

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Penelitian (*State of the Art*)

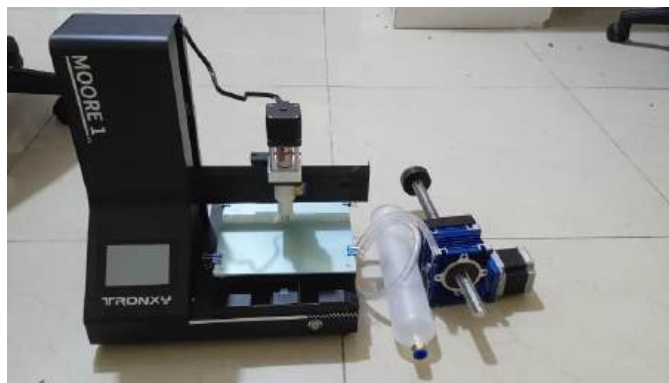
Penelitian ini didasari oleh peneliti sebelumnya (Maulana, Widodo, Nurhayati, & Kholis, 2021) yang berfokus pada perancangan 3D *food printing* berbasis kartesian robot untuk mencetak gambar pada *pancake*. Metode yang digunakan memakai aplikasi *Sketchup* untuk membuat desain mekanik 3 dimensi, shield RAMPS 1.4, dan *software* untuk mendesain dan mengubah gambar ke format *G-code* menggunakan *Inkscape*. Aplikasi pencetakan desain tiga dimensi *Pronterface* juga digunakan. Persentase *error* robot pembuat *pancake* tersebut 2,91%, dengan tingkat presisi sebesar 0,3 cm dan dapat mencetak gambar seperti persegi, lingkaran, dan bintang. Pencetakan 3D makanan umumnya menggunakan metode ekstrusi, dimana metode ini perlu memperhatikan sifat bahan makanan seperti kadar air, kekentalan, reologi, dan sifat termal karena berpengaruh terhadap proses cetak serta kualitas hasil pencetakan (Puspita & Atmiasri, 2023). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah selain mencetak objek atau prototipe makanan menggunakan printer 3 dimensi, juga dilakukan pengujian terkait karakteristik hasil cetak makanan seperti kemampuan cetak, kesesuaian dimensi desain dengan hasil, serta daya serap air.

2.2 Printer 3 Dimensi

Printer 3D merupakan suatu mesin atau alat yang mampu mencetak suatu objek tiga dimensi berdasarkan desain atau rancangan bentuk objek yang ingin dicetak. 3D printer menggunakan kendali numerik atau *Computer Numerical Control* (CNC). Dimana perangkat ini beroperasi secara otomatis untuk membentuk suatu objek berdasarkan kode pemrograman yang digunakan berupa alfanumerik (terdiri dari alfabet/huruf dan numerik/bilangan) yang dipakai untuk menuliskan perintah beserta posisi relatif *tool* terhadap benda kerjanya atau biasa disebut *G-code*. Suatu mesin

yang menggunakan sistem CNC bisa dibilang lebih mudah dan praktis pengoperasiannya dibandingkan dengan mesin manual, dimana untuk mesin CNC operator hanya perlu mengerjakan desain rancangan dan program gerakan *tool*, lalu mesin akan bekerja secara otomatis mengikuti instruksi yang telah dibuat. Maka tidak perlu lagi bantuan operator untuk menggerakkan *tool* secara manual seperti pahat dan lain sebagainya.

Teknologi 3D *printing* termasuk teknologi baru di dalam bidang manufaktur yang biasa disebut dengan metode *additive manufacturing*. Metode ini bekerja dengan cara menumpuk material untuk membuat suatu objek 3 dimensi. Selain itu, dengan menggunakan metode *additive manufacturing* printer 3 dimensi juga mampu membuat objek-objek dengan tingkat kesulitan atau kompleksitas yang tinggi dengan biaya relatif rendah. Teknologi 3D *printing* juga disebut sebagai teknologi *rapid prototyping* karena dapat dengan cepat mencetak objek pada tahap desain prototipe. Pada perkembangan selanjutnya, 3D printer tidak hanya digunakan untuk membuat sebuah prototipe, namun sudah bisa digunakan untuk mencetak objek fungsional (Andriyansyah, Sriyanto, & Jamaldi, 2021).



Gambar 2.1 Printer 3 Dimensi

2.3 3D Food Printing

3D *food printing* menggabungkan ilmu teknik, material, dan kuliner dalam mencetak suatu objek makanan tiga dimensi. Dapat menciptakan makanan dengan struktur yang kompleks, disesuaikan dengan kebutuhan nutrisi tertentu, serta prosesnya yang efisien dinilai dapat mengubah proses produksi industri manufaktur makanan di masa depan. 3D *food printer* membutuhkan

komponen seperti komputer, kontrol unit, dan printer. Tahapan pencetakannya dimulai dari membuat desain gambar 3D menggunakan *software CAD (Computer Aided Design)*, setelah itu melakukan preparasi bahan, lalu memasukkan bahan ke dalam *cartridge*, kemudian printer mulai melakukan pencetakan berdasarkan gambar digital yang telah diperoleh *G-code*-nya menggunakan *software slicing*, selanjutnya melakukan langkah pasca pemrosesan seperti mendinginkan atau memanaskan makanan dan membersihkan printer dari sisa-sisa bahan (Waseem, Tahir, & Majeed, 2024).

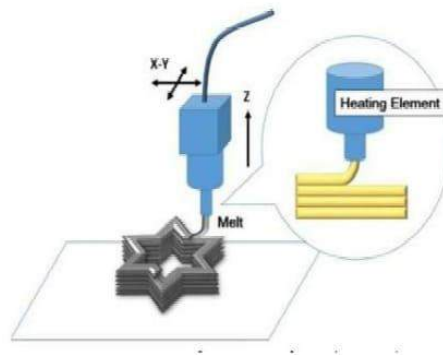
2.3.1 Jenis-Jenis Teknologi 3D Food Printing

Teknologi 3D *food printing* memiliki beberapa metode untuk membuat produk makanan, berikut ini adalah beberapa diantaranya (Pitayachaval, Sanklong, & Thongrak, 2018):

a. *Extrusion-based 3D food printing*

Metode 3D *food printing* jenis ini pada umumnya banyak digunakan karena lebih simpel dan serbaguna untuk berbagai macam bahan makanan, seperti adonan roti, cokelat, makanan pengganti daging, dan pasta sayuran. *Extrusion-based 3D food printing* membentuk suatu model makanan dengan mengekstrusi makanan melalui sebuah *nozzle* dengan tekanan konstan. Pada prosesnya, bahan makanan dimasukkan ke dalam ekstruder (silinder) untuk kemudian diekstrusi atau dikeluarkan melalui *nozzle* dengan tekanan untuk membentuk model makanan lapis demi lapis.

Metode ini cocok untuk material solid maupun pasta asalkan memiliki tingkat viskositas yang rendah. Faktor keberhasilannya terletak pada ketinggian *head printing*, diameter *nozzle*, dan pergerakan *nozzle*. Keuntungan teknologi 3D *food printing* jenis ini adalah biaya pembelian alat yang rendah, bisa digunakan untuk beragam jenis bahan, serta mudah untuk dikustomisasi. Sedangkan kekurangannya ialah tingkat keakuratan yang rendah dan waktu perakitan alat yang lama.

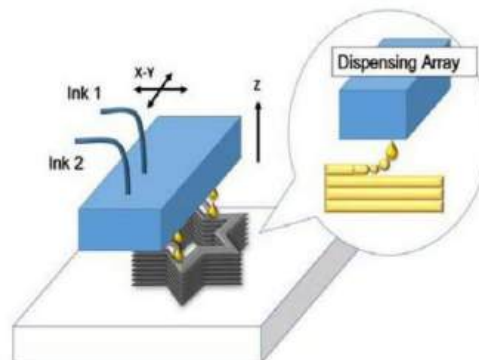


Gambar 2.2 *Extrusion-Based 3D Food Printing*

(Sumber: Pitayachaval, Sanklong, & Thongrak, 2018)

b. *Inkjet-based 3D food printing*

Pada metode ini, bahan makanan dimuat dalam *print head* untuk kemudian dipanaskan oleh aliran listrik untuk membentuk tekanan yang akan mendorong droplet dari *nozzle*. Material yang cocok untuk metode ini adalah bahan cair dengan viskositas rendah. Faktor keberhasilannya terletak pada temperatur *print head*, diameter *nozzle*, dan kecepatan pencetakan. Keuntungan metode ini adalah tingkat keakuratan dan resolusi yang tinggi, tidak ada material yang terbuang, dan prosesnya cepat. Sementara kekurangannya adalah dapat merusak hasil cetak ketika pasca pemrosesan.

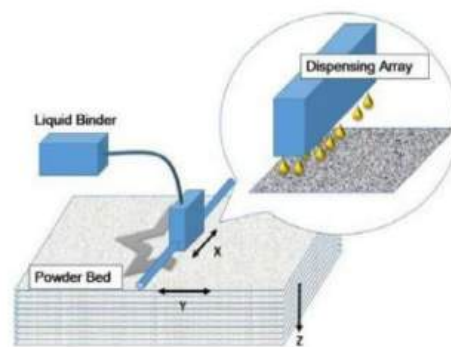


Gambar 2.3 *Inkjet-Based 3D Food Printing*

(Sumber: Pitayachaval, Sanklong, & Thongrak, 2018)

c. *Binder jetting 3D food printing*

Metode ini menggunakan bahan pengikat (*binder*) untuk mengikat lapisan bubuk guna menciptakan suatu model objek. Makanan secara bertahap diendapkan ke permukaan *powder bed* melalui *nozzle*. Material berbasis bubuk serta cairan dengan viskositas rendah cocok digunakan pada metode *3D food printing* jenis ini. Faktor keberhasilan ada pada tipe *head*, diameter *nozzle*, dan ketebalan lapisan. Keuntungan metode ini adalah proses produksi cepat dan bisa dipakai untuk makanan dengan bentuk kompleks. Sedangkan kekurangannya ialah tekstur produk yang dihasilkan kasar serta diperlukan pembersihan *moisture* atau meningkatkan kekuatan *binder jetting* ketika pasca pemrosesan.



Gambar 2.4 *Binder Jetting 3D Food Printing*

(Sumber: Pitayachaval, Sanklong, & Thongrak, 2018)

2.3.2 Karakterisasi Material 3D Food Printing

Produk hasil *3D food printing* perlu dianalisa materialnya untuk mendapatkan hasil terbaik. Berikut ini beberapa karakteristik material *3D food printing* (Waseem, Tahir, & Majeed, 2024):

a. Reologi

Reologi merupakan bidang ilmu yang mempelajari aliran dan deformasi pada objek ketika dikenakan gaya atau tekanan. Kajian ilmu reologi sangat penting untuk menganalisa material pada *3D food printing*. Pokok bahasannya berkaitan dengan pemeriksaan karakteristik perilaku yang ditunjukkan oleh material cetakan ketika

mengalami beragam tekanan dan tegangan. Karakteristik fundamental reologi meliputi viskositas, tegangan geser, dan laju geser. Pemahaman tentang karakteristik aliran bahan sangat penting untuk mengoptimalkan pengaturan pencetakan dan pencapaian bentuk yang akurat dalam konteksnya makanan yang dicetak.

b. Tekstur

Konsep tekstur mengacu pada kualitas sentuhan atau karakteristik permukaan suatu objek atau material, mencakup juga sifat fisik. Melalui analisis tekstur, peneliti dapat memastikan tingkat kemiripan antara makanan yang dicetak (*printed food*) dengan makanan konvensional yang setara. Metode seperti mikroskop dan penilaian sensorik sangat penting dalam pemeriksaan tekstur produk makanan cetak 3 dimensi.

c. Sifat fisiko kimia

Karakteristik fisiko kimia menjelaskan terkait susunan kimiawi komponen cetakan dan interaksinya sepanjang proses pencetakan. Komponen ini meliputi pemeriksaan komposisi molekul, transformasi kimia, dan perubahan yang timbul pada bahan akibat proses pencetakan dan pemasakan. Sifat fisiko kimia komposisi bahan makanan yang digunakan pada *3D printing* berdampak langsung pada kemampuan cetak dan aspek nutrisi produk akhir. Sebagai contoh, kadar air bahan makanan mempengaruhi perilaku aliran dan kemampuan ekstrusinya selama pencetakan. Lemak dan protein bisa mempengaruhi tekstur akhir dan rasa dari produk makanan yang dicetak.

d. Analisis struktural

Proses analisis struktural memerlukan pemeriksaan dan eksplorasi konfigurasi interior dan penataan sistematis makanan yang dicetak. Metode seperti *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan tomografi *X-ray* menawarkan kontribusi yang signifikan dalam menjelaskan arsitektur tiga dimensi makanan yang dicetak.

Pemahaman ini membantu dalam mengoptimalkan desain makanan dalam hal estetika.

e. Aktivitas dan distribusi air

Topik tentang distribusi air cukup penting untuk beberapa disiplin ilmu dan bidang studi. Alokasi air yang merata dan efisien adalah aspek penting dalam pembangunan berkelanjutan. Alokasi kandungan air dalam makanan yang diproduksi oleh *3D printing* adalah hal penentu yang secara signifikan mempengaruhi kualitas keseluruhannya. Kadar air dan distribusinya mempengaruhi tekstur, rasa, dan umur simpan makanan.

f. Analisis karakteristik morfologi

Proses karakteristik morfologi memerlukan analisis bentuk eksterior dan atribut visual keseluruhan dari produk yang dicetak. Fitur ini terdiri dari karakteristik visual hasil akhir dan lapisan serta pola berbeda yang dihasilkan selama proses pencetakan. Penggunaan analisis morfologi sangat penting dalam menjamin daya tarik estetika dan kesehatan struktural produk pangan.

2.4 Mi

Mi adalah produk pangan yang terbuat dari terigu dengan atau tanpa penambahan bahan pangan lain. Karbohidrat yang terkandung di dalam mi relatif tinggi, hal itu yang membuat produk mi digunakan sebagai sumber energi. Di benua Asia sendiri, sekitar 40% konsumsi gandum adalah untuk produk mi. Bahkan di Indonesia, mi telah dijadikan bahan pangan alternatif pengganti beras karena memiliki rasa yang enak dan mengenyangkan.

Adapun produk mi yang beredar di pasaran berdasarkan tahap penyajian dan kadar airnya yaitu terdiri dari mi basah dan mi kering. Mi basah adalah mi mentah yang sebelum dipasarkan mengalami proses perebusan dalam air mendidih, dengan kadar air sekitar 35% dan setelah direbus kadar airnya meningkat menjadi 52%. Kadar air yang relatif tinggi mengakibatkan umur simpan menjadi cukup singkat (Billina, Waluyo, & Suhandy, 2014). Sementara mi kering diperoleh dengan cara mengeringkan mi basah, dimana

pada umumnya proses pengeringan dilakukan menggunakan oven ataupun proses penggorengan. Mi kering adalah mi yang telah mengalami pengeringan sampai kadar air mencapai 8 – 10%, tahan untuk disimpan dalam waktu yang lama hingga kurang lebih 3 bulan. Hal tersebut disebabkan karena kandungan airnya rendah sehingga sulit untuk ditumbuhi jamur dan kapang (Purnamasari, Meidinariasty, & Hadi, 2019).

Masing-masing jenis mi memiliki karakteristik yang berbeda-beda, baik dari segi kadar air, protein, karbohidrat, maupun kriteria uji lainnya. Produk mi berbahan dasar tepung terigu telah melekat kuat pada masyarakat, sehingga terobosan-terobosan mi baru selalu dibandingkan dengan mi terigu. Tepung sebagai bahan baku pembuatan mi harus memenuhi persyaratan fisiko kimia tertentu seperti kandungan abu, protein, amilose, serta viskositas yang mewakili sifat lekat dan kelenturan pati dalam tepung. Karakteristik seperti kekerasan mi dan warna mi tergantung pada kandungan protein dalam mi, serta kadar abu berpengaruh buruk terhadap tampilan mi sehingga tepung yang baik sebagai bahan baku mi disarankan mengandung abu kurang dari 1,4% (Rosmeri & Monica, 2013).

2.5 Tepung Mocaf

Tepung mocaf (*Modified Cassava Flour*) merupakan suatu jenis tepung ubi kayu atau singkong yang proses pembuatannya dilakukan dengan cara fermentasi. Proses fermentasi dilakukan minimal selama 12 jam dengan cara menambahkan suatu jenis mikroba tertentu seperti *lactobacillus plantarum*, *lactobacillus casei*, dan lain-lain secara langsung pada irisan singkong. Karakteristik tepung mocaf berbeda dengan tepung dari olahan singkong lainnya seperti tepung tapioka dan tepung gaplek. Dimana, untuk karakteristik tepung mocaf lebih dekat dengan tepung terigu sehingga dapat digunakan sebagai substitusi tepung terigu untuk pembuatan produk mi, *cookies*, roti, dan lain sebagainya (Asmoro, 2021).

Tepung mocaf juga bebas gluten sehingga cocok dikonsumsi oleh penderita *cilliac disease* atau gangguan saluran pencernaan. Untuk pembuatan mi diperlukan jenis tepung dengan kadar protein tinggi yang

berfungsi untuk membentuk tekstur mi. Tetapi, kadar protein yang terkandung di dalam tepung mocaf cukup rendah bila dibandingkan dengan tepung terigu. Oleh karena itu, diperlukan bahan lain untuk meningkatkan karakteristik mi yang dihasilkan. Menurut (Asmoro, 2021) produk mi yang umumnya berbahan dasar tepung terigu dapat disubstitusi dengan tepung mocaf dengan besaran persentase substitusi 20-40%.

Tepung mocaf dibuat melalui proses yang cukup panjang, meliputi tahap pengupasan, penimbangan, pencucian, pemotongan, perendaman (fermentasi), pengeringan, penepungan, dan pengayakan. Dimana dalam tahapan fermentasi bisa dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya fermentasi menggunakan stater, ragi tape, serta fermentasi alami. Durasi waktu fermentasi mempengaruhi kualitas tepung mocaf yang dihasilkan. Selain itu, karakteristik tepung mocaf juga dipengaruhi oleh jenis kultur yang ditambahkan pada saat proses fermentasi, lama waktu fermentasi ubi kayu juga dipengaruhi oleh penambahan kultur (Yani & Akbar, 2018).



Gambar 2.5 Tepung Mocaf

(Sumber: muarabangkahulu-pkm.bengkulukota.go.id)

2.6 Glukomanan

Glukomanan atau dikenal dengan nama *Konjac Glucomannan* (KGM) merupakan bahan yang banyak terkandung pada umbi porang. Tanaman porang (*Amorphophallus sp.*) merupakan tanaman yang hidup di hutan tropis dan banyak terdapat di wilayah Indonesia, memiliki kadar glukomanan sekitar 64,98%. Glukomanan merupakan polisakarida dari jenis hemiselulosa yang terdiri dari ikatan rantai galaktosa, glukosa, dan mannosa. KGM banyak digunakan sebagai makanan tradisional di Asia seperti mi, tahu, dan agar-

agar. Tepung konjak juga merupakan salah satu makanan sehat dari Jepang yang dikenal dengan nama konyaku. Beberapa manfaat dari tepung konjak atau KGM adalah mengurangi kolesterol darah, memperlambat pengosongan perut, mempercepat rasa kenyang sehingga cocok untuk makanan diet dan bagi penderita diabetes, sebagai pengganti agar-agar dan gelatin (Aryanti & Abidin, 2015). Glukomanan juga diketahui dapat digunakan sebagai peningkat tekstur makanan pada olahan daging, roti, mi, dan pasta serta sebagai pengikat kolesterol pada olahan roti dan produk dalam kapsul.

Glukomanan merupakan komponen serat larut yang dinilai cukup baik untuk memperbaiki karakteristik mutu mi gluten *free* (bebas gluten). Gluten adalah protein yang terdapat pada beberapa bahan pangan golongan sereal, seperti tepung terigu. Pada beberapa orang, mengonsumsi gluten dapat mengakibatkan kerusakan usus halus sehingga terjadi gangguan pada saluran pencernaan atau biasa disebut *Celiac Disease* (CD). Di samping itu, penelitian Ghalichi et al., (2016) menunjukkan bahwa terjadi penurunan perilaku autis yang signifikan pada penerapan diet bebas gluten dibandingkan dengan diet biasa. Untuk itu, glukomanan diharapkan mampu menggantikan gluten pada produk mi yang lebih menyehatkan.

Glukomanan yang diperoleh dari umbi porang perlu dilakukan ekstraksi untuk memisahkan glukomanan dari senyawa-senyawa lain yang kurang dibutuhkan, seperti pati, serat, dan protein. Proses ekstraksi glukomanan umumnya menggunakan etanol karena aman digunakan dalam bidang pangan. Hanya saja, ekstraksi dengan etanol masih belum memberikan hasil glukomanan dengan rendemen yang tinggi. Untuk itu, pengembangan-pengembangan terkait metode ekstraksi atau pemurnian glukomanan terus dilakukan untuk mendapatkan kadar glukomanan yang lebih tinggi dan menjadi metode yang lebih efisien (Fatmawati, Nurgraheni, & Setyani, 2016).



Gambar 2.6 Tepung Glukomanan
(Sumber: fp.unila.ac.id)

2.7 Fluida Non-Newtonian

Fluida dapat diartikan sebagai zat yang mengalami deformasi secara terus-menerus ketika dikenai tegangan geser. Ditinjau dari tegangan geser yang dihasilkan, maka fluida dibagi menjadi dua jenis yaitu fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian. Untuk fluida Newtonian tidak mengalami perubahan nilai viskositas ketika terjadi gaya yang bekerja padanya, viskositas fluida jenis ini hanya akan berubah ketika terjadi perubahan temperatur. Sementara fluida non-Newtonian akan mengalami perubahan viskositas ketika ada gaya yang bekerja, bisa berupa tegangan geser (*shear stress*), gradient kecepatan (*shear rate*), dan temperatur. Dapat diartikan pula bahwa viskositas dari fluida non-Newtonian dapat berubah seiring dengan waktu. Sebagai contoh dari fluida jenis ini ialah adonan, cat, pelumas, lumpur, darah, bubur kertas, dan lain sebagainya. Secara umum, gas dan cairan cenderung bersifat Newtonian, sedangkan hidrokarbon berantai panjang yang kental mungkin bersifat non-Newtonian.

Berikut ini adalah beberapa model pendekatan untuk fluida non-Newtonian:

a. *Bingham plastic*

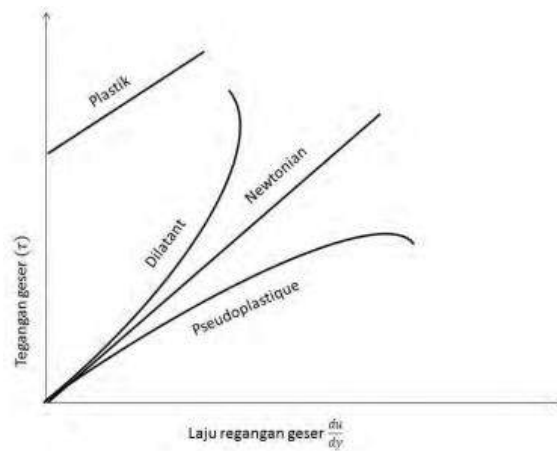
Bingham plastic merupakan suatu pemodelan pendekatan fluida non-Newtonian dimana nilai *shear stress* mempengaruhi viskositas fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan semakin konstan.

b. *Pseudoplastic*

Pseudoplastic merupakan suatu pemodelan pendekatan fluida non-Newtonian dimana nilai *shear stress* fluida ini cenderung meningkat namun viskositasnya menurun. Contoh fluida dari jenis ini yaitu *vinil acetat/vinylpyrrolidone co-polymer (PVP/PA)*.

c. *Dilatant*

Dilatant merupakan suatu pemodelan pendekatan fluida non-Newtonian dimana nilai *shear stress* dan viskositas fluida ini cenderung meningkat. Contoh fluida dari jenis ini yakni pasta.



Gambar 2.7 Kurva Tegangan Geser Fluida Newtonian dan non-Newtonian
(Sumber: Potter & Wiggert, 2008)