXO-Glove</i> paling cocok untuk orang yang tidak mampu menutup atau membuka tangan mereka tetapi dapat menggunakan sendi lain dari tungkai atas, termasuk pergelangan tangan, siku, dan bahu sendi.
2	<p>Judul: <i>Tests of Mechanical Properties of Semicrystalline and Amorphous Polymeric Materials Produced by 3D Printing</i></p> <p>Penulis: Piotr Sikora, Adam Gnatowski, and Rafał Gołębski</p> <p>Tahun: 2019</p>	<p><i>ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), Laywood, PLA (Polylactic Acid), PET (Polyethylene terephthalate), TPU (Thermoplastic Polyurethane)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ada juga terlihat hubungan antara kekerasan material dan kekuatan tarik karena sebagai nilai kekerasan menurun, jarak untuk mencapai nilai kritis dari beban aksial meningkat sampai selesai retak. Hal ini terlihat di PLA karena rusak segera setelah mencapai beban aksial maksimum, sementara TPU istirahat perlahan seperti yang ditunjukkan oleh puncak pada grafik.

No	Judul-Penulis-Tahun	Bahan (Komposit)	Metode, Hasil dan Pembahasan
3	<p>Judul: <i>Design of a Soft Robotic Glove for Hand Rehabilitation of Stroke Patients With Clenched Fist Deformity Using Inflatable Plastic Actuators</i></p> <p>Penulis: Hong Kai Yap, Chen-Hua Yeow</p> <p>Tahun: 2016</p>	<p><i>Plastic Actuators</i></p>	<p>Strategi kontrol seperti Elektromiografi akan diselidiki untuk memungkinkan perangkat mendeteksi dan mengaktifkan berdasarkan niat pengguna. Selain itu, sarung tangan robot lunak dua arah yang mampu memberikan fleksi aktif dan perpanjangan aktif juga akan dikembangkan untuk memenuhi populasi pasien yang lebih besar dengan berbagai masalah mobilitas tangan. Selain itu, studi intervensi longitudinal yang menyelidiki hasil fungsional pasien stroke melalui pelatihan rehabilitasi dengan perangkat juga akan dilakukan di masa depan.</p>
4	<p>Judul: Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis</p> <p>Penulis: Andik Aris Setiawan, Bayu Wiro Karuniawan, Nurvita Arumsari</p> <p>Tahun: 2018</p>	<p><i>PLA (Polylactic Acid)</i></p>	<p>Nilai parameter terbaik yang didapatkan berdasarkan eksperimen dan juga analisa data yang telah dilakukan adalah yaitu <i>Print Speed</i> 20 mm/s, <i>Printing Temperature</i> 210°C, dan <i>Layer Height</i> 0,1 mm. Nilai kekasaran yang didapat dari hasil terbaik yang didapatkan adalah 8,55 µm dari eksperimen konfirmasi percobaan pertama sisi ke 4. Dan rata-rata kekasaran yang didapat pada setiap sisinya adalah 11 µm. Nilai terakurat didapat adalah 29,945 mm dari eksperimen konfirmasi pertama, dikatakan akurat karena nilainya mendekati angka 30 mm. dengan keakuratan 99.81% atau bisa dikatakan hampir semua percobaan memiliki keakuratan 99%.</p>

No	Judul-Penulis-Tahun	Bahan (Komposit)	Metode, Hasil dan Pembahasan
5	<p>Judul: <i>The Effect of The Infill Type and Hardness of 3D Printed Parts</i></p> <p>Penulis: İsmail Böğrekcia, Pınar Demircioğlua, H. Saygın Sucuoğlua ,Oğulcan Turhanlara</p> <p>Tahun: 2019</p>	<p>PLA (Polylactic Acid))</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Spesimen dengan pola heksagonal memiliki kekerasan maksimum untuk semua nilai <i>Infill Density</i> dalam kisaran 17,8 untuk 22,8 HV. • Nilai kekerasan minimum diperoleh dari <i>Infill Diamond</i> dengan nilai antara 16,1 dan 18 HV. • Lintasan deposisi dan ikatan antarlapisan berbeda untuk pola heksagonal, berlian dan linier. Ini bisa menjadi alasan untuk perbedaan kekerasan. • Klasifikasi di antara berbagai pola pengisi yang berkaitan dengan kekerasan itu; <i>Hexagon > linear > Diamond.</i> • Tipe <i>Infill</i> dan kepadatan memiliki efek pada nilai kekerasan untuk bagian cetak 3D.
6	<p>Judul: <i>Analysis of the factors affecting the dimensional accuracy of 3D printed products</i></p> <p>Penulis: Kushagra Tiwaria, Santosh Kumarb</p> <p>Tahun: 2018</p>	<p>PLA (Polylactic Acid))</p>	<p>Selama analisis faktor pertama, yaitu ' efek gravitasi ', diamati bahwa gravitasi memiliki efek dalam menentukan akurasi dimensi suatu produk. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa menyelimuti bagian dari desain tidak memiliki dukungan di bawahnya untuk dukungannya karena itu tergantung di udara. Seperti yang dicetak, karena adanya gravitasi, itu sags turun karena gaya gravitasi. Orientasi desain juga penting karena memutuskan apakah desain memiliki porsi yang terlalu banyak atau tidak atau memiliki beberapa bagian pada sudut tertentu.</p>

2.2 3D Printer

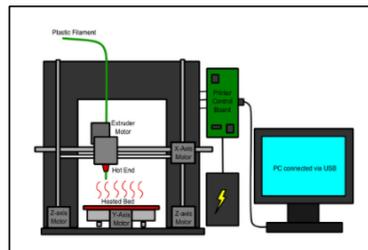
Dunia industri selalu berkembang melalui peningkatan, terutama pada bidang industri manufaktur. Salah satu inovasi pada bidang manufaktur yaitu *Rapid Prototyping*. *Rapid Prototyping* biasa digunakan untuk pembuatan produk *3D Printer*. Sering kali dibutuhkan produk *Single Part* dimana hanya membutuhkan satu atau beberapa produk yang digunakan tanpa perlu produksi masal dan bersifat *Custom Design*, produk yang bersifat *Custom Design* hanya dapat dibuat dengan mesin *3D Printer*. Oleh karena itu teknologi *3D Printing* adalah solusi untuk memenuhi permintaan produk yang bersifat *Custom Design* namun tidak harus produksi masal. Salah satu teknologi *3D Printing* yang sering dijumpai di pasaran adalah *3D Printer* dengan teknologi FDM (*Fused Deposition Modeling*).

Menurut Rosehan dkk. (2017), *Rapid Prototyping* memungkinkan visualisasi suatu gambar tiga dimensi menjadi benda tiga dimensi asli yang mempunyai *Volume*. Selain itu produk-produk RP juga dapat digunakan untuk menguji suatu *Part* tertentu. Metode RP pertama ditemukan pada tahun 1986 di *California, USA* yaitu dengan metode *Stereolithography*. Setelah penemuan metode tersebut berkembang berbagai metode lain yang dimungkinkan pembuatan *Prototype* dapat dilakukan secara cepat. Salah satu metode dalam pembuatan *Rapid Prototyping* adalah metode *Fused Deposition Modeling*. *Fused Deposition Modeling* merupakan metode pembuatan *Prototype* dengan proses pelelehan *Material* termoplastik dengan menggunakan mekanisme *Ekstruder*. Kemudian proses pembuatan *Prototype* dilakukan secara berlapis. Pada proses *Fused Deposition Modeling* terdiri dari 3 tahapan yaitu:

- A. *Pre-Processing: Software* yang digunakan untuk membuat *3D Printing* akan memotong dan mengatur posisi dari CAD serta mengkalkulasikan jalur untuk mengekstrusi termoplastik dari *Filament* untuk membuat *Support* dan produk.
- B. *Production: 3D Printer* lalu akan memanaskan termoplastik ke fase semi-cair dan akan menempatkan ke dalam bentuk dari desain produk tersebut. *Support* akan dibuat jika produk yang akan dibuat mempunyai tingkat kesulitan yang cukup tinggi dan berfungsi sebagai penyangga.

C. *Post-Processing*: Setelah produk yang dibuat sudah selesai, *Operator* akan mengambil produk tersebut dan memisahkan antara *Support* dengan produk yang dibuat. Jika sudah selesai maka produk yang dibuat siap untuk digunakan.

Untuk cara kerja dari *3D Printer Fused Deposition Modeling* dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 *Fused Deposition Modeling* [10]

2.3 *Filament*

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Filament* yang berbahan dasar polimer-termoplastik. Hal ini terkait dengan teknik *Fused Deposition Modeling* (FDM) yang termasuk ke dalam kategori *Material Extrusion*. Ada beberapa jenis *Material Filament* yang biasa digunakan, antara lain *Polylactid Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *High-Impact Polystyrene* (HIPS), *Thermoplastic Polyurethane* (TPU), *Aliphatic Polymides* (Nylon), dll. (Taufik dkk, 2017). Yang paling sering digunakan masyarakat adalah PLA dan ABS, dikarenakan faktor harga yang lebih murah diantara jenis *Filament* yang lain. PLA sering digunakan oleh pemula atau oleh seseorang yang ingin memiliki hasil cetak yang akurat. Di sisi lain, ABS banyak digunakan oleh orang-orang yang menginginkan objek yang lebih kuat. Apabila hasil cetak akan dihaluskan, maka ABS akan lebih mudah untuk diampelas. ABS juga bisa diproses dengan *Acetone* jika ingin menghasilkan permukaan yang halus/mengkilap (Rajawali3D, 2018).

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Color Change Filament* dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 *Color Change Filament* [41]

Data dari *Color Change Filament* dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.2 *Data sheet of Color Change filament* [40]

<i>Name</i>	<i>Color Change</i>
<i>Print Temperature</i>	<i>190 - 220 °C</i>
<i>First Layer Temperature</i>	<i>215 °C</i>
<i>Density</i>	<i>1.24 kg/m³</i>
<i>Diameter Filament</i>	<i>1.75 mm (Accuracy: 1.7 – 1.8 mm)</i>
<i>Tensile Yield Strength</i>	<i>65 Mpa</i>
<i>Flexural Strength</i>	<i>97 Mpa</i>
<i>Flexural Modulus</i>	<i>3600 Mpa</i>
<i>Impact Strength</i>	<i>4 kJ/m²</i>

Karakteristik *Color Change filament* (Shenzhen Esun Industrial Co.,Ltd, 2017):

- Warna *Color Change Filament* diubah oleh cahaya:

Seri *Color Change Filament* memiliki kinerja seperti PLA, yang tidak beracun, ramah lingkungan, kinerja pencetakan yang sangat baik, dll. Setelah sinar matahari atau radiasi ultraviolet, menyerap sinar matahari/energi UV, kemudian akan menghasilkan perubahan warna, ketika kehilangan radiasi matahari/ultraviolet, itu akan kembali ke warna asli. Non-toksik, tangguh, tekstur keras, dengan toleransi suhu yang baik dan tahan rambat;

- Parameter:

kategori: ungu, biru, kuning, merah, kelabu, oranye (Perubahan warna)

- Penyimpanan:

Simpan di tempat kering berventilasi sejuk di bawah suhu normal (sekitar 23 ° c)

- Peringatan:

Filamen tidak mengandung zat berbahaya, sesuai dengan keselamatan mainan dan spesifikasi kemasan makanan.

2.4 Akurasi Dimensi (*Dimensional Accuration*)

Akurasi dimensi adalah aspek penting dari setiap proses manufaktur. Ini menyerupai kemampuan proses untuk menghasilkan produk yang akurat atau mencapai toleransi yang lebih ketat. Sebuah proses yang memiliki akurasi dimensi yang lebih baik dianggap lebih unggul dari proses lainnya (Tejendrasinh S dkk, 2016 dan Farzadia dkk, 2015).

Penyusutan dan *Warping* adalah fenomena khas yang mempengaruhi akurasi dimensi. Penyusutan dapat dipertimbangkan dalam tahap perencanaan dengan meningkatkan ukuran model. Terutama pada permukaan datar yang dipengaruhi oleh *Warping*. Perlu dicatat bahwa akurasi dimensi ditentukan oleh resolusi XYZ dari tiga dimensi spasial. Bidang XY menjelaskan ukuran fitur minimum, sedangkan resolusi sumbu z menggambarkan ketebalan lapisan (Msalleem dkk, 2020)

pencetakan 3D bukan merupakan pengecualian, sangat diharapkan untuk mencapai akurasi dimensi yang lebih baik di dalamnya untuk memperluas area pengaplikasinya (Tiwaria dan Kumarb, 2018). Dalam proses FDM, lebar *Raster* adalah parameter yang sangat mempengaruhi akurasi dimensi, rongga internal dan *Finishing* permukaan bagian akhir. Lebar *Raster* digambarkan sebagai jarak antara koordinat utama dua *Raster* di dekatnya (Górski, 2013)

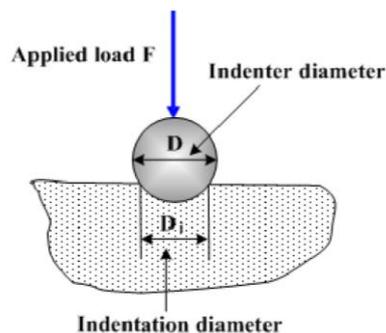
2.5 Kekerasan (*Hardness*)

Analisis kekerasan memberikan kontribusi untuk mengevaluasi perubahan pada sifat mekanik yang dipengaruhi oleh perubahan kimia dan fisik (Mandal, 2001). Kekerasan didefinisikan sebagai properti dari bahan yang memungkinkan bahan untuk menolak deformasi plastik (Satyendra, 2016).

Deformasi spesimen tergantung pada serat yang dicetak yang membentuk lapisan. Sampai sekarang Karakteristik mekanik dari serat dapat diperoleh hanya dari Pengujian Kekerasan. Menemukan karakteristik mekanik dari

lapisan kekerasan adalah Metode yang sederhana dan efektif. Ada metode yang berbeda untuk menguji kekerasan tergantung pada beban yang diterapkan dan *Indenter*. Jenis-jenis Pengujian Kekerasan adalah goresan kekerasan, indentasi statis kekerasan dan kekerasan dinamis. Indentasi statis adalah proses di mana beban diterapkan ke bola *Indenter*. Kekerasan diperoleh dari hubungan antara diterapkan beban dan daerah indentasi (Min dkk, 2002). Apabila bahan tahan terhadap indentasi permanen di bawah beban, maka dikatakan sebagai bahan yang keras (Isaac, 2018)

Dalam kekerasan *Brinell* (gambar 2.3), bola karbida umumnya digunakan sebagai *Indenter*. Beban diterapkan pada *Indenter* dikendalikan untuk jangka waktu pada sampel uji. Dengan mengukur indentasi *Diameter*, kekerasan dapat dihitung dengan menggunakan formula (Kopeliovich, 2014)



Gambar 2.3 *Brinell Hardness Test* [18]

Untuk pengujian kekerasan *Brinell*, kekerasan bahan uji dengan menekan bola baja atau bola *Tungsten Carbide* untuk jangka waktu 10 sampai 14 detik ke permukaan uji logam dengan beban standar F [kgf]. Dari titik itu, *Diameter* d [mm] diukur ketika beban dikeluarkan. Nomor kekerasan *Brinell* HB, diperoleh dengan memisahkan rentang beban terhubung dengan 2 luas permukaan ruang melingkar A [mm]. Dimana d (mm) adalah kedalaman indentasi, D (mm) adalah pengukuran bola. Untuk bahan halus atau keras, pengujian *Brinell* tidak dapat dimanfaatkan. Pengujian ini terbatas pada bahan dengan kekerasan sampai dengan 450 HB dengan *Indenter* bola baja dan 600 HB dengan *Indenter* Bola *Tungsten Carbide* (Wakeel dkk, 2018).

Dengan menggunakan 3D Printer FDM, kekerasan dapat diubah hanya dengan perubahan dalam pola pencetakan (Kumar dkk, 2018). Tipe *Infill* dan

densitas memiliki efek pada nilai kekerasan untuk bagian 3D *Printer*. Lintasan deposisi dan ikatan antar lapisan berbeda untuk pola heksagonal, berlian dan linier. Ini bisa menjadi alasan untuk perbedaan kekerasan (Bögrekcia, 2019)

2.6 Alat Pengujian

2.6.1 Alat Pengukuran Akurasi Dimensi

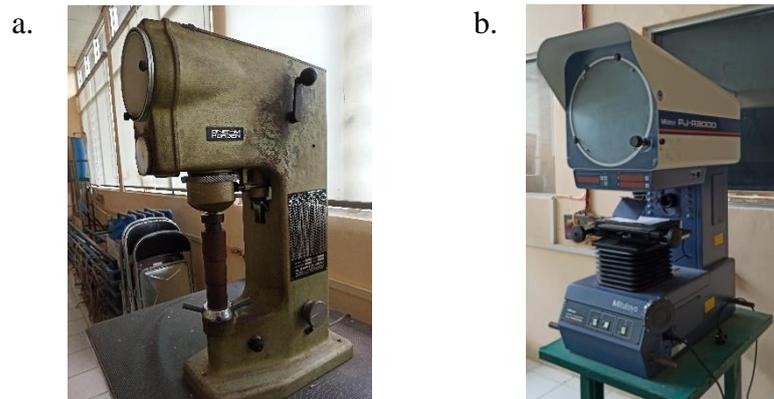
Alat pengukuran penyimpangan akurasi dimensi (*Dimensional Accuration*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ABS Digimatic Caliper Mitutoyo*. Untuk Gambar alat *ABS Digimatic Caliper Mitutoyo* dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 *ABS Digimatic Caliper Mitutoyo* [24]

2.6.2 Alat Uji Kekerasan

Alat uji Kekerasan (*Hardness*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ALBERT GNEHM HORGEN* dan *Profile Projector PJ-A3000 Mitutoyo*. Untuk alat *ALBERT GNEHM HORGEN* dan *Profile Projector PJ-A3000 Mitutoyo* dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 a. *ALBERT GNEHM HORGEN* dan b. *Profile Projector PJ-A3000 Mitutoyo*

2.7 Alat Rehabilitasi Stroke

Desain dan Fabrikasi Aktuator. Dalam karya ini, kami mengusulkan metode fabrikasi yang mudah dan cepat dari aktuator plastik lunak yang tidak fleksibel. Aktuator terbuat dari lembaran plastik *Electrostatic Discharge* (ESD). Dua lembar plastik ESD diikat bersama oleh tekanan mekanis menggunakan sealer panas untuk membuat aktuator kedap udara. Metode ini memungkinkan pembuatan aktuator yang cepat dan lebih disesuaikan sesuai dengan pengukuran tangan yang berbeda. Spons neoprena (733-6731, Komposisi RS, Singapura), yang mampu mengurangi pembatasan aliran udara di dalam aktuator selama pelenturan jari, dimasukkan di antara lembaran plastik. Konektor berduri dimasukkan ke dalam satu lembar plastik sebelum ikatan panas. Karet lateks dimasukkan ke antarmuka antara plastik dan konektor berduri untuk mencegah kebocoran udara. Pipa plastik dihubungkan ke konektor berduri, dan udara disuplai dari sumber udara ke aktuator melalui pipa plastik (Kai, 2016). Dengan desain seperti Gambar 2.6 di bawah ini.

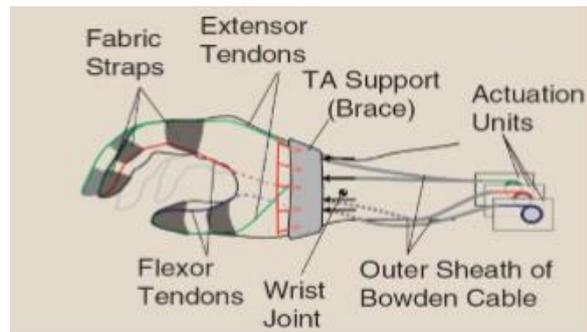


Gambar 2.6 *Design of a Soft Robotic Glove for Hand Rehabilitation of Stroke Patients With Clenched Fist Deformity Using Inflatable Plastic Actuators* [17]

The Exo-Glove mentransmisikan ketegangan tendon ke tubuh dengan cara yang diilhami oleh tangan manusia, di mana tendon mentransmisikan kekuatan otot untuk menginduksi fleksi dan ekstensi jari.

Tiga komponen diperlukan untuk tendon manusia berfungsi dengan baik: 1) penyisipan, 2) asal otot, dan 3) katrol. Otot terhubung ke tendon, dan tendon terhubung ke titik penyisipan mereka dan ke titik asal otot. Katrol adalah ligamentum annular yang menentukan jalur tendon.

Berdasarkan pada struktur tangan manusia, *Exo-Glove* memiliki dua tendon untuk masing-masing jari dan ibu jari, beberapa jenis tali yang bersama-sama membentuk katrol, dan struktur pendukung yang membentuk asal otot. Komponen-komponen ini dirancang untuk mengirimkan kekuatan normal ke tubuh. Untuk menghasilkan lintasan jari yang tepat untuk pengguna yang berbeda, jalur tendon sistem perutean dapat disesuaikan dengan mengubah panjang dan posisi tali pengikat (Cherian dkk, 2018). Dengan desain seperti Gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7 *Exo-Glove: A Soft Wearable Robotic Hand for Stroke Survivors* [6]