BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material

Material adalah suatu zat yang menyusun sebuah benda. Material telah berkembang seiring dengan budaya masyarakat. Material telah memengaruhi seluruh aspek, baik di bidang transportasi, bangunan, produksi, dan industri lainnya. Perkembangan material sangat berkaitan dengan kemampuan manusia dalam mengelola dan mengubah sifat material sesuai kebutuhan mereka [4].

Material padat telah dikelompokkan menjadi tiga klasifikasi dasar: logam, keramik, dan polimer. Material ini dibagi berdasarkan susunan kimiawi dan struktur atom. Selain itu, terdapat komposit yang merupakan kombinasi dari dua atau lebih dari tiga bahan dasar di atas. Klasifikasi lain adalah bahan lanjutan yang digunakan dalam aplikasi teknologi tinggi yaitu. semikonduktor, biomaterial, bahan pintar, dan bahan rekayasa nano [5].

Struktur sel satuan pada material berkaitan dengan susunan komponen internalnya. Struktur subatomik melibatkan elektron di dalam atom individu dan interaksi dengan intinya. Struktur sel satuan material bisa diamati secara mikroskopis jika pengamatan material berfokus pada susunan atom dan reaksi antara elektron dengan inti atom [6].

Struktur sel satuan pada material memengaruhi kondisi dari properti material. Properti material adalah sifat yang ada pada material karena respons tertentu pada material. Respons yang diberikan pada material bisa bersifat mekanis, termal, optik, maupun elektrik. Properti pada material bisa diubah tergantung pada kemampuan manusia dalam mengubah struktur material [7].

Selain struktur dan properti, dua komponen penting lainnya yang terlibat dalam material adalah pemrosesan dan kinerja (*performance*). Berkenaan dengan hubungan keempat komponen ini, struktur suatu material akan bergantung pada

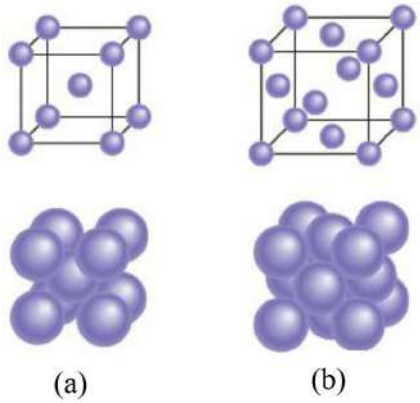
bagaimana itu diproses. Lebih jauh, kinerja material akan menjadi fungsi dari propertinya [8].

Gambar 2.1 Hubungan antara pemrosesan, struktur, properti, dan kinerja (Callister dan Rethwisch, 2013 [8])

2.1.1 Struktur Kristal dan *Unit Cell*

Struktur kristal adalah struktur yang menjelaskan tentang susunan atom, ion, ataupun molekul dalam material kristal. Metode yang mempelajari tentang struktur kristal disebut sebagai kristalografi. Struktur kristal dipengaruhi oleh gaya antar molekul, diantaranya adalah gaya ion, gaya kovalen, gaya Van der Walls, ikatan hidrogen, dan gabungan dari gaya tersebut [9].

Unit cell atau sel satuan adalah struktur unit berulang dari struktur kristal. Sel satuan memiliki berbagai tipe yang disusun oleh *sphere*. *Sphere* tersebut merepresentasikan atom, ion, dan molekul. *Sphere* pada sel satuan juga disebut sebagai *lattice point*. Beberapa contoh sel satuan adalah BCC (*Body Centered Cubic*), FCC, (*Face Centered Cubic*), dan HCP (*Hexagonal Close Packed*) [10].



Gambar 2.2 Gambar unit cell. (a) BCC; (b) FCC (Chang, 2010 [9])

2.2 Metamaterial

Metamaterial adalah material maju yang dibuat dengan mengubah nilai permeabilitas dan permitivitas menjadi negatif. Nilai permeabilitas dan permitivitas metamaterial dapat diubah dengan mengatur sel satuan sehingga dapat mengatur gelombang elektromagnetik [11]. Metamaterial juga disebut sebagai material komposit secara makroskopis dari struktur periodik atau non-periodik, yang memiliki fungsi sesuai susunan dan komposisi kimia [12].

2.2.1 Permitivitas dan Permeabilitas

Permitivitas relatif adalah kemampuan material untuk menyimpan energi listrik dengan pengaruh medan listrik. Permitivitas relatif dapat diukur dengan perbandingan antara dielektrik absolut dan dielektrik vakum. Permitivitas sering disebut sebagai konstanta dielektrik [13]. Permitivitas relatif dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \qquad \ldots\ldots\ldots (2.1)$$

Dimana, ε = Permitivitas (F/m)

ε_r = Permitivitas relatif

ε_0 = Permitivitas vakum (8.854×10^{-12} F/m)

Permeabilitas adalah kemampuan material untuk dapat menghasilkan magnet di wilayah yang ditempati material dalam medan magnet [14]. Permeabilitas memiliki keterkaitan dengan besar medan magnet dan fluks magnetik, Keterkaitan tersebut dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$\boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H} \qquad \ldots\ldots\ldots (2.2)$$

Dimana, **B** = Medan magnet (T)

μ = Permeabilitas (H/m)

H = Rapatan fluks magnetik (Wb)

Permeabilitas relatif adalah perbandingan antara permeabilitas absolut dengan permeabilitas vakum [15]. Permeabilitas relatif dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \ldots\ldots\ldots (2.3)$$

Dimana, μ_r = Permeabilitas relatif

μ = Permeabilitas (H/m)

μ_0 = Permeabilitas vakum ($4\,\pi \times 10^{-7}$ H/m)

2.2.2 Persamaan Maxwell

Persamaan Maxwell adalah persamaan yang menjelaskan tentang fenomena elektromagnetik. Persamaan ini juga menjelaskan fenomena elektrodinamika dengan persamaan yang bergantung pada domain waktu dan spasial (t,x) [16]. Persamaan Maxwell dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$\nabla . \boldsymbol{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad \text{(Hukum Gauss untuk elektrik)} \quad \ldots\ldots\ldots (2.4)$$

$$\nabla . \boldsymbol{H} = 0 \quad \text{(Hukum Gauss untuk magnetik)} \quad \ldots\ldots\ldots (2.5)$$

$$\nabla . \boldsymbol{E} = -\mu \frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t} \quad \text{(Hukum Faraday)} \quad \ldots\ldots\ldots (2.6)$$

$$\nabla . \boldsymbol{H} = \boldsymbol{J} + \boldsymbol{\varepsilon} \frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t} \quad \text{(Hukum Ampere)} \quad \ldots\ldots\ldots (2.7)$$

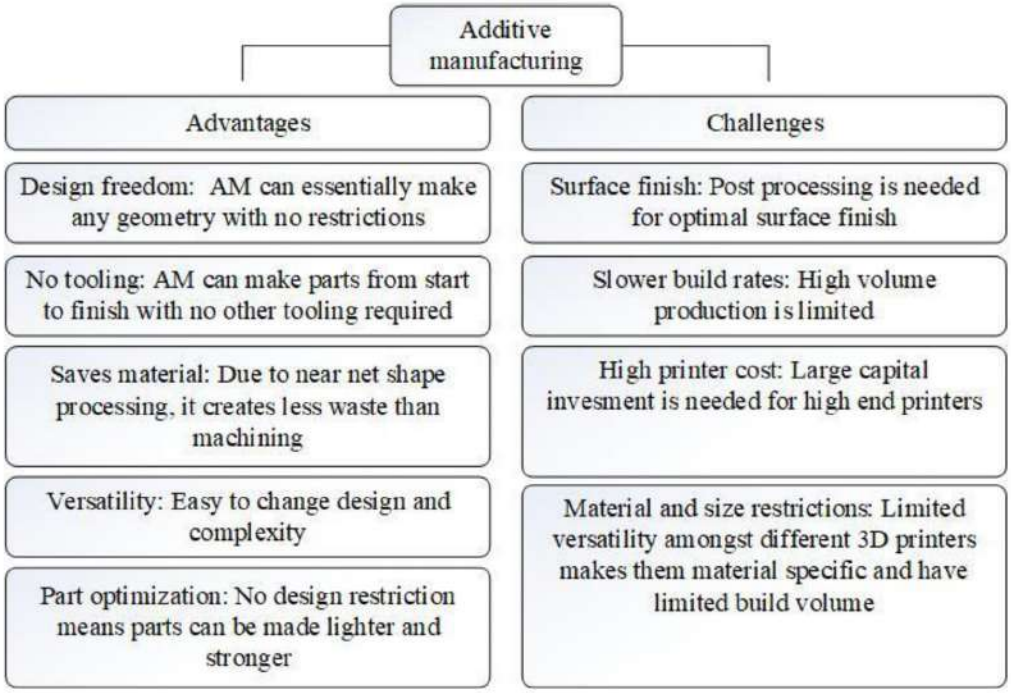
2.2.3 Bentuk sel satuan metamaterial

Metamaterial termasuk material buatan dengan struktur periodik yang tersusun atas sel satuan berjumlah terbatas [17]. Sel satuan pada metamaterial dirancang sesuai kebutuhan dan keinginan pengguna. Beberapa bentuk sel satuan metamaterial adalah *cross*, *split ring*, dan lainnya. Metamaterial dengan bentuk sel satuan berbasis lingkaran sering digunakan dalam banyak aplikasi, seperti pembuatan antena, *biosensor*, radar, dan lain lain [18].

2.3 *Additive Manufacturing*

Additive manufacturing adalah proses manufaktur untuk fabrikasi benda 3 dimensi dengan memanaskan bahan berupa filamen pada *nozzle* kemudian dicetak dengan teknik *layer by layer*. *Additive manufacturing* dimulai pada tahun 1987 oleh Chuck Hull dengan perkembangan alat yang bernama stereolitografi [19].

Teknologi *additive manufacturing* digunakan untuk kepentingan industri. Teknologi ini memiliki banyak keuntungan seperti tidak memerlukan perkakas untuk membuat produk, tidak ada material yang terbuang, tidak terbatas pada desain geometri produk yang kompleks/rumit, serta produk yang dihasilkan ringan dan kuat. Walaupun teknologi ini memiliki banyak keuntungan, teknologi ini juga memiliki beberapa batasan seperti waktu yang digunakan dalam membuat produk sangat lama, ukuran produk yang terbatas, serta biaya printer yang cukup mahal. Teknologi *additive manufacturing* yang digunakan adalah FDM (*Fused Deposition Modeling*) [20].



Gambar 2.3 Kelebihan dan kekurangan *additive manufacturing*
(Bandyopadhyay dan Bose, 2019 [20])

2.3.1 Proses Umum *Additive Manufacturing*

Proses pada *additive manufacturing* secara umum dimulai dari proses CAD hingga proses pembuntukkan produk. Lebih lanjut, *additive manufacturing* memiliki 8 proses yang akan dijabarkan sebagai berikut:

a. CAD (*Computer-Aided Design*)

Proses ini dimulai dengan melakukan desain produk dengan *software*. *Software* tersebut dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi. Software yang digunakan harus berbasis permodelan CAD 3 dimensi (contohnya SolidWorks, Inventor) [21].

b. Konversi CAD kedalam *file* STL

Proses ini dimulai setelah selesai melakukan desain produk dengan bentuk yang diinginkan. Desain produk pada *software* CAD diubah dalam bentuk *file* STL. Hal ini dikarenakan mesin *3D printing* hanya bisa menerima desain dari *file* STL [21].

c. Transfer file STL ke *software* dan mesin *3d printing*

Setelah desain produk diubah dalam bentuk *file* STL, kemudian desain tersebut diubah di *software 3d printing*. Dari *software* tersebut diubah parameter seperti ukuran, posisi, serta orientasi [21].

d. *Set up* mesin

Pada proses *additive manufacturing, set up* mesin diperlukan untuk mendapat produk yang diinginkan. Parameter yang diubah adalah material, temperatur, ketebalan, dan lain lain [21].

e. Pembuatan produk (*bulid*)

Pembuatan produk dilakukan secara otomatis setelah melakukan *set up* pada mesin *3d printing*. Pada proses ini, hanya dilakukan pengamatan untuk menghindari *error* seperti kehabisan material, gangguan *software*, dan lain-lain [21].

f. Pemindahan

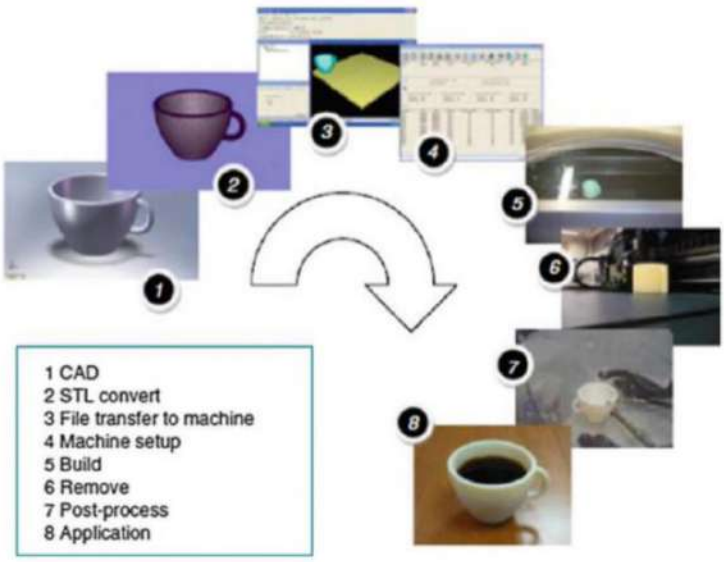
Pemindahan dilakukan setelah mesin selesai membuat produk. Pada tahap ini, pengguna harus berhati-hati ketika memindahkan produk. Pemindahan produk harus dilakukan setelah temperatur mesin menurun dan tidak ada bagian mesin yang bergerak [21].

g. *Post-processing*

Pada tahap ini, proses yang dilakukan adalah pembersihan tambahan sebelum digunakan. Proses ini membutuhkan waktu serta ketelitian untuk mendapatkan produk yang diinginkan [21].

h. Pengaplikasian

Pada tahap ini, produk siap untuk digunakan. Produk yang dibuat biasanya dirakit dengan produk lainnya untuk mendapatkan produk akhir [21].



Gambar 2.4 Proses umum additive manufacturing
(Gibson dkk, 2014 [21])

2.3.2 Filamen pada *Fused Deposition Modelling*

Filamen adalah bahan baku untuk pembuatan produk dengan menggunakan *3d printer*. Filamen biasanya terbuat dari polimer termoplastik dengan diameter 1,75 mm dan 2,85 mm [22].

ABS dan PLA adalah salah satu termoplastik yang digolongkan sebagai terpolimer, karena terdiri dari berbagai jenis senyawa [23]. ABS dan PLA sangat baik digunakan untuk filamen *3d printing* karena memiliki sifat yang ramah lingkungan, penyusutan yang rendah, serta bisa menyerap air [24].

2.4 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang akan menjadi rujukan serta referensi dari tugas akhir ini ditunjukkan pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan tugas akhir

No.	Penulis	Judul Penelitian	Hasil
1	Hao-Bin Zhang, dkk. (2010)	*Electrically conductive polyethylene terephthalate/graphene nanocomposites prepared by melt compounding*	Berdasarkan penelitian didapat: 1. Campuran leleh nanokomposit PET/*graphene* memiliki konduktivitas elektrik yang baik dengan ambang perkoalisi rendah mencapai 0,47%. 2. Konduktivitas elektrik PET adalah 2,11 S/m dengan ambang perkoalisi sebesar 3,0% [25].
2	Rupinder Singh, dkk. (2017)	*Investigations for Thermal and Electrical Conductivity of ABS-Graphene Blended Prototypes*	Berdasarkan penelitian didapat: 1. Peningkatan sifat mekanik, termal, dan elektrik dari ABS-*Graphene* dapat dilakukan dengan melakukan pencampuran secara mekanik. dan secara kimiawi-mekanik. 2. Nilai konduktivitas elektrik dari ABS-*Graphene* adalah 7,05 S/m [26].
3	D.P. Schmitz, dkk. (2018)	*Electromagnetic interference shielding effectiveness of ABS carbon-based composites manufactured via fused deposition modelling*	Berdasarkan penelitian didapat: 1. Korelasi antara konduktivitas elektrik dan viskositas komposit dilihat pada fraksi massa sebesar 3%. 2. Filamen ABS memiliki konduktivitas elektrik dan sifat mekanik yang baik ketika komposisi hibrida antara *carbon nanotube* dan karbon sebesar 50:50

			3. Konduktivitas elektrik, sifat mekanis, dan *efficiency of electromagnetic shield interference* bergantung pada pola cetakan [27].
4	Prince Jain, dkk. (2020)	*Ultra-thin metamaterial perfect absorbers for single/dual/multi-band microwave applications*	Berdasarkan penelitian didapat: 1. *Absorber* berbentuk T dan SI sangat baik digunakan untuk aplikasi *single/dual/multi-band microwave.* 2. Absorber berbentuk SJC sangat baik digunakan pada aplikasi *multi-band microwave* [28].
5	K.S.L. Al-Badri, dkk. (2021)	*Ultra-thin dual-band perfect metamaterials absorber for microwave applications*	Berdasarkan penelitian didapat: 1. Daya serap medan listrik dan magnet pada frekuensi 9,13 GHz adalah 99,35% dan pada frekuensi 11,34 GHz adalah 97,81%. 2. Rasio ketebalan sampel dengan frekuensi 9,13 dan 11,34 GHz adalah 1/82 dan 1/66 [29].
6	Hadi Teguh Yudistira dan Muhammad Asril. (2021)	*High figure of merit cylinder-shaped negative refractive index metamaterial based on paper as dielectric material*	Berdasarkan penelitian didapat: 1. Indeks bias bernilai negatif pada frekuensi 3,4-3,91 GHz. 2. Nilai FoM yang paling besar terdapat pada frekuensi 3,5-3,91 GHz.[30]