

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang dan Masalah

Indonesia kaya akan sumber daya alam, menjadikannya negara dengan keanekaragaman hayati. Hal ini menyebabkan banyak kekayaan alam yang belum mendapat perhatian maksimal dan belum tereksploitasi. Salah satu komoditas yang dimiliki Indonesia yaitu umbi porang, namun umbi porang lebih banyak menarik perhatian negara lain dibandingkan negaranya sendiri.

Berdasarkan data *Indonesia Quarantine Full Automatic System (IQFAST)* atau Badan Karantina Pertanian (Barantan), ekspor porang Indonesia mencapai 14,8 ribu ton pada 2021. Jumlah tersebut melebihi volume ekspor pada 2019 secara total sebesar 5,7 ribu ton. Ini menunjukkan peningkatan 160% dalam aktivitas ekspor. Beberapa negara ekspor utama Indonesia adalah Cina, Vietnam, dan Jepang.

Umbi porang kaya akan nutrisi, salah satunya adalah glukomanan sebesar 45-65%. Glukomanan merupakan zat berupa gula kompleks dan serat larut yang merupakan sumber terbesar di Indonesia dan konon berasal dari tanaman porang. Glukomanan, yang digunakan dalam industri makanan, mampu menyerap air dengan sempurna dan merupakan salah satu serat makanan paling kental dan memiliki efek pembentuk gel. Hingga saat ini, telah digunakan untuk pengikat, pengental, pengganti pengawet dan pengganti lemak (Team, honedoct editorial. 2020). Kandungan gizi yang dimiliki oleh porang, seperti kadar air 83,30%, protein 0,92%, pati 7,65%, mineral, vitamin, dan serat 2,50% sangat bermanfaat bagi tubuh saat dikonsumsi.

*Fermented porang flour* adalah tepung yang diperoleh dari porang (*Amorphophallus oncophyllus*) yang telah melalui proses fermentasi. Umbi porang memiliki kandungan pati yang tinggi dan dapat diolah menjadi tepung dengan kualitas yang baik. *Lactobacillus plantarum* dapat menghasilkan enzim oksalataase. Enzim ini berperan dalam menguraikan oksalat menjadi senyawa yang kurang berbahaya, seperti asam format. Dengan demikian, fermentasi

menggunakan bakteri *Lactobacillus plantarum* pada tepung porang dapat mengurangi kadar oksalat yang ada dalam produk tersebut.

Untuk mengoptimalkan proses fermentasi porang menggunakan *Lactobacillus plantarum*, diperlukan desain dan penggunaan bioreaktor yang tepat. Bioreaktor adalah wadah atau sistem yang digunakan untuk mengkultur mikroorganisme dalam kondisi yang terkontrol. *Scale up* fermentor, seperti jenis bioreactor dan ukuran bioreaktor, akan sangat mempengaruhi hasil fermentasi, kualitas produk, serta efisiensi proses.

Pada bioreaktor dengan skala yang lebih besar membutuhkan adanya perkiraan kondisi proses dan peralatan yang akan digunakan. *Scale-up* bioreaktor merupakan langkah dalam meningkatkan kapasitas produksi dan efisiensi proses fermentasi. Peningkatan skala produksi memungkinkan pemanfaatan sumber daya secara lebih optimal. Dalam penentuan geometri peralatan yang akan digunakan khususnya bioreaktor. Penentuan kondisi operasi akan digunakan persamaan matematika *scale up* berdasarkan karakteristik *Lactobacillus plantarum* sehingga dapat menghasilkan kondisi yang optimal dalam proses fermentasi. Dalam prediksi proses pada skala besar fenomena kinetika proses pada skala kecil juga menjadi parameter yang sangat penting yang harus dipertimbangkan pada skala besar.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengoptimasi waktu fermentasi dan konsentrasi bakteri *Lactobacillus plantarum* untuk menurunkan kadar oksalat *fermented porang flour*.
2. Merancang desain dan *scale up* fermentor untuk pembuatan *fermented porang flour* dengan bakteri *Lactobacillus plantarum*

## 1.3 Kerangka Pemikiran

Umbi porang adalah jenis umbi-umbian yang berasal dari tanaman *Amorphophallus muelleri*, yang tumbuh di daerah tropis seperti Indonesia, Papua Nugini, dan Australia. Umbi porang adalah sejenis umbi tanaman yang berasal dari genus *Amorphophallus*. Tanaman ini dikenal juga dengan nama porang. Umbi Porang memiliki bentuk yang mirip dengan bawang atau kentang, tetapi

berbeda dalam tekstur dan komposisi kimianya. Dalam industri pangan, umbi porang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan makanan dan minuman. Salah satu produk yang populer, yaitu tepung umbi porang. Umbi porang mengandung zat glukomanan yang tinggi, yaitu jenis serat larut yang memiliki sifat *gelatinous* dan mampu menyerap air dengan baik.

*Fermented porang flour* adalah tepung yang dihasilkan melalui proses fermentasi umbi porang. Fermentasi adalah proses biokimia di mana mikroorganisme seperti bakteri, ragi, atau jamur digunakan untuk mengubah substrat menjadi bentuk yang lebih berguna atau bernilai tambah. Dalam hal ini, umbi porang diolah menggunakan mikroorganisme tertentu untuk menghasilkan tepung porang yang telah difermentasi. Proses fermentasi dapat memiliki beberapa keunggulan dalam mengurangi kadar oksalat pada porang. Selama proses fermentasi, enzim-enzim yang hadir dalam mikroorganisme yang terlibat dapat memecah oksalat menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti asam oksalat. Kemudian asam oksalat yang merupakan senyawa lebih sederhana dapat larut dalam air. Selama fermentasi, mikroorganisme dapat menghasilkan asam organik seperti asam laktat. Keasaman yang dihasilkan oleh asam organik ini dapat membantu mengurangi kadar oksalat dalam porang. Fermentasi ini berlangsung sesuai dengan rancangan percobaan menggunakan metode RSM. Fermentasi menggunakan *Lactobacillus plantarum* dilakukan untuk menghilangkan kadar oksalat pada umbi porang yang menghambat penyerapan nutrisi oleh tubuh. Kemudian setelah difermentasi, umbi porang dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 60°C selama kurang lebih 6 jam.

Bioreaktor dapat mengoptimalkan proses fermentasi dengan pengendalian yang lebih baik terhadap lingkungan reaksi, seperti suhu dan pH. Pengendalian proses penting dilakukan karena bakteri *Lactobacillus plantarum* membutuhkan kondisi yang tepat untuk tumbuh dan menghasilkan produk fermentasi dengan kualitas yang konsisten. Bioreaktor dilengkapi dengan kondisi operasi yang dapat mengoptimalkan proses fermentasi.

#### 1.4 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah bahwa metode menggunakan waktu fermentasi dan konsentrasi *Lactobacillus plantarum* dapat menurunkan kadar kalsium oksalat yang dihasilkan *Ferpof*. Hipotesis ini didasarkan pada asumsi bahwa lama waktu fermentasi mempengaruhi penurunan kadar kalsium oksalat.

*Scale up* fermentor yang sesuai akan meningkatkan efisiensi dalam proses produksi *fermented porang flour*. Efisiensi ini dapat diukur dengan parameter seperti waktu tinggal bakteri dan laju alir. Penggunaan bioreaktor yang tepat dapat mempengaruhi kualitas akhir dari tepung porang fermentasi. Hal ini mencakup komposisi nutrisi yang lebih baik, tingkat kebersihan mikrobiologis yang lebih tinggi, dan potensi peningkatan sifat organoleptik produk seperti aroma, rasa, dan tekstur. *Scale up* fermentor mengontrol proses fermentasi yang akan meminimalisir resiko kontaminasi, menjaga parameter proses pada tingkat yang diinginkan, dan mengurangi variasi hasil produksi.

#### 1.5 Kontribusi

Adapun kontribusi dari penelitian ini yaitu :

- a. Bagi penulis, melatih dan mengembangkan kemampuan dalam bidang penelitian, serta menambah wawasan dan pengetahuan tentang pembuatan *fermented porang flour (Ferpof)* menggunakan bakteri *Lactobacillus plantarum* dan *scale up* bioreaktor.
- b. Bagi pembaca, memberikan informasi mengenai proses pembuatan *fermented porang flour (Ferpof)* menggunakan bakteri *Lactobacillus plantarum* dan *scale up* bioreaktor.
- c. Bagi Politeknik Negeri Lampung, sebagai sumber referensi dan pembelajaran mahasiswa/i mengenai proses pembuatan *fermented porang flour (Ferpof)* menggunakan bakteri *Lactobacillus plantarum* dan *scale up* bioreaktor.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume)

Umbi porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) merupakan tanaman yang tergolong dalam *Araceae*. Umbi porang atau *Amorphophallus muelleri* Blume memiliki bentuk seperti umbi, namun sebenarnya termasuk dalam kategori tuber atau organ yang menyimpan cadangan makanan. *Muelleri* pertama kali ditemui di Kepulauan Andaman (India) dan menyebar di Asia Tenggara melalui Myanmar, kemudian Thailand dan India.

Umbi porang merupakan tumbuhan dengan batang tegak, berwarna hijau bergaris-garis putih, dan umbi di dalam tanah. Porang merupakan umbi tunggal karena hanya menghasilkan satu umbi pada setiap tanaman. Umbi porang dapat berdiameter 28 cm dengan berat sekitar 3 kg, permukaan luar umbi berwarna coklat tua dan bagian dalam berwarna kuning kecoklatan. Umbi porang berbentuk agak lonjong dan memiliki akar serabut. Umbi porang tidak memiliki tempat tumbuh tunas kecuali pada tempat tumbuh batangnya. Umbi porang berwarna keruh dan bisa menimbulkan rasa gatal saat bersentuhan dengan kulit.



Gambar 1. Tumbuhan Porang  
Sumber : Kementerian Pertanian

Umbi porang mengandung karbohidrat, lemak, protein, mineral, vitamin dan serat. Karbohidrat merupakan bagian penting dari umbi porang, terdiri dari pati, glukomanan, serat kasar dan gula reduksi. Kandungan glukomanan pada porang kurang lebih 55% dari bahan kering.



Gambar 2. Umbi porang  
Sumber : Kompas.com

Taksonomi porang menurut Dawam, 2010 dalam Sari, 2015 :

Kingdom	: Plantae
Devisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledonae
Ordo	: Alismatales
Famili	: Araceae
Genus	: <i>Amorphophallus</i>
Spesies	: <i>Amorphophallus muelleri</i>



Gambar 3. Deskripsi tanaman porang  
Sumber : Basunando, 2016

Permasalahan pada porang adalah memiliki kandungan oksalat. Kalsium oksalat adalah senyawa garam yang terdiri dari kalsium dan oksalat. Kalsium oksalat dalam porang umumnya hadir dalam bentuk kristal berbentuk jarum atau prisma. Kristal-kristal ini dapat terakumulasi dalam sel-sel tanaman, terutama pada jaringan epidermis dan jaringan parenkim. Kalsium oksalat dalam porang memiliki peran dalam melindungi tanaman dari serangan hama dan penyakit, serta dalam menyimpan kalsium yang dapat digunakan oleh tanaman. Ketika porang diolah, kristal-kristal kalsium oksalat dapat menyebabkan iritasi pada kulit manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan yang tepat untuk

mengurangi kandungan kalsium oksalat dalam produk porang yang dikonsumsi agar aman untuk dikonsumsi.

Tabel 1. Karakteristik Fisik dan Kima Umbi Porang

Komponen	Kadar (%)
Air	14,60
Abu	1,80
Protein	-
Lemak	-
Kalsium Oksalat	0,19
Glukomanan	3,58

Sumber : Dyah Ayu *et al.*, 2014

## 2.2 Kalsium Oksalat

Ada dua bentuk oksalat, yaitu oksalat larut (asam oksalat) dan oksalat tidak larut (kalsium oksalat). Kalsium oksalat tidak larut dalam air, membuat proses penghilangan kalsium oksalat dari makanan seperti umbi polin menjadi lebih sulit. Oksalat datang dalam bentuk jarum kristal terbungkus kapsul bening berisi cairan (raphides) yang menyebabkan gatal saat tertelan.

Kristal kalsium oksalat pada tanaman merupakan produk buangan dari metabolisme sel yang sudah tidak digunakan lagi oleh tanaman. Banyaknya senyawa asam oksalat yang tidak aktif dalam tanaman berfungsi untuk membantu tanaman dari kelebihan ion kalsium sehingga terbentuklah kristal kalsium oksalat. Oksalat memiliki peran penting dalam porang karena memberikan kontribusi terhadap sifat organoleptik dan tekstur umbi. Selain itu, oksalat juga berperan dalam sistem pertahanan tanaman terhadap serangan hama dan patogen.

Kristal oksalat dalam umbi dapat dihilangkan dengan beberapa langkah sederhana diantaranya melalui proses perebusan dan pengeringan. Kristal kalsium oksalat juga dapat dihilangkan dengan pencucian dan perendaman beberapa kali secara tepat. Berdasarkan sifat senyawa kalsium oksalat yang telah dipaparkan sebelumnya, tidak larut dalam air dan larut dalam asam-asam encer. Bakteri *Lactobacillus plantarum* memiliki kemampuan menghilangkan oksalat dengan

cara menguraikan oksalat pada umbi porang dan menghasilkan enzim untuk menguraikan oksalat.

### 2.3 *Fermented Porang Flour (ferpof)*

Umbi porang (*Amorphophallus oncophyllus*) kaya akan serat larut glukomanan. Kadar glukomanan dalam bentuk tepung porang dapat mencapai 70-90%. Tepung porang berwarna putih susu atau krem sampai kuning kecoklatan. Tepung porang kasar memiliki warna coklat gelap dan sangat gatal. Dilakukan proses fermentasi bakteri *Lactobacillus plantarum* untuk menurunkan kadar kalsium oksalat. *Fermented porang flour* adalah tepung yang dibuat dengan proses fermentasi dengan bahan baku porang. *Ferpof* difermentasi oleh *Lactobacillus plantarum* menghasilkan asam laktat sebagai produk sampingan, yang menurunkan pH lingkungan dan menciptakan kondisi yang tidak menguntungkan bagi pertumbuhan bakteri patogen atau pembusukan.

*Ferpof* memiliki prospek pengembangan yang baik jika dilihat dari ketersediaan bahan baku yang melimpah sehingga kemungkinan terjadinya kelangkaan produk dapat dihindari. *Ferpof* belum banyak dikenal sebagai bahan makanan, oleh karena itu dapat digunakan untuk membuat berbagai olahan makanan. Kelebihan dari *Ferpof*, sebagai berikut :

1. Salah satu keuntungan utama dari *Ferpof* adalah umur simpannya yang lama. Karena dikeringkan, dapat bertahan berbulan-bulan atau bahkan bertahun-tahun tanpa rusak.
2. *Ferpof* dapat digunakan dalam berbagai macam hidangan, dari bubur, roti hingga pancake.
3. *Ferpof* kaya akan karbohidrat, serat, dan protein, menjadikannya sumber energi dan nutrisi yang baik.
4. *Ferpof* secara alami rendah lemak dan bebas gluten, menjadikannya pilihan yang sehat bagi mereka yang ingin mengurangi asupan lemak dan pilihan yang baik bagi mereka yang memiliki penyakit celiac atau intoleransi gluten.

Tabel 2. Syarat Mutu Serpih Porang

Parameter	Satuan	Persyaratan		
		Mutu I	Mutu II	Mutu III
Warna	-	Kekuningan	Kuning Keabuan	Kuning Kehitaman
Kadar Air	%	$\leq 12$	$> 12 - \leq 15$	$> 15$
Kadar Glukomanan	%	$\geq 35$	$20 - < 35$	$15 - < 20$
Kadar Abu	%	$\leq 4$	$> 4 - 5$	$5 - 6,5$
Kadar Oksalat	%	Max 30	Max 40	Max 50

Sumber : SNI 7939:2020

## 2.4 Fermentasi

Fermentasi adalah proses biokimia di mana mikroorganisme seperti bakteri, ragi dan jamur menggunakan enzim untuk mengubah bahan organik menjadi senyawa lain. Proses fermentasi digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti manufaktur makanan dan minuman, farmasi, dan bioenergi.

Fermentasi aerobik mengoksidasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Fermentasi aerobik merupakan proses metabolisme yang menggambarkan penguraian senyawa organik. Oksigen juga diperlukan sebagai substrat untuk enzim yang terlibat dalam reaksi redoks selama fermentasi aerobik. Fermentasi anaerobik adalah proses metabolisme mikroorganisme di mana mikroba menguraikan substrat organik tanpa menggunakan oksigen. Proses ini biasanya terjadi dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan ketersediaan oksigen yang sangat terbatas. Sedangkan, fermentasi anaerobik fakultatif terjadi ketika mikroorganisme dapat melakukan fermentasi di dalam kondisi tanpa oksigen, tetapi juga memiliki kemampuan untuk melakukan respirasi aerobik ketika oksigen tersedia. Dengan kata lain, mikroorganisme ini memiliki kemampuan untuk beralih antara dua jenis metabolisme, tergantung pada ketersediaan oksigen di lingkungannya.

Faktor yang mempengaruhi hasil fermentasi makanan antara lain lama fermentasi dan jenis mikroorganisme yang terlibat. Kedua faktor ini penting karena saling berkaitan. Waktu fermentasi adalah waktu selama mikroorganisme

yang terlibat menjalani pembelahan dan memproses substrat. Waktu yang dibutuhkan untuk setiap organisme akan berbeda-beda tergantung pada spesies dan kondisi lingkungan. Waktu pemotongan untuk sebagian besar organisme adalah 10-60 menit. Jenis pertumbuhan cepat ini disebut pertumbuhan logaritmik atau eksponensial karena memplot logaritma jumlah sel terhadap waktu menghasilkan garis lurus. Namun dalam praktiknya, jenis pertumbuhan eksponensial ini tidak langsung atau berkelanjutan ketika sel dipindahkan ke media pertumbuhan, dan oleh karena itu membutuhkan waktu lebih lama.

Fermentasi dilakukan dengan menggunakan kultur murni atau starter. Jumlah mikroorganisme yang ditambahkan (starter/inokulum) adalah 2-10% dari volume media fermentasi. Penggunaan inokulan yang berbeda dapat menyebabkan variasi dalam proses fermentasi dan kualitas produk. Inokulum adalah biakan mikroba yang diinokulasikan ke dalam media fermentasi pada saat biakan mikroba berada dalam fase pertumbuhan eksponensial. Setiap mikroorganisme memiliki karakteristik yang unik dalam mengolah substratnya sehingga menghasilkan efek yang berbeda-beda (Heldman, 1981).

Mikroorganisme yang mendukung proses fermentasi dapat menghasilkan perubahan yang menguntungkan (produk fermentasi yang diinginkan). Mikroorganisme yang digunakan pada proses fermentasi ini adalah *Lactobacillus plantarum*. *Lactobacillus plantarum* dapat menurunkan pH lingkungan tumbuhnya dan menimbulkan rasa asam yang dapat menurunkan kandungan kalsium oksalat pada tepung porang. Penurunan pH ini menghambat pembentukan kalsium oksalat.

## 2.5 *Lactobacillus plantarum*

*Lactobacillus plantarum* memiliki bentuk batang (bacillus) (0,5-1,5 s/d 1,0-10  $\mu\text{m}$ ), biasanya ditemukan dalam bentuk pasangan atau rantai pendek dan tidak bergerak. *Lactobacillus plantarum* bersifat katalase negatif, aerob atau fakultatif anaerob, mampu mencairkan gelatin, cepat mencerna protein, tidak mereduksi nitrat, memiliki toleransi terhadap asam, dan memiliki kemampuan menghasilkan asam laktat sebagai produk utama dengan temperatur optimal lebih rendah dari 37°C (Salminen, *et al.* , 1993).

Produksi asam laktat oleh *Lactobacillus plantarum* dapat meningkatkan keasaman substrat tersebut. Biasanya, peningkatan keasaman ini diukur dengan persentase, yang merupakan persentase konsentrasi asam laktat dalam substrat. *Lactobacillus plantarum* dapat meningkatkan keasaman sebesar 1,5 sampai 2,0% pada substrat. (Salminen, *et al.*, 1993). Menurut Gyanaranjan Dash *et al.*, (2014). *Lactobacillus plantarum* mampu hidup dengan kondisi oksigen terlarut minimum, namun lingkungan hidup oksigen terlarut untuk *Lactobacillus plantarum* dapat di kontrol pada 5,68 mg/L.

*Lactobacillus plantarum* juga memiliki kemampuan untuk membentuk biofilm, yaitu lapisan pelindung yang terdiri dari polisakarida dan protein. *Lactobacillus plantarum* adalah bakteri fakultatif anaerob, yang berarti dapat bertahan hidup dalam kondisi oksigen rendah atau tanpa oksigen sama sekali. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan asam laktat sebagai produk samping pada *fermented porang flour*. *Lactobacillus plantarum* memiliki toleransi yang tinggi terhadap lingkungan asam dan garam. Ini memungkinkan bakteri ini bertahan dalam saluran pencernaan manusia yang memiliki tingkat keasaman yang tinggi dan kadar garam yang berfluktuasi.

Pertumbuhan *Lactobacillus plantarum* dapat membantu menghambat kontaminasi oleh mikroorganisme patogen dan penghasil racun. *Lactobacillus plantarum* memiliki sifat antipatogenik yang dapat melindungi bahan pangan dari serangan mikroorganisme yang berpotensi merugikan. *Lactobacillus plantarum* juga mempunyai kemampuan untuk menghasilkan bakteriosin yang berfungsi sebagai zat antibiotik. Tandrianto (2014) melaporkan hasil penelitiannya bahwa terjadi peningkatan protein pada Mocaf yang difermentasi menggunakan bakteri *Lactobacillus plantarum*.

Menurut Holt *et al.* (2000), klasifikasi dari *Lactobacillus plantarum* adalah sebagai berikut :

Kingdom : *Bacteria*  
Divisi : *Firmicutes*  
Kelas : *Bacili*  
Ordo : *Lactobacillales*  
Famili : *Lactobacillaceae*

Genus : *Lactobacillus*  
Spesies : *Lactobacillus plantarum*



Gambar 4. *Lactobacillus plantarum*  
Sumber : Rafika *et al.*, 2018

Meningkatkan kultur starter bakteri *Lactobacillus plantarum* dapat dilakukan dengan beberapa cara. Pertama, penggunaan bahan baku yang tepat dapat membantu meningkatkan kultur starter bakteri *Lactobacillus plantarum*. Beberapa bahan baku yang baik untuk meningkatkan kultur starter bakteri *Lactobacillus plantarum* adalah susu, air kelapa, dan tepung singkong. Kandungan gula alami dalam bahan baku tersebut dapat memberikan sumber makanan yang cukup untuk pertumbuhan bakteri *Lactobacillus plantarum*.

Kedua, suhu dan kelembaban yang tepat juga penting dalam meningkatkan kultur starter bakteri *Lactobacillus plantarum*. Bakteri *Lactobacillus plantarum* memiliki rentang suhu optimal yang berbeda-beda tergantung pada jenisnya. Namun, secara umum suhu yang ideal untuk pertumbuhan bakteri *Lactobacillus plantarum* adalah antara 35-40 derajat Celsius. Kelembaban juga harus dijaga agar tidak terlalu rendah atau terlalu tinggi, karena dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri *Lactobacillus plantarum*.

Ketiga, pemilihan metode fermentasi yang tepat juga dapat membantu meningkatkan kultur starter bakteri *Lactobacillus plantarum*. Beberapa metode fermentasi yang sering digunakan adalah fermentasi spontan dan fermentasi menggunakan starter kultur. Metode fermentasi yang tepat akan membantu meningkatkan kultur starter bakteri *Lactobacillus plantarum* dan memberikan hasil yang lebih baik

Selain itu, menjaga kondisi sanitasi dan kebersihan yang baik selama proses fermentasi juga penting untuk meningkatkan kultur starter bakteri, karena

kebersihan yang buruk dapat menyebabkan kontaminasi bakteri lain yang dapat mengganggu pertumbuhan bakteri *Lactobacillus plantarum*.

## 2.6 Bioreaktor

Bioreaktor adalah alat atau wadah yang dirancang khusus untuk mengkultur mikroorganisme atau sel-sel biologis dalam lingkungan yang dikendalikan untuk memfasilitasi proses fermentasi atau produksi bahan biologis lainnya. Bioreaktor merupakan bagian penting dari industri bioteknologi dan berbagai aplikasi lainnya, termasuk produksi pangan, farmasi, dan energi. Dalam konteks fermentasi, bioreaktor digunakan untuk menyediakan kondisi optimal bagi pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme yang terlibat dalam proses.

Pada prinsipnya fermentor harus menjamin pertumbuhan mikroba dan produk dari mikroba di dalam fermentor. Semua bagian di dalam fermentor pada kondisi yang sama dan semua nutrisi harus tersedia merata pada bioreaktor. Masalah utama fermentor untuk produksi skala besar adalah pemerataan medium kultur dalam fermentor. Harus homogen artinya medium kultur harus tercampur merata. Oleh karena itu, wadah perlu didesain sedemikian rupa sehingga proses dalam wadah dapat dimonitor dan dikontrol. Wadah (fermentor) memberikan kondisi lingkungan fisik yang cocok bagi katalis sehingga dapat berinteraksi secara optimal dengan substrat.

Fermentor (bioreaktor) dilengkapi dengan peralatan mekanik dan elektrik, bahkan diantaranya dilengkapi dengan sistem kontrol yang berguna untuk mengontrol faktor-faktor yang berpengaruh terhadap fermentasi. Fermentor berfungsi sebagai suatu tempat yang menyediakan lingkungan yang tepat dan dapat dipantau untuk pertumbuhan dan aktivitas mikroba atau kultur campuran tertentu untuk menghasilkan produk yang diinginkan.

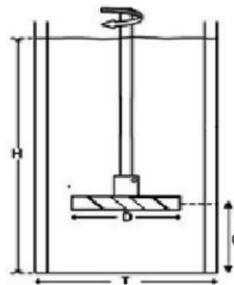
Bioreaktor dilengkapi dengan sistem pengendalian otomatis yang memantau dan mengatur parameter lingkungan seperti suhu, pH, dan ketinggian level. Pengontrolan ini memastikan kondisi lingkungan tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan mikroorganisme atau sel-sel yang dikultur.

Bioreaktor batch adalah jenis bioreaktor atau tangki fermentasi yang digunakan dalam proses fermentasi di mana seluruh proses berlangsung dalam

satu kali muatan atau batch tertentu. Dalam bioreaktor batch, semua nutrisi dan mikroorganisme yang diperlukan dimasukkan ke dalam tangki fermentasi pada awal proses.

Proses fermentasi dalam bioreaktor batch melibatkan tahap pertumbuhan dan produksi yang berlangsung dalam satu siklus tertentu. Setelah persiapan, mikroorganisme diperkenalkan ke dalam bioreaktor dan berkembang biak selama tahap pertumbuhan. Selama tahap produksi, mikroorganisme menggunakan nutrisi yang ada untuk menguraikan substrat menjadi produk yang diinginkan. Setelah proses fermentasi selesai, produk fermentasi dikumpulkan dari bioreaktor, dan proses berhenti hingga dilakukan tahap persiapan untuk proses selanjutnya.

Keuntungan bioreaktor batch adalah kesederhanaannya dalam operasional dan fleksibilitasnya dalam mengubah resep atau parameter proses pada setiap batch. Bioreaktor batch juga cocok untuk produksi dalam jumlah kecil hingga sedang.



Gambar 5. Bioreaktor *batch*  
Sumber : Candrika *et al.*, 2013

## 2.7 Tangki Fermentasi (*Chamber*)

Optimalisasi Bioreaktor merupakan perangkat penting dalam proses fermentasi dan produksi bahan biologis. Bioreaktor terdiri dari beberapa komponen utama yang berperan dalam mendukung dan mengatur proses fermentasi.

Tangki fermentasi, yang juga disebut sebagai chamber, adalah salah satu komponen utama dalam bioreaktor. Tangki fermentasi merupakan wadah atau ruang di dalam bioreaktor di mana proses fermentasi atau kultur mikroorganisme dilakukan. Desain dan ukuran tangki fermentasi dapat bervariasi tergantung pada jenis bioreaktor, skala produksi, dan jenis mikroorganisme yang dikultur.

Tangki fermentasi dibuat dari bahan yang tahan terhadap korosi dan reaksi kimia yang terjadi selama fermentasi. Bahan yang umum digunakan adalah *stainless steel* yang tahan terhadap korosi.



Gambar 6. Tangki bioreaktor  
Sumber : Alibaba

Tangki berbahan *stainless steel* adalah material yang paling umum digunakan dalam pembuatan tangki fermentasi. Baja tahan karat jenis ini memiliki sifat tahan korosi yang sangat baik, sehingga sangat cocok untuk lingkungan yang mengandung cairan fermentasi atau bahan kimia. *Stainless steel* juga mudah untuk disterilkan dan memiliki daya tahan yang tinggi terhadap suhu dan tekanan. *Stainless steel* memiliki permukaan yang halus dan non-poros, sehingga mudah untuk dibersihkan dan disterilkan. Kemampuan ini sangat penting untuk menjaga kebersihan dan mencegah kontaminasi mikroba asing yang dapat merusak proses fermentasi atau menghasilkan produk yang tidak diinginkan. *Stainless steel* memiliki daya tahan yang tinggi terhadap suhu dan tekanan, sehingga cocok untuk digunakan dalam berbagai kondisi fermentasi yang berbeda. Ini memungkinkan tangki fermentasi dengan *stainless steel* digunakan untuk proses fermentasi dengan suhu tinggi atau tekanan tinggi tanpa resiko kerusakan. *Stainless steel* memiliki kompatibilitas yang baik dengan berbagai produk yang dihasilkan dalam proses fermentasi. Tidak ada perpindahan bahan dari material *stainless steel* yang dapat merubah atau mencemari produk fermentasi

Beberapa jenis stainless steel yang umum digunakan untuk bioreaktor meliputi:

1. *Stainless Steel* Tipe 316 (SS316)

Jenis ini sangat umum digunakan dalam aplikasi bioproses. SS316 memiliki ketahanan korosi yang baik dan tahan terhadap serangan asam.

Selain itu, SS316 juga memiliki ketahanan terhadap korosi garam, yang mungkin muncul karena adanya garam dalam media pertumbuhan mikroorganisme. Ketebalan tipikal untuk stainless steel dalam aplikasi industri, termasuk bioreaktor, dapat berkisar antara 1.5 hingga 3 milimeter.

2. *Stainless Steel* Tipe 316L (SS316L)

SS316L adalah variasi dari SS316 yang memiliki kadar karbon rendah, sehingga lebih tahan terhadap korosi sensitasi pada suhu tinggi. Ini menjadikannya pilihan yang baik untuk lingkungan yang membutuhkan ketahanan yang lebih baik terhadap korosi. Pada umumnya, untuk aplikasi industri, termasuk bioreaktor, ketebalan stainless steel 316L berkisar antara 2 hingga 4 milimeter.

3. *Stainless Steel* Tipe 316Ti (SS316Ti)

Jenis ini memiliki tambahan titanium untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi sensitasi pada suhu tinggi. Ketebalan *stainless steel* tipe 316Ti sering berkisar antara 2 hingga 4 milimeter, mirip dengan ketebalan yang umumnya digunakan untuk *stainless steel* tipe 316L. Pemilihan ketebalan yang tepat harus memperhitungkan kekuatan struktural, tekanan operasional, dan persyaratan desain spesifik dari bioreaktor tersebut. Selain itu, standar keamanan dan regulasi industri juga harus diperhatikan.

## 2.8 Perpipaian Bioreaktor

Dalam konteks bioreaktor, perpipaian merupakan sistem saluran atau jaringan pipa yang berfungsi untuk mengalirkan berbagai fluida ke dan dari bioreaktor. Perpipaian merupakan komponen penting dalam bioreaktor karena berperan dalam mengalirkan media nutrisi, aerasi, serta pengeluaran produk fermentasi. Pada penelitian ini, perpipaian dalam bioreaktor digunakan untuk proses pembuatan *Fermented Porang Flour* dengan menggunakan bakteri *Lactobacillus plantarum*.

Pemilihan bahan untuk perpipaian dalam bioreaktor sangat penting untuk menghindari reaksi kimia atau kontaminasi yang dapat mempengaruhi kualitas produk. Bahan perpipaian yang ideal adalah *stainless steel* atau material lain yang

tahan terhadap korosi dan reaksi kimia. Bahan-bahan ini memastikan integritas sanitasi dan kualitas produk .

## **2.9 Sistem Pengendalian Pengadukan**

Sistem pengendalian proses adalah komponen integral dalam operasi bioreaktor untuk memastikan kondisi lingkungan di dalam tangki fermentor tetap optimal dan sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan mikroorganisme atau sel-sel biologis. Sistem ini bertanggung jawab untuk mengontrol aspek penting yaitu pengendalian oksigen. Pengendalian proses yang baik membantu mencapai hasil produksi yang konsisten, efisien, dan aman.

Pengendalian oksigen (oksigen terlarut) dalam fermentor adalah salah satu aspek penting dalam proses fermentasi. Oksigen merupakan faktor penting bagi pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme atau sel-sel biologis yang terlibat dalam proses fermentasi. Pengendalian oksigen yang baik memastikan kondisi oksigen yang sesuai bagi pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme atau sel-sel biologis. Pengendalian oksigen dapat dipergunakan untuk mengarahkan mikroorganisme untuk memproduksi produk metabolit yang diinginkan.

Pengendalian agitasi adalah metode pengendalian oksigen yang mencakup pengaturan kecepatan dan intensitas pengadukan dalam fermentor. Dengan mengatur agitasi yang tepat, oksigen di atmosfer akan terlarut lebih efisien dalam medium cair di dalam fermentor. Kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dapat mengurangi oksigen terlarut karena udara yang masuk ke dalam fermentor dipecah menjadi gelembung-gelembung kecil yang sulit terlarut.

Agitator adalah sebuah bagian dari tangki yang berfungsi sebagai pengaduk. Prinsip kerja dari agitator ini sama seperti mixer pada umumnya yaitu mengaduk fluida dalam tangki dengan blade agitator sebagai pendorong produk yang akan diaduk. Pengadukan adalah operasi yang menciptakan terjadinya gerakan di dalam bahan yang diaduk. Pencampuran adalah suatu operasi yang bertujuan untuk mengurangi ketidaksamaan komposisi, suhu, atau sifat yang lain yang terdapat dalam suatu bahan atau bisa juga pencampuran adalah penggabungan dua atau lebih bahan yang berbeda fase, seperti fluida atau padatan halus dan hal ini bertujuan untuk mengacak yang satu terhadap

yang lain sehingga terjadi distribusi. Pencampuran dapat menimbulkan gerak di dalam bahan itu yang menyebabkan bagian-bagian bahan saling bergerak satu terhadap yang lainnya, sehingga operasi pengadukan hanyalah salah satu cara operasi pencampuran.

Jenis impeller *propeller* biasa digunakan untuk kecepatan pengadukan tinggi dengan arah aliran aksial. Pengaduk ini dapat digunakan untuk cairan yang memiliki viskositas rendah dan tidak bergantung pada ukuran serta bentuk tangki. Kapasitas sirkulasi yang dihasilkan besar dan sensitif terhadap beban head. Pengaduk *propeller* terutama menimbulkan aliran arah aksial, arus aliran meninggalkan pengaduk secara kontinu melewati fluida ke satu arah tertentu sampai dibelokkan oleh dinding atau dasar tangki. Impeller jenis ini dapat dioperasikan pada seluruh range kecepatan. Propeller kecil biasanya berputar pada kecepatan motor penuh, yaitu 1.150 atau 1.750 rpm, propeller besar berputar pada 400 sampai 800 rpm.

Tipe pengaduk *paddle* akan mendorong zat cair secara radial dan tangensial. Arus yang terjadi bergerak keluar ke arah dinding, lalu membelok ke atas atau ke bawah. Paddle merupakan impeller yang paling efektif. Hal ini dapat dilihat dari pola aliran yang ditimbulkan akibat gerakan paddle ke seluruh bagian sehingga molekul yang akan dilarutkan bergerak acak dan homogenitas yang tinggi dihasilkan. Hal ini menyebabkan paddle mempunyai efisiensi yang tinggi. Impeller ini digunakan untuk fluida yang berviskositas 100.000 sampai 1.000.000 cP. Berbagai jenis pengaduk dayung biasanya digunakan pada kecepatan rendah diantaranya 20 hingga 200 rpm.

Pengaduk turbin adalah pengaduk dayung yang memiliki banyak daun pengaduk dan berukuran lebih pendek, digunakan pada kecepatan tinggi untuk cairan dengan rentang kekentalan yang sangat luas. Diameter dari sebuah turbin biasanya antara 30 - 50% dari diameter tangki. Turbin biasanya memiliki empat atau enam daun pengaduk. Turbin dengan daun yang datar memberikan aliran yang radial. Jenis ini juga berguna untuk dispersi gas yang baik, gas akan dialirkan dari bagian bawah pengadukan akan menuju kebagian daun pengaduk lalu tepotong-potong menjadi gelembung gas.

## 2.10 Penelitian Terdahulu

Umbi porang dapat dijadikan salah satu jenis tanaman alternatif sumber bahan pangan karena memiliki kandungan gizi seperti kandungan karbohidrat, protein, serat dan lemak (Anggreany, 2020). Namun, umbi porang memiliki kandungan oksalat yang bersifat gatal jika dikonsumsi. Dalam penggunaan umbi porang sebagai bahan baku pembuatan *Ferprof* diperlukan proses fermentasi dengan starter tertentu agar mendapatkan kualitas kandungan gizi *Ferprof* sesuai dengan SNI 7622-201. Beberapa penelitian mengenai penurunan kadar oksalat dan proses fermentasi dengan starter tertentu pada pembuatan *Ferprof* yang telah dilakukan sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul dan Tahun Penelitian	Hasil
1.	Muh. Agus Ferdian dan Randhiki Gusti Perdana	Teknologi Pembuatan Tepung Porang Termodifikasi dengan Variasi Metode Penggilingan dan Lama Fermentasi (2021)	Penurunan kadar oksalat tertinggi adalah perlakuan metode lama fermentasi 18 jam dengan nilai 62,28%. kadar protein, air adalah 9,34%, 12,50%
2.	Jeffry Tandrianto, Doniarta Kurniawan Mintoko, dan Setiyo Gunawan	Pengaruh Fermentasi pada Pembuatan Mocaf dengan <i>Lactobacillus plantarum</i> terhadap Kandungan Protein (2014).	Kadar protein yang dihasilkan menggunakan <i>Lactobacillus plantarum</i> selama 36 jam yaitu 2,81%. Sedangkan pada 72 jam kadar protein 3,39%.
3.	Yeni Sulastri, Zainuri, Eko Basuki, Baiq Rien Handayani	Pengaruh Fermentasi Terhadap Sifat Fisikokimia Tepung Porang (2021).	Fermentasi selama 24 jam menghasilkan karakteristik tepung porang terbaik dengan (rendemen 14,93%; kadar kalsium oksalat 0,83%)

Tabel 4. Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Nama	Judul dan Tahun Penelitian	Hasil
4.	M. O. Oke and I. F. Bolarinwa	<i>Effect of Fermentation on Physicochemical Properties and Oxalate Content of Cocoyam (Colocasia esculenta) Flour</i> (2011).	Kalsium oksalat berkurang secara signifikan; pengurangan terbesar diamati pada fermentasi 48 jam, yang mengurangi kadar oksalat sekitar 65%.
5.	Dian Ratna Rianti	Uji Kadar Air, Cemaran logam dan Jumlah Kalsium Oksalat Tepung Porang (2023).	Hasil pengolahan tepung porang menghasilkan jumlah kalsium oksalat 0,16mg/100g yang memenuhi persyaratan.
6.	Ni Putu Ulfi Widhiastiti, Luh Putu Trisna Darmayanti, I Desak Putu Kartika Pratiwi	Pengaruh Lama Fermentasi dengan <i>Lactobacillus plantarum</i> terhadap Karakteristik Fisikokimia dan Fungsional Tepung Biji Durian ( <i>Durio zibethinus</i> Murr) (2022).	Lama fermentasi 48 jam dengan <i>Lactobacillus plantarum</i> menghasilkan tepung biji durian terfermentasi terbaik dan sesuai dengan standar mutu terigu sesuai SNI 01-3751- 2009
7.	Tatik Handayani, Yaya Sulthon Aziz, Depit Herlinasari	Pembuatan Dan Uji Mutu Tepung Umbi Porang ( <i>Amorphophallus Oncophyllus</i> Prain). (2020)	Uji kadar kalsium oksalat setelah reduksi pada tepung diperoleh hasil 0,0009 mg/100 g yang berarti memenuhi syarat sebesar 71 miligram/100g

Tabel 5. Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Nama	Judul dan Tahun Penelitian	Hasil
8.	Dedin Finatsiyatull Rosida	<i>The effect of fermentation on physicochemical properties of Cocoyam (Xanthosoma sagittifolium) flour using L. plantarum bacteria (2020)</i>	Hasil terbaik dari penelitian ini diperoleh dengan menggunakan bakteri <i>L. plantarum</i> 7% dan waktu fermentasi 96 jam, yang menghasilkan karakteristik fisikokimia kadar air 8,28%, kadar abu 1,05%, daya kembang 5,78%, kelarutan 51,93%, pati 76,47%