

**Peningkatan Nutrisi Pangan Fungsional Beras lokal khas Toraja Utara
Oryza sativa L. kultivar Pare Ambo' Hitam Berbasis Teknologi Fermentasi
oleh Misellium Jamur Tiram *Pleurotus* spp.**

***Improvement of Functional Nutrients in Local Rice of North Toraja
Oryza sativa L. cultivar Black Pare Ambo' Based on Fermentation Technology by
mycellium of Oyster Mushroom *Pleurotus* spp.***



**MUTHIA LESTARI
H052212005**



**OLAH PASCASARJANA JURUSAN BIOLOGI
; MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

Optimized using
trial version
www.balesio.com

**Peningkatan Nutrisi Pangan Fungsional Beras lokal khas Toraja Utara
Oryza sativa L. kultivar Pare Ambo' Hitam Berbasis Teknologi Fermentasi
oleh Misellium Jamur Tiram *Pleurotus* spp.**

***Improvement of Functional Nutrients in Local Rice of North Toraja Oryza
sativa L. cultivar Black Pare Ambo' Based on Fermentation Technology by
mysellium of Oyster Mushroom Pleurotus spp.***

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Biologi

Disusun dan diajukan oleh

**MUTHIA LESTARI
H052212005**

kepada



**FAKULTAS PASCASARJANA JURUSAN BIOLOGI
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul Peningkatan Nutrisi Pangan Fungsional Beras khas Toraja Utara *Oryza sativa* L. Berbasis Teknologi Fermentasi Oleh *Misellium* Jamur Tiram *Pleurotus* spp. adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. A. Masniawati, M.Si. dan Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di jurnal *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* sebagai artikel dengan judul "Bioactive metabolites, antioxidant, and antidiabetic activities of fermented local rice (Pare Ambo') by *Pleurotus* spp.". Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 5 Juni 2024.

**MUTHIA LESTARI
NIM. H052212005**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

TESIS

PENINGKATAN NUTRISI PANGAN FUNGSIONAL BERAS KHAS TORAJA UTARA
Oryza sativa L. KULTIVAR PARE AMBO' HITAM TERFERMENTASI MISELIUM
JAMUR TIRAM *Pleurotus* spp.

MUTHIA LESTARI

H052212005

telah memenuhi persyaratan untuk mengurus PIN ujian sidang Tesis

pada

Program Studi Magister Biologi
Departemen Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Utama


Dr. Andi Masniwati, M.Si
NIP. 19700213 199603 2 001

Pembimbing Pendamping,

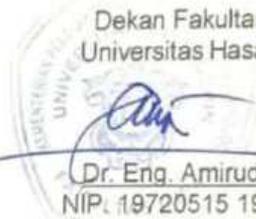
 TT ELEKTRONIK
Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si
NIP. 19770412 200502 1 001

Ketua Program Studi



Dr. Umriah, M.Si
NIP. 19631231 19810 2001

Dekan Fakultas MIPA
Universitas Hasanuddin,



Dr. Eng. Amiruddin, M.Si
NIP. 19720515 199702 1002



Optimized using
trial version
www.balesio.com



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSE, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul Peningkatan Nutrisi Pangan Fungsional Beras khas Toraja Utara *Oryza sativa* L. Berbasis Teknologi Fermentasi Oleh Misellium Jamur Tiram *Pleurotus* spp. adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. A. Masniawati, M.Si. dan Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di jurnal *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* sebagai artikel dengan judul "Bioactive metabolites, antioxidant, and antidiabetic activities of fermented local rice (Pare Ambo') by *Pleurotus* spp.". Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 5 Juni 2024.



MUTHIA LESTARI
NIM. H052212005



Optimized using
trial version
www.balesio.com

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah 'Azza wa Jalla, Maha Agung Allah dengan segala ciptaannya dan Maha indah Allah dengan segala nikmatnya. Kepada-Nya penulis memohon pertolongan dan ampunan-Nya, serta bertaubat kepada-Nya dari segala keburukan. Berkat rahmat dan taufik-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Baginda Muhammad SAW, sebagai sosok manusia suci yang diutus di muka bumi ini sebagai pembawa rahmat bagi seluruh alam semesta.

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains (M.Si.) di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Tesis ini berjudul "Peningkatan Nutrisi Pangan Fungsional Beras khas Toraja Utara *Oryza sativa L.* kultivar Pare Ambo' Hitam Berbasis Teknologi Fermentasi oleh *Misellium Jamur Tiram Pleurotus spp.*". Penulis menyadari dalam menyelesaikan penelitian ini terdapat banyak hambatan dan rintangan yang dilalui, tetapi hal tersebut dapat diatasi karena adanya bantuan dari berbagai pihak sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dan disusun sebagai tesis. Penghargaan khusus penulis sampaikan kepada orang tua tercinta Ayahanda **Muhammad Saad**, Ibunda **Sarmiah**, suami tersayang **Iswanto Hakim**, dan ketiga anak-anak terkasih (**Muh. Fathir Ibtisam**, **Muh. Fahren Mubarak**, **Muh. Fayyadh Hisyam**) dengan segala pengorbanannya, dukungan, dan doa kepada penulis dengan penuh kasih sayang, kesabaran serta senantiasa mengiringi penulis dalam menuntut ilmu dan keberhasilan penulis. Penulis menyadari penghargaan khusus ini tidak mampu membalas segala hal yang telah diberikan oleh ayahanda dan ibunda kepada penulis, untuk adik-adikku Mufida Ulfa, Muh. Fajar Hamzah, Siti Suraya, Adhanan Sultan Maulana dan semua keluarga yang senantiasa memberiku bantuan, motivasi, dan do'a yang tulus serta ikhlas. Semoga Allah SWT memberikan perlindungan, kesehatan dan umur panjang dalam mencapai kesuksesan dan keberkahan setiap perjuangan ini.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibunda **Dr. A. Masniawati, M.Si.** sebagai Pembimbing I yang dengan tulus dan penuh kesabaran memberikan bimbingan, nasehat, semangat serta petunjuk selama menempuh pendidikan di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin dan Ayahanda **Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si.** sebagai Pembimbing II dan selaku Ketua Kelompok Riset "Pengaruh Fermentasi Jamur *Pleurotus* terhadap Kandungan Protein dan Protein Rekombinan Badan Riset dan inovasi Nasional" meluangkan waktu, tenaga dan fikiran dalam memberikan empatan yang sangat berharga bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian di Laboratorium Genomik Badan Riset dan Inovasi Nasional. Semoga Allah SWT memberikan perlindungan, kesehatan dan umur panjang serta berlipat ganda atas segala kebaikan yang diberikan kepada



penulis selama ini.

Penghargaan dan terima kasih juga penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Si. Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya yang telah menerima penulis menjadi mahasiswa di Departemen Magister Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
2. Dr. Eng. Amiruddin, M.Sc. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, beserta jajaran dan staf yang telah membantu dan mengarahkan penulis dalam hal akademik dan administrasi.
3. Dr. Khaeruddin, M.Sc. Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kemahasiswaan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
4. Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si. Wakil Dekan Bidang Perencanaan, Sumber Daya dan Alumni Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
5. Dr. Syahribulan, M.Si. selaku Penguji 1 dan Wakil Dekan Bidang Kemitraan, Riset dan Inovasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
6. Dr. Juhriah, M.Si. selaku Ketua Departemen Magister Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan yang sangat berguna dalam penyempurnaan penelitian dan tesis ini
7. Prof. Dr. Sjafaraenan, M.Si. Penguji II dan penasehat akademik yang telah memberikan nasehat, saran serta arahan yang sangat berguna dalam penyempurnaan penelitian dan tesis ini.
8. Dr. Elis Tambaru, M.Si. Penguji III yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan yang sangat berguna dalam penyempurnaan penelitian dan tesis ini.
9. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Magister Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah membekali penulis dengan berbagai pengetahuan yang tak ternilai harganya.
10. Tim Laboratorium dan staf administrasi Departemen Magister Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan dukungan dan bimbingan serta pelayanan kepada penulis dalam segala urusan terkait dengan penyelesaian tesis.
11. Terima kasih yang tak terhingga kepada kak A. Baso Manguntungi, Pak Jendri Mamangkey dan Pak Herman Irawan selaku pembimbing di Laboratorium yang telah memberikan tenaga, pikiran dan waktunya sehingga dapatkan hasil yang maksimal serta bimbingannya dalam script jurnal dan tesis.
12. Kepada Kelompok Riset Rekayasa Biomedis dan Protein pada Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah kesempatan untuk dapat bergabung pada kelompok riset



tersebut, ada banyak pengalaman dan pelajaran yang tidak didapatkan dibangku perkuliahan terutama keluarga baru.

13. Terima kasih kepada Staf Kelompok Riset Rekayasa Biomedis dan Protein Rekombinan Badan Riset dan inovasi Nasional (BRIN), yang telah membantu dan memberikan tenaga, fikiran dan waktunya dalam melaksanakan penelitian.
14. Rabiyyah Al Adawiyah, Kak Zubaidi Bachtiar, Ilma Mutiara, Meylin Dwivani, Febriyanti Nur Amani, Kak Sheila Chairunnisa, Kak Chindy Nur Roesmita, Rizna Akmaliah, Neta Dhea Putri Ferdyan, Corrina Lailatul Fajri, Dicky Nurahayu, Kak Siswi Sekar Sari, Amelia Lestari, dan Tatenda Calvin Cihombori. Terima kasih atas keceriaan, pengetahuan dan kebersamaan selama kurang lebih 9 bulan di Bogor.
15. Teman-teman Mastoideus (Masyarakat Biologi Unhas 2008). Terima kasih atas dukungan, masukan, saran, kekuatan dalam perjalanan yang tidak mudah ini bagi penulis. Setiap orang ada masanya, setiap masa ada orangnya. Semoga kita sepanjang masa.
16. Khurul Aini Indah Nurjannah, Rifa'atul Mahmudah, Ilya Rezki, Limbo Langi' dan Hardiman Albar. Terima kasih atas kebersamaan yang terjalin sejak menempuh program Master biologi ini.
17. Semua pihak yang tidak sempat dituliskan oleh penulis yang telah membantu selama penulisan tesis ini. Penulis berharap semoga do'a dan bantuan yang telah diberikan mendapat balasan dari Allah SWT dan semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan pengembangan ilmu pengetahuan. Amin Yaa Rabbal Alamin.

Makassar, 5 juni 2024

Penulis



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

MUTHIA LESTARI. Peningkatan Nutrisi Pangan Fungsional Beras khas Toraja Utara *Oryza sativa L.* kultivar Pare Ambo' Hitam Berbasis Teknologi Fermentasi oleh Miselium Jamur Tiram *Pleurotus* spp. (Dibimbing oleh Apon Zaenal Mustopa dan Andi Masniawati).

Pare ambo hitam, varietas beras lokal yang populer di Tana Toraja Utara (Sulawesi Selatan), terkenal akan manfaat kesehatannya, terutama untuk pengobatan diabetes atau pencegahan obesitas karena komposisinya yang kaya antioksidan. Penelitian ini mengeksplorasi hasil fermentasi *Pleurotus* spp. pada beras pare ambo hitam, serta mengkaji transformasi nutrisinya. Analisis proksimat menunjukkan kadar protein kasar (9,67%), lemak kasar (3,36%), dan serat (1,67%) lebih tinggi pada fermentasi *P. cystidiosus* dibandingkan dengan *P. ostreatus* dan *P. djamor*. Aktivitas antioksidan dan antidiabetes juga meningkat secara signifikan pada semua perlakuan fermentasi pada konsentrasi 500 ppm. Beras Pare ambo hitam yang difermentasi oleh ketiga spesies *Pleurotus* mengandung senyawa asam sitrat dan trimetil ester, menunjukkan aktivitas antioksidan dan antidiabetik yang unggul, berinteraksi dengan reseptor antioksidan *NADPH Oxidase 5O0x* (-7,2 kkal/mol) dan reseptor antidiabetik *Alpha Glucosidase 3w37* (-8,2 kkal/mol) dibandingkan dengan sampel yang tidak difermentasi. Profil asam lemak mengidentifikasi 32 senyawa, terutama FAME dengan gugus ester. Fermentasi *P. cystidiosus* dan *P. djamor* menyumbang 20 senyawa, sedangkan *P. ostreatus* menyumbang 18 senyawa. Analisis molekuler docking terbaik melibatkan naftalena, dekahidro-2,6-dimetil, berinteraksi dengan reseptor antioksidan 5O0x dan reseptor antidiabetik 3w37. Deteksi antosianin melalui HPLC pada fermentasi *P. cystidiosus* dan *P. ostreatus* mencatat konsentrasi tertinggi masing-masing sebesar 6.167 dan 6.209. Studi ini menyoroti beras pare ambo hitam sebagai pangan fungsional yang menjanjikan, kaya akan antioksidan alami dan senyawa antidiabetes, yang digarisbawahi adalah potensi hasil fermentasi Jamur tiram *Pleurotus* spp. untuk meningkatkan profil nutrisi dan bioaktivitas varietas padi asli.

Kata kunci: Pare Ambo', biofermentasi, antidiabetes, antioksidan, *Pleurotus*



ABSTRACT

MUTHIA LESTARI. Improvement of Functional Nutrients in Local Rice of North Toraja *Oryza sativa* L. cultivar Black Pare Ambo' Based on Fermentation Technology by Mycellium of Oyster Mushroom *Pleurotus* spp. (supervised by Apon Zaenal Mustopa dan Andi Masniawati).

Black Pare ambo', a local rice variety popular in North Tana Toraja (South Sulawesi), is recognized for its health benefits, especially for those managing diabetes or aiming to prevent obesity due to its antioxidant-rich composition. This study explored the impact of *Pleurotus* spp. fermentation on pare ambo, examining its nutritional transformation. Proximate analysis indicated higher levels of crude protein (9.67%), crude fat (3.36%), and fiber (1.67%) in *P. cystidiosus* fermentation compared to *P. ostreatus* and *P. djamor*. Antioxidant and antidiabetic activities significantly improved in all fermentations at 500 ppm concentration. Pare ambo fermented by all three *Pleurotus* species contained citric acid and trimethyl ester compounds, displaying superior antioxidant and antidiabetic activities, interacting with antioxidant receptor 5O0x (-7.2 kcal/mol) and antidiabetic receptor 3w37 (-8.2 kcal/mol) compared to the unfermented sample. Fatty acid profiling identified 32 compounds, predominantly FAMES with ester groups. *Pleurotus cystidiosus* and *P. djamor* fermentations contributed 20 compounds, while *P. ostreatus* contributed 18 compounds. The best molecular docking analysis involved naphthalene, decahydro-2,6-dimethyl, interacting with antioxidant receptor 5O0x and antidiabetic receptor 3w37. Anthocyanin detection via HPLC in *P. cystidiosus* and *P. ostreatus* fermentations recorded the highest concentrations at 6.167 and 6.209, respectively. This study highlights pare ambo as a promising functional food, abundant in natural antioxidants and antidiabetic compounds, underscoring the potential of *Pleurotus* spp. fermentation to enhance the nutritional profile and bioactivity of indigenous rice varieties.

Keywords: Pare Ambo', biofermentation, antidiabetic, antioxidant, *Pleurotus*



DAFTAR ISI

SAMPUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum Beras Hitam	4
2.1.1 Etnobotani Beras Hitam Khas Toraja <i>Oryza sativa L.</i> kultivar Pare Ambo' Hitam	5
2.1.2 Kandungan Gizi Beras Hitam	6
2.2 Jamur Tiram <i>Pleurotus</i> sp.	7
2.2.1 Jamur Tiram Putih <i>Pleurotus ostreatus</i>	9
2.2.2 Jamur Tiram Merah <i>Pleurotus djamor</i>	10
2.2.3 Jamur Tiram Coklat <i>Pleurotus cystidiosus</i>	10
2.3 Anasis Proksimat.....	11
2.4 Identifikasi Senyawa	12
2.4.1 Senyawa Antioksidan Antosianin.....	12
2.4.2 Senyawa Fatty acid / asam lemak	13
2.4.3 <i>Gass Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	13
2.4.4 High Performamce Liquid chromatoghraphy – Mass Spectrometry (HPLC-MS).....	14
2.4.5 Molecular Docking	16
2.4.6 Analisis Statistik	18
DAFTAR PUSTAKA	19
.....	19



3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	19
3.3 Variabel Penelitian	19
3.3.1 Definisi Operasional Variabel	19
3.4 Alat dan Bahan	20
3.4.1 Alat	20
3.4.2 Bahan	20
3.5 Prosedur penelitian	21
3.5.1 Preparasi sampel	21
3.5.2 Kultivasi Miselium jamur tiram <i>Pleurotus</i> spp.	21
3.5.3 Proses Fermentasi dengan Miselium Jamur Tiram <i>Pleurotus</i> spp.	21
3.5.4 Analisis Proksimat	22
3.5.5 Ekstraksi	22
3.5.5.1 Ekstraksi sampel untuk Penentuan Metabolit Sekunder	22
3.5.5.2 Ekstraksi sampel untuk Penentuan Asam Lemak <i>Fatty acid</i>	22
3.5.6 Identifikasi senyawa	23
3.5.6.1 Analisis profiling Metabolit sekunder	23
3.5.6.2 Penentuan Kandungan Asam Lemak	23
3.5.6.3 Analisis Metabolit Sekunder Antosianin <i>cyandin-3-glucoside</i>	23
3.5.7 Uji Antioksidan 2,2- diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH)	23
3.5.8 Uji antidiabetik (IC50) metode inhibitor α -glukosidase	24
3.5.9 <i>Moleculer Docking/ in silico</i>	24
BAB IV	
HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Kultivasi Miselium Jamur Tiram <i>Pleurotus</i> spp.	26
4.2 Fermentasi Beras Hitam Khas Toraja Pare Ambo' menggunakan Miselium Jamur Tiram <i>Pleurotus</i> spp.	27
4.3 Analisis Proximat	28
4.3.1 Kandungan Berat Kering (%BK)	29
4.3.2 Kandungan Kadar Air (%KA)	30
4.3.3 Kandungan Kadar Abu (%Abu)	31
4.3.4 Kandungan Protein Kasar (%PK)	32
4.3.5 Kandungan Lemak Kasar (%LK)	32
4.3.6 Kandungan Serat Kasar (%SK)	33
4.4 Identifikasi Senyawa	34
4.4.1 Profiling Metabolit Sekunder	34
4.4.2 Analisis Senyawa Antioksidan <i>cyandin-3-glicoside</i> dengan HPLC	43
Asam Lemak	45
2,2- diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH)	50
(IC50) metode inhibitor α -glukosidase	51
<i>Moleculer docking</i>	53
.....	61



5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
Lampiran.....	68



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena pangan fungsional telah menghasilkan paradigma baru bagi perkembangan ilmu dan teknologi pangan, dengan dilakukannya berbagai modifikasi produk olahan pangan menuju sifat fungsional. Pangan fungsional adalah bahan pangan yang mengandung komponen bioaktif mampu memberikan efek fisiologis multifungsi bagi tubuh, antara lain dapat memperkuat daya tahan tubuh, mengatur ritme kondisi fisik, memperlambat penuaan, dan membantu mencegah penyakit. Jenis pangan fungsional yang banyak dikembangkan dan diteliti adalah pangan fungsional yang mengandung antioksidan (Azis et al., 2015). Salah satu pangan fungsional yang memiliki banyak kandungan antioksidan adalah beras hitam (Mangiri et al., 2016) dibanding beras putih dan merah (Hanifah, Nur, 2016)

Selain kadar seratnya yang tinggi beras hitam juga mengandung antosianin yang tinggi sebagai antioksidan (Yuda et al., 2020), beras hitam juga memiliki kandungan nutrisi karbohidrat, lemak, protein, dan mineral (Mangiri et al., 2016). Dengan mengonsumsi pangan kaya Antosianin yang diketahui memiliki sistem pertahanan antioksidan untuk mencegah kerusakan oksidatif dalam tubuh (Jayakumar et al., 2011).

Selain menjadi bahan pangan kemampuan jamur tiram sebagai agen proses fermentasi yang terbukti dapat meningkatkan kandungan gizi suatu bahan pakan maupun pangan, karena dalam proses ini terjadi perombakan substrat oleh agen fermentasi sehingga mampu meningkatkan nilai gizi (Sangadji, 2020).

Peningkatan nutrisi pada bahan makanan dapat dilakukan dengan proses fermentasi menggunakan jamur, bakteri, dan enzim telah terbukti mencapai efisiensi yang lebih tinggi dalam pengayaan protein tanpa mengurangi nutrisi lain (Heidari et al., 2022). Produk fermentasi telah dinikmati di seluruh dunia sejak dahulu kala. Produk fermentasi populer karena atribut sensoriknya yang ditingkatkan dan kemungkinan manfaat kesehatannya, karena mikroorganisme dan perubahan biokimia yang terlibat selama fermentasi (Mishra et al., 2022).

Dengan demikian, peningkatan nutrisi pada beras lokal Toraja Utara, Pare Ambo' hitam, dengan metode fermentasi sehingga diharapkan memiliki s, baik bagi kesehatan masyarakat, perekonomian lokal, dan lingkungan. Melalui kolaborasi lintas sektor dan partisipasi at diwujudkan potensi beras hitam Toraja sebagai sumber trisi dan berkelanjutan.



1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan, masalah yang dirumuskan dalam rencana penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kultivasi miselium jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*)?
2. Bagaimana fermentasi beras lokal, Pare Ambo' hitam, menggunakan miselium jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*)?
3. Bagaimana analisis proksimat pada beras Pare Ambo' hitam terfermenasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*)?
4. Bagaimana aktivitas antioksidan pada beras Pare Ambo' hitam terfermenasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*)?
5. Bagaimana aktivitas antidiabetik pada beras Pare Ambo' hitam terfermenasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*)?
6. Bagaimana kandungan asam lemak pada beras Pare Ambo' hitam terfermenasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*)?
7. Bagaimana profiling metabolit sekunder beras Pare Ambo' hitam terfermentasi jamur tiram *Pleurotus* spp.?
8. Bagaimana analisis molekuler docking potensi antioksidan dan antidiabetik beras Pare Ambo' hitam terfermentasi jamur tiram *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui kultivasi miselium jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*)?
2. Untuk mengetahui fermentasi beras Pare Ambo' hitam menggunakan miselium jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*).
3. Untuk mengetahui analisis proksimat pada beras Pare Ambo' hitam terfermentasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*).



mengetahui aktivitas antioksidan pada beras Pare Ambo' terfermenasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus osus*, dan *Pleurotus djamor*).

mengetahui aktivitas antidiabetik pada beras Pare Ambo' terfermenasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus osus*, dan *Pleurotus djamor*).

6. Untuk mengetahui profiling metabolit sekunder pada beras Pare Ambo' hitam terfermentasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*)?
7. Untuk mengetahui kandungan asam lemak pada beras Pare Ambo' hitam terfermenasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*).
8. Untuk mengetahui potensi antioksidan dan antidiabetik beras Pare Ambo' hitam terfermentasi jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor*) melalui analisis molekuler docking.

1.4 Manfaat Penelitian

- Manfaat Akademis

Penelitian ini dapat informasi baru dalam pengembangan ilmu pengetahuan tentang cara peningkatan nilai nutrisi pangan fungsional pada beras lokal Pare Ambo' hitam khas Toraja Utara dengan menggunakan teknologi fermentasi menggunakan misellium 3 jenis jamur tiram *Pleurotus* spp. yaitu *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus cystidiosus*, dan *Pleurotus djamor* serta potensi senyawa metabolit sekundernya sebagai antidiabetik dan antioksidan.

- Manfaat Praktis

Terbuktinya penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pengembangan pangan fungsional bernilai nutrisi tinggi yang bermanfaat bagi kesehatan baik sebagai bentuk pencegahan ataupun pengobatan alami, serta dapat meningkatkan nilai ekonomi kepada masyarakat dari beras lokal khas sulawesi selatan terkhusus kabupaten Toraja Utara.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Beras Hitam

Beras hitam merupakan varietas beras lokal yang mengandung pigmen warna, berbeda dengan beras putih atau beras warna lain. Beras hitam memiliki pericarp, aleuron dan endosperm yang berwarna merah-biru-ungu pekat, warna tersebut menunjukkan adanya kandungan senyawa antosianin. Beras hitam mempunyai kandungan serat pangan (dietary fiber) dan hemiselulosa masing-masing sebesar 7.5% dan 5.8%, sedangkan beras putih hanya sebesar 5.4% dan 2.2% (Hernawan & Meylani, 2016).

Beras hitam diketahui salah satu jenis beras yang mulai banyak diminati khususnya masyarakat Indonesia yang dikonsumsi sebagai pangan fungsional bagi kesehatan. Beberapa penelitian membuktikan adanya senyawa alami dalam makanan berperan penting dalam pencegahan berbagai penyakit kronis. Pigmen pada beras adalah kelompok senyawa flavonoid yang disebut antosianin. Antosianin bersifat antioksidan yang berefek positif bagi kesehatan. Antioksidan merupakan senyawa yang mempunyai struktur molekul yang memberikan elektronnya secara cuma-cuma kepada molekul radikal bebas tanpa terganggu fungsinya dan dapat memutus reaksi berantai radikal bebas. Beberapa bukti menunjukkan bahwa antosianin sebagai antioksidan yang mempunyai efek protektif terhadap peradangan, aterosklerosis, karsinoma, dan diabetes (Mangiri et al., 2016).

Antosianin alami pada beras hitam, seperti cyanidin 3-glucoside dan peonidin 3-glucoside, yang memiliki aktivitas anti-oksidatif dan anti-inflamasi. Investigasi sebelumnya telah menunjukkan bahwa suplementasi diet beras hitam secara signifikan menghambat pembentukan plak aterosklerotik pada kelinci. Selain itu, beras hitam mengandung banyak komponen yang bermanfaat, antara lain polifenol, flavonoid, vitamin E, asam fitat, dan c-oryzanol. Senyawa antioksidan ini menghilangkan *reactive oxygen species* (ROS) seperti peroksida lipid dan radikal anion superoxide dan menurunkan kandungan kolesterol (Kong & Lee, 2010).

Hasil penelitian oleh Dwinani (2014) dalam (Yuda et al., 2020) pengujian *in vivo* pada hewan tikus nefropati diabetes menunjukkan pemberian ekstrak etanol bekatul beras hitam pada dosis 200 mg/kgBB mampu menurunkan kadar glukosa darah yang setara dengan kontrol normal. Selain itu, Wahyuni et al. (2016) menunjukkan bahwa ekstrak etanol bekatul beras hitam mampu menghambat aktivitas α -glukosidase dengan nilai IC50 pada kadar ekstrak 100 mg%. Enzim tersebut diketahui sebagai enzim yang berperan dalam pemecahan disakarida menjadi monosakarida. Ekstrak etanol bekatul beras hitam pada dosis 10, 100, dan 200 mg/kgBB mampu merangsang pengeluaran



insulin sebesar $6,52 \pm 5,94$; $11,5 \pm 3,5$; $15,20 \pm 9,5$ ng/mL serta secara histopatologi mampu meningkatkan pertumbuhan sel β -pankreas.

Sifat fisik hasil penelitian Hermawan dan Meylani tahun 2016 menunjukkan nilai kekerasan beras yang terendah dimiliki oleh sampel beras hitam organik (6,00 Kgf) sedangkan nilai terbesar dimiliki oleh beras putih non organik (6.99 Kgf). Nilai kekerasan beras dapat dipengaruhi oleh kadar air, lama penyimpanan beras, dan derajat sosohnya. Semakin banyak kadar air yang terkandung dalam beras, maka beras akan semakin keras. Sebaliknya semakin sedikit kadar air yang terkandung dalam beras, maka beras akan semakin rapuh sehingga nilai kekerasannya akan lebih kecil. Uji amilografinya menunjukkan suhu gelatinisasi yang tertinggi dimiliki oleh sampel beras hitam organik (90°C), sedangkan suhu gelatinisasi yang terendah dimiliki oleh sampel beras merah non organik (83°C).

Klasifikasi Beras hitam

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Poales
Familia : Poaceae
Genus : *Oryza*
Spesies : *Oryza sativa* L.
(Sumber: Plantamor, 2022).



Gambar 1. Beras hitam
Sumber: <https://theagrinenews.com/>

2.1.1 Etnobotani beras hitam khas toraja *Oryza sativa* L. kultivar Pare Ambo'

Secara astronomis suku Toraja terletak pada 119°-120° BT dan 2°-3° LS. Toraja menjadi bagian lengan selatan Sulawesi Selatan dimulai dari Palopo, Karama, cekungan Tempe, dan sungai Sa'dan. Utara Toraja mengalami pemekaran menjadi kabupaten Toraja Utara dengan ibu kota Rantepao. Kabupaten Toraja Utara terletak antara 704-2889 meter di atas permukaan laut, sehingga udaranya dingin dan sejuk. Kondisi topografi Toraja Utara berupa dataran tinggi bergunung dan berlereng curam. Di lereng-lereng gunung dan lembahnya dipenuhi dengan pertanian masyarakat, seperti persawahan yang dibuat dalam bentuk sengkedan-sengkedan atau terasering, di bagian gunung yang lebih tinggi menjadi kebun sayuran dan umbi-umbian, dan bagian yang terlindungi dan lembab dijadikan sebagai kebun kopi (Tampang et al., 2020).

Padi berperan penting dalam kehidupan sosial budaya masyarakat kabupaten Toraja. Masyarakat menjunjung tinggi ritual menanam dan memanen padi yang dikenal *aluk pare*. Penghormatan terhadap padi membutuhkan lebih dari empat puluh ritual khusus. Hal ini terkait dengan segala sesuatu mulai dari pemurnian alat dan benih padi, waktu tanam dan panen, pengikatan padi hasil panen, dan proses penyimpanan padi di lumbung (Ranteallo et al, 2020)

Beragam varietas padi lokal di Toraja yang mempunyai keunggulan merupakan kekayaan alam yang potensial untuk dimanfaatkan dan dilestarikan. Pemerintah Daerah dari Kabupaten Toraja Utara mengajukan usulan pelepasan/pemutihan padi lokal Toraja untuk dilepas sebagai varietas. Pendaftaran, pelepasan, ataupun pemutihan padi lokal dataran tinggi Toraja membutuhkan data dan informasi tentang ciri morfologi, karakter pembungaan, penampakan epidermis, produktivitas, hama dan penyakit, preferensi konsumen, bahkan kandungan gizinya (Limbongan, n.d.).

Sejarahnya, beras diproduksi untuk tujuan sosial, budaya, dan spiritual. Memori kolektif, yang mendasari budidaya padi lokal dan nilai-nilai sosial religius, adalah salah satu inti konservasi padi lokal. Ingatan-ingatan tersebut dipelihara dan diadaptasi dengan kondisi sekarang, sehingga varietas-varietas padi lokal sebagai sumber daya genetik dipertahankan, meskipun beberapa varietas sudah jarang atau berpotensi punah (Ranteallo, 2020).

Penelitian tentang beberapa varian Beras lokal khas Toraja yaitu Pare Bau, Pare Kombong, Pare Lea, Pare Ambo dan Pare Lallodo. Warna beras Pare Bau adalah putih, Pare Kombong putih (ketan), Pare Lea berasnya merah, Pare hitam, dan Pare Lallodo, yaitu ketan hitam. Hasil pengamatan lima aksesori pada dataran tinggi kabupaten Tana Toraja pada karakter permukaan batang, warna permukaan bulir, bentuk gabah, warna permukaan gabah, dan warna gabah untuk karakter lainnya terlihat sama, contohnya untuk gabah yang sama-sama sukar rontok. Pare Lea memiliki



permukaan batang tidak berbulu dibanding dengan 4 varietas yang lainnya. Untuk karakter warna tangkai bulir, Pare Bau berwarna hijau kekuningan, Pare Lea hijau kemerahan, sedangkan Pare Kombong, Pare Ambo, dan Pare Lallodo semuanya berwarna hijau. (Limbongan, n.d.).

2.1.2 Kandungan Gizi Beras Hitam

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Mangiri *et al* tahun 2016 di Laboratorium Terpadu Universitas Sam Ratulangi dan Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dapat disimpulkan bahwa terdapat kandungan zat gizi makro beras hitam Toraja yaitu karbohidrat sebesar 85%, lemak sebesar 1,9%, protein sebesar 1,04%, air sebesar 10,5%. Kandungan serat beras hitam Toraja sebesar 0,8%. Kandungan mineral beras hitam Toraja yang terdiri dari kalsium (Ca) sebesar 0,386 mg/ml, magnesium (Mg) sebesar 1,95 mg/ml, kalium (K) sebesar 0,886 mg/ml, besi (Fe) sebesar 0,391mg/ml, dan zinc (Zn) sebesar 0,021 mg/ml. Kandungan vitamin C dan vitamin E sebesar 0,6 mg dan 31,6 mg.

Pada analisis fisikokimia antara beras putih, beras merah dan hitam pada penelitian Hernawan dan Meylani tahun 2016 menunjukkan bahwa beras hitam baik beras hitam organik memiliki kandungan serat yang paling tinggi, begitu juga pada beras hitam non organik memiliki kadar serat paling tinggi ke dua kemudian diikuti oleh beras merah organik dan non organik lalu kadar serat terendah terdapat pada beras putih organik dan non organik. Kandungan Protein dari jenis beras juga dihasilkan bahwa kandungan protein dari beras hitam organik yang memiliki nilai tertinggi setara dengan beras putih organik dibandingkan beras merah organik. Namun pada kandungan makronutrien karbohidrat dari ke tiga jenis beras menunjukkan kandungan karbohidrat terendah ada pada beras hitam organik.

Kandungan lain dari beras hitam adalah zat besi yang tinggi yaitu 15,52 ppm. Keunggulan lain dari tanaman ini adalah tingginya kandungan serat dibandingkan beras lainnya (20,1 dalam 100 gr) sehingga memiliki indeks glikemik yang rendah (Yuda et al., 2020)

2.2 Jamur Tiram *Pleurotus sp.*

Jamur mengandung senyawa fenolik dan banyak senyawa dengan aktivitas antijamur, antigenotoksitas, oksidasi, antiproliferatif dan antitumor. Jamur juga mengandung α -tokoferol, β -karoten dan komponen fenolik yang berpotensi sebagai antioksidan. Selain sumber nutrisi yang kaya terutama protein (20-35%), juga mineral serta vitamin B, C dan D (Shang et al., 2015).

Jamur tiram *Pleurotus sp.* juga mengandung zat-zat yang mempunyai seperti senyawa fenol, ergotien, vitamin C, selenium dan beta enol merupakan komponen dengan aktivitas antioksidan yang jamur tiram (Egra et al., 2018). Bahan pangan yang kini masyarakat karena produk olahannya yang semakin variatif kandungan gizi yang tinggi non kolesterol, bahwa setiap jamur mengandung protein 19-35 % dengan 9 macam asam



amino; lemak 1,7-2,2 % terdiri dari 72 % asam lemak tak jenuh, karbohidrat. Tiamin, riboflavin, dan niasin merupakan vitamin B utama dalam jamur tiram selain vitamin D dan C, mineralnya terdiri dari K, P, Na, Ca, Mg, juga Zn, Fe, Mn, Co dan P serta mikro elemen yang bersifat logam sangat rendah pada jamur tiram sehingga aman dikonsumsi setiap hari (Egra et al., 2018).

Nama tiram berasal dari penampilan seperti cangkang tiram pileus yaitu tutup tubuh buah. Tiram jamur memiliki tubuh buah seperti kipas yang lebar, yang berwarna putih hingga lamella yang lembut atau insang. Spesies *Pleurotus* tersebar luas di alam liar. Selain itu, berbagai limbah agroindustri digunakan sebagai media pertumbuhan untuk produksi tiram jamur domestik dan komersial. Produksi dan kualitas jamur secara langsung dipengaruhi oleh jenis media tumbuhnya. Jamur tiram tumbuh dengan baik pada kisaran suhu 22–28° C dan kelembaban > 85% (Zahid et al., 2020). Miselium jamur tiram tumbuh optimal pada keadaan gelap dalam kondisi asam (pH 5,5-6,5). Tetapi, kondisi lingkungan atau substrat media yang terlalu asam (pH rendah) ataupun pH terlalu tinggi akan menghambat pertumbuhan miselium. Sebaliknya tubuh buah jamur tidak tumbuh pada tempat tempat yang gelap. Tubuh buah jamur tiram tumbuh optimal pada lingkungan yang agak terang dan kondisi keasaman agak netral (pH 6,8-7,0) (Hafsary et al, 2019).

Jamur tiram merupakan organisme yang mendapatkan semua nutrisi yang dibutuhkan dari substratnya. Substrat merupakan sumber nutrisi utama bagi jamur. Nutrien-nutrien tersebut baru dapat dimanfaatkan setelah jamur mengeksresikan enzim ekstra seluler yang dapat mengurai senyawa-senyawa kompleks dari substrat menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana, banyak jamur memiliki kemampuan mengeksresikan beberapa jenis enzim ke lingkungan yang menguraikan karbohidrat kompleks seperti selulase, amilase, kitinase (Hafsary et al, 2019).

Banyak jamur sangat membantu dalam penyakit manusia karena mereka memiliki banyak fitur farmakologis yang khas seperti: untuk bertindak sebagai aktivator metabolik, mencegah/mengontrol keracunan dan infeksi mikroba/virus, membantu dalam menyeimbangkan kekebalan dan imunomodulasi, sebagai antioksidan dengan sifat peremajaan dan penambah energi (Patel et al., 2012).

Tubuh buah serta miselium aktif spesies *Pleurotus* juga memiliki sejumlah sifat terapeutik seperti antiinflamasi, imunostimulan dan imunomodulator, aktivitas kanker, aktivitas ribonuklease, dan banyak lagi. Analisis kimia telah menunjukkan bahwa banyak senyawa aktif biologis yang

termasuk hemiselulosa, polisakarida, lipopolisakarida, glikoprotein, nukleosida, triterpenoid, pati kompleks, lektin, lipid, kompleks lainnya. Jamur tiram adalah jamur penting ketiga dari penelitian mengenai jamur tiram hanya nilai nutrisi dan pengobatannya tetapi banyak dari beberapa spesies jenis jamur tiram *Pleurotus* sp. seperti



daur ulang residu pertanian, biokonversi limbah lignoselulosa, produksi atau perbaikan pakan ternak, bioremediasi dan degradasi xenobiotik, degradasi xenobiotik untuk bioremediasi, dan produksi enzim (Patel et al., 2012).

Potensi kandungan senyawa guanide yang merupakan senyawa terkait kelas bi-guanida obat oral anti-diabetes yang diisolasi dari beberapa spesies jamur *Pleurotus* yang memberikan efek anti-hipoglikemik. Endo-polimer dari kultur miselium jamur tiram *Pleurotus ostreatus* memiliki efek hipoglikemik. Kandungan serat dan protein tinggi serta kandungan lemak yang rendah pada jamur tersebut sehingga menjadikan makanan yang ideal untuk pasien diabetes. Pemberian oral ekstrak *aqueous* pada jenis jamur tiram coklat *P. pulmonarius* mampu menurunkan kadar serum glukosa pada tikus diabetes yang diobati dengan alosan. Polisakarida yang diekstraksi dari tubuh buah *Pleurotus citrinopileatus* mampu meringankan efek anti-hiperglikemik dengan meningkatkan aktivitas glutathion peroksidase (Patel et al., 2012).

2.2.1 Jamur Tiram Putih *Pleurotus ostreatus*

Jamur *P. ostreatus* tergolong *white rot fungi* yang mampu mendegradasi lignin karena memproduksi enzim lignolitik ekstraseluler seperti lakase, lignin peroksidase, dan mangan peroksidase (Azzahra et al., 2022), Awal pertumbuhan diamati setelah munculnya miselium dalam hitungan hari setelah inokulasi. Benang hifa (miselium) mengeluarkan enzim yang memecahkan bahan-bahan karbohidrat menjadi senyawa sederhana yang dapat digunakan sebagai energi untuk dimetabolisme yang mengakibatkan miselium dapat cepat tumbuh pada media. Penempelan miselium pada permukaan substrat untuk mendapatkan nutrisi, diawali dengan sekresi enzim untuk mencerna sumber hara yang tersedia, yaitu dari molekul-molekul yang tidak larut menjadi substansi yang mudah larut. Jamur tiram mensekresi enzim-enzim ekstraseluler dan intraseluler terutama enzim endoglukonase, xilanase, fenol oksidase, yang terdiri atas lakase dan beberapa peroksidase (lignin peroksidase, mangan peroksidase, dan versatile peroxidase) (Gorska et al. 2014). Semua enzim tersebut berperan mendegradasi selulosa, hemiselulosa, lignin, dan berbagai hidrokarbon aromatik dan fenolik (Azzahra et al., 2022).

Klasifikasi Jamur Tiram Putih

Regnum:	Fungi
Divisio:	Amastigomycota
Classis:	Basidiomycetes
Ordo:	Agaricales
	Polyporales
	Polyporales
	<i>Pleurotus</i>
	<i>Pleurotus ostreatus</i>



Sumber: Tjitrosoepomo, 2014



Gambar 2. Jamur Tiram Putih *Pleurotus ostreatus*
Sumber: <http://lipi.go.id>

2.2.2 Jamur tiram merah *Pleurotus djamor*

Jamur tiram merah muda merupakan salah satu jenis jamur tiram yang yang belum banyak dibudidayakan secara komersil. Jamur tiram merah muda tumbuh baik pada iklim tropis dengan kelembapan tinggi. Pertumbuhan miselium dan badan buah yang lebih cepat dibandingkan jamur tiram putih dan jamur tiram coklat menjadi kelebihan dari jamur tiram merah muda. Jamur tiram merah muda mengandung tinggi protein dan serat serta rendah gula dan karbohidrat. Jamur tiram merah muda juga mengandung antioksidan, tinggi zat besi, seng, kalium, selenium, vitamin B1, B3, B5 dan B1 dan senyawa alkaloid dan saponin (Hafsary *et al*, 2019).

Pleurotus djamor memiliki total senyawa fenol sebesar 13.12 µg/mg yang merupakan kandungan metabolit sekunder yang diekstrak langsung dari tubuh buah jamur. Selain itu perbedaan media yang digunakan untuk menumbuhkan miselium juga dapat mempengaruhi kandungan metabolit sekunder yang dihasilkan (Hafsary *et al*, 2019).

Klasifikasi Jamur Tiram Coklat

Regnum: Fungi
Divisio: Amastigomycota
Classis: Basidiomycetes
 * aricales
 * holomataceae
 * urotus
 * urotus djamor
 * o, 2014





2.2.3 Jamur tiram coklat *Pleurotus cystidiosus*

Jamur tiram coklat (*Pleurotus cystidiosus*) merupakan keluarga dari Tricholomataceae. Umumnya dikenal sebagai jamur abalone yang dapat dimakan. Makanan yang populer di masyarakat Sri Lanka. Jamur ini besar dan berdaging, tumbuh di batang pohon atau tunggul di lapisan seperti rak. Pileus berbentuk kerang. Tudung muda dalam kecokelatan, permukaannya halus dan lembab dengan tepi menghadap ke bawah. Stipe berwarna coklat tua (Musfira, 2018).

Klasifikasi

- Regnum:** Fungi
Divisio: Amastigomycota
Classis: Basidiomycetes
Ordo: Agaricales
Familia: Tricholomataceae
Genus: *Pleurotus*
Species: *Pleurotus cystidiosus*

Sumber: Tjitrosoepomo, 2014



ambar 4. Jamur Tiram Coklat *Pleurotus cystidiosus*

Sumber: <https://columbiametro.com/>

n coklat mempunyai ciri-ciri khusus yang dapat dikenali ntaranya bentuk tudung seperti tiram berdiameter 4-15 cm



atau lebih. Permukaan tudung licin agak berminyak ketika lembab, warna tudung putih kecokelatan atau coklat tua kadang kekuningan pada saat jamur dewasa, tetapi tudung menggulung ke dalam dan sering bergelombang pada jamur muda. Tubuh buahnya tidak memiliki tangkai, tudung hanya membentuk setengah lingkaran, membentuk seperti tiram dengan bagian atas lebih lebar, bagian bawah agak runcing, bagian bawah tudung terbentuk lapisan seperti insang, disebut gills, berwarna keputih-putihan atau abu-abu. Jamur tiram coklat memiliki *lamellae* agak tebal lebar, relatif padat, berujung ke bagian atas stipe, biasanya dengan anastomosis yang dekat dengan stipe dimana mereka membentuk jaring. Basidiospora memiliki panjang $11,0-18,0 \times 3,2-5,7 \mu\text{m}$ (berarti: $14,8 \pm 1,7 \times 4,3 \pm 0,7 \mu\text{m}$), silindris hingga elips, berdinding tipis dengan apiculus kecil, inamyloid, hyaline (Musfira, 2018).

2.3 Analisis Proximat

Analisis proksimat telah dikenal dan menjadi acuan minimal persyaratan suatu mutu dari produk-produk komersial khususnya yang berkaitan dengan produk hasil pertanian. Tidak hanya berlaku bagi pelaku industri, di dalam dunia pendidikan. Informasi yang didapat dari analisis proksimat juga merupakan persyaratan dasar yang umumnya harus ada disetiap perlakuan pengembangan produk yang diteliti. Tidak hanya dilihat dari luaran analisis proksimat ini, proses pengerjaan analisis proksimat juga menjadi hal dasar yang mutlak diketahui dan dipahami oleh setiap mahasiswa khususnya mahasiswa yang berkaitan langsung dengan ilmu danteknologi pangan dan hasil pertanian (Syukri, 2021).

Ada beberapa jenis pengujian dalam analisis proximat bahan pangan yang terdapat pada buku Bagan Alir Analisis Proximat Bahan Pangan yang ditulis Syukri pada tahun 2021 yaitu Analisis kadar proksimat air, Analisis total padatan, Analisis total padatan terlarut, Analisis total padatan tidak terlarut, Analisis kadar abu, Analisis total protein, Analisis total lemak, Analisis total karbohidrat, Analisis total asam, dan Analisis total vitamin C.

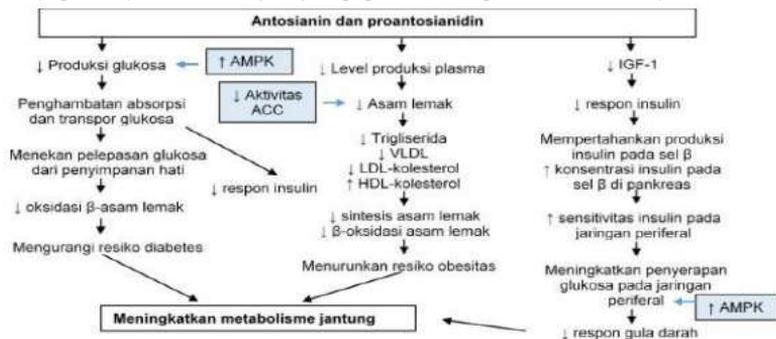
2.4 Identifikasi Senyawa

2.4.1 Senyawa Antioksidan Antosianin

Senyawa antioksidan antosianin berperan dalam pencegahan beberapa penyakit seperti kanker, diabetes, kolesterol, dan jantung koroner. Efek antosianin terhadap antihipeglkemik yaitu menurunkan kadar glukosa dengan menghambat aktivitas enzim α -glukosidase. Penurunan aktivitas antioksidan pada beras merah selama perkecambahan dapat dijelaskan secara nyata bahwa R_1 yang bervariasi bergantung pada kandungan senyawa fenolik terpigmen adalah antosianin, sekelompok senyawa fenolik air. Antosianin berperan dalam mencegah penyakit jantung koroner, aterosklerosis, dengan cara menghambat dan menurunkan kadar kolesterol dalam darah yang disebabkan oleh oksidasi LDL. yang diturunkan oleh antosianin hingga mencapai 13,6%,



apabila mengonsumsi antosianin ±12 minggu dengan rata-rata konsumsi antosianin pada wanita antara 19,8-64,9 mg dan pada pria sekitar 18,4-44,1 mg setiap hari. Proses penghambatan terjadi melalui proses pemutusan rantai propagasi dari radikal bebas, dimana semua gugus hidroksil (OH) pada cincin B dapat menyumbangkan atau berperan sebagai donor elektron atau hidrogen sehingga terjadi pembersihan atau pencegahan terhadap radikal bebas. Antosianin secara spesifik terserap pada daerah serapan ultraviolet (UV) sampai violet, tetapi lebih kuat pada daerah tampak dari spektrum, antosianin terserap pada panjang gelombang 250-700 nm, dengan 2 puncak sebagai gugus gula (glikon) di panjang gelombang sekitar 278 nm, dan puncak utama sebagai antosianin (aglikon) di sekitar panjang gelombang 490-535 nm (Muslimin, 2020).



Gambar 5. Antosianin dan proantosianin pathway
(Sumber: Muslimin, 2020)

2.3.2 Senyawa Fatty acid / asam lemak

Komponen dasar lemak adalah asam lemak dan gliserol yang diperoleh dari hasil hidrolisis lemak, minyak maupun senyawa lipid lainnya. Asam lemak pembentuk lemak dapat dibedakan berdasarkan jumlah atom C (karbon), ada atau tidaknya ikatan rangkap, jumlah ikatan rangkap serta letak ikatan rangkap. Berdasarkan struktur kimianya, asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh (saturated fatty acid/SFA) yaitu asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap. Sedangkan asam lemak yang memiliki ikatan rangkap disebut sebagai asam lemak tidak jenuh (unsaturated fatty acids), dibedakan menjadi Mono Unsaturated Fatty Acid (MUFA) memiliki 1 (satu) ikatan rangkap, dan Poly Unsaturated Fatty Acid (PUFA) dengan 1 atau lebih ikatan rangkap. Jumlah atom karbon pada asam lemak berkisar antara 4 sampai 24 atom karbon, dengan lain asam lemak rantai pendek/SCFA (2–4 atom karbon), FA (6–12 atom karbon) dan rantai panjang/LCFA (>12 atom karbon). Asam lemak rantai panjang banyak bahan pangan hewani dan sebagian besar minyak nabati. Asam lemak rantai panjang. Titik cair asam lemak meningkat dengan panjangnya rantai bahan pangan secara alami (Sartika,



Dedak padi banyak mengandung komponen bermanfaat yang biasa disebut sebagai fitokimia, berbagai vitamin (seperti thiamin, nisin, vitamin B-6), mineral (besi, fosfor, magnesium, potasium), asam amino, asam lemak esensial, vitamin E, asam ferulat, oryzanol sehingga berpotensi menjadi bahan pangan yang bisa mengurangi risiko terjangkitnya penyakit dan meningkatkan status kesehatan tubuh. Bekatul merupakan bahan pangan yang bersifat hipoalergenik dan merupakan sumber serat pangan (dietary fiber) yang baik (Fatkurahman et al., 2012).

2.3.3 Gass Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)

GC-MS atau Kromatografi gas digabungkan dengan spektrometri massa telah dikenal sebagai standar emas dalam bidang ilmu analitik. Instrumen ini menggunakan data waktu retensi dan spektral massa untuk mengidentifikasi senyawa yang diinginkan. Data spektral massa menunjukkan pola fragmentasi spesifik untuk senyawa tertentu yang diperoleh setelah ionisasi dengan tegangan elektron tetap. Data dapat dibangun ke dalam database yang dapat dibagikan di antara pengguna GC-MS. Inilah salah satu alasan mengapa GC-MS banyak digunakan untuk pekerjaan berbasis metabolomik. Banyak penelitian mengenai penggunaan GC-MS untuk metabolomik telah dilaporkan. Sebagian besar penelitian berfokus pada diskriminasi metabolit akibat perbedaan genotipe/kultivar, iklim, metode budidaya, dan penanganan pascapanen. Sebagai salah satu contoh, perbedaan metabolit antara dua genotipe *Salvia hispanica* (biji chia) sebagai respon terhadap tingkat irigasi yang berbeda (irigasi dan non-irigasi) diungkapkan oleh metabolisme berbasis GC-MS. Ditemukan bahwa sampel yang diberi irigasi mengandung jumlah total fenolat, asam α -linolenat, dan asam lemak lainnya yang lebih tinggi, dibandingkan sampel yang tidak diberi irigasi. Sampel yang diberi irigasi juga menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan sampel yang tidak diberi irigasi. Namun, metabolit mana yang berhubungan dengan perubahan aktivitas antioksidan tidak dilaporkan (Yuliana et al., 2020).

GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) merupakan salah satu teknik analisis yang paling umum digunakan untuk analisis senyawa organik yang mudah menguap. GCMS memiliki dua sistem terpisah, yaitu GC dan MS, yang digabungkan menjadi satu instrumen. Sampel yang mengandung senyawa volatile diinjeksikan ke dalam sistem GC, di mana senyawa-senyawa tersebut akan dipisahkan berdasarkan sifat kepolarannya di dalam kolom yang terisi dengan fase stationer. Setelah terelusi dari sistem GC, senyawa-senyawa tersebut akan masuk ke dalam sistem MS, di mana senyawa-senyawa tersebut akan diberikan energi tertentu dan difragmentasi menjadi ion-fragment. Ion-fragment tersebut kemudian akan dideteksi oleh detektor MS, dan hasilnya akan diolah oleh komputer untuk menghasilkan spektrum massa dari sampel tersebut. Spektrum massa kemudian akan digunakan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa tersebut berdasarkan pola fragmentasi unik.



dari masing-masing senyawa. Kombinasi GC dan MS memungkinkan pemisahan senyawa-senyawa yang sangat kompleks dan analisis yang sangat sensitif, sehingga GC-MS sering digunakan dalam berbagai bidang, termasuk analisis lingkungan, analisis makanan, analisis forensik, dan lainnya (Hermawan, 2024)

2.3.4 High Performance Liquid chromatography – Mass Spectrometry (HPLC-MS)

HPLC atau Kromatografi Cair Kinerja Tinggi adalah jenis kromatografi cair tingkat lanjut dan komponen yang sangat berharga dalam laboratorium sains penelitian di berbagai bidang seperti kimia, farmasi, dan biokimia. Keunggulan HPLC dibandingkan teknik analisis lainnya berkat sensitivitasnya yang tinggi, selektivitasnya yang tinggi, keserbagunaannya, dan otomatisasinya. Ini digunakan untuk memisahkan, mengidentifikasi, dan mengukur senyawa dalam sampel cair. Salah satu keuntungan utama kromatografi cair kinerja tinggi adalah peningkatan kecepatannya dibandingkan dengan teknik kromatografi alternatif lainnya. Alat penting HPLC digunakan untuk aplikasi farmasi seperti mengevaluasi formulasi, memeriksa kemurnian, dan memantau perubahan karena penyesuaian proses atau selama peningkatan skala. HPLC jg sebagian besar digunakan untuk pemisahan senyawa organik yang mudah menguap atau tidak mudah menguap (chemyx website, 2023).

Sistem HPLC memiliki empat komponen utama, yaitu (chemyx website, 2023):

- Pompa sebagai sistem pengiriman pelarut. Ini mempertahankan aliran fase gerak yang konstan (pelarut yang berjalan terus menerus ke sistem seperti asetonitril, metanol, buffer fosfat, dll.) melalui HPLC.
- Katup Injeksi memungkinkan masuknya larutan sampel ke dalam kolom HPLC. Sampel dapat disuntikkan secara manual atau dengan katup injeksi otomatis yang disebut autosampler. Pengambil sampel otomatis seperti pompa jarum suntik menyuntikkan sampel secara otomatis dengan presisi dan akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan injeksi sampel manual.
- Kolom yang berisi fasa diam tertentu untuk memisahkan senyawa individu berdasarkan sifat fisiokimia tertentu. Mayoritas kolom HPLC terbuat dari baja tahan karat dan diisi dengan partikel silika berpori. Namun demikian, tersedia berbagai jenis perangkat keras kolom HPLC dan bahan pengemas.
- Detektor untuk menganalisis komponen campuran yang elusi yang dikumpulkan setelah dialirkan melalui kolom. Di antara detektor yang umum digunakan adalah detektor ultraviolet/visibel (UV/Vis), photodiode array (FL), dan detektor indeks bias (RI).



tor yang dapat mempengaruhi pemisahan HPLC seperti suhu, kimia fase diam, atau bahkan suhu. Komponen-komponen ini sama lain melalui proses migrasi diferensial ketika mereka melewati kolom fase diam. Setiap komponen campuran bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda melalui kolom, dan kecepatannya akan bergantung pada

interaksi antara kolom (fase diam) dan komposisi kimia sampel. Komponen terelusi pada waktu yang berbeda, sehingga memungkinkan terjadinya pemisahan. Setelah pemisahan, detektor mengukur konsentrasi analit dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Konsentrasi masing-masing komponen berhubungan langsung dengan kuantitas yang dielusi dari kolom (chemxy website, 2023).

Langkah-langkah dalam HPLC dengan melarutkan sampel dalam fase gerak atau pelarut. Kemudian menyuntikkan sampel secara manual atau menggunakan autosampler seperti pompa jarum suntik yang memungkinkan aliran fase gerak secara terus menerus. Sampel dikirim ke kolom dengan pompa. Saat sampel bergerak melalui kolom, berbagai komponennya berinteraksi secara berbeda dengan fase gerak dan fase diam, menyebabkan keduanya terpisah satu sama lain dengan kecepatan berbeda. Setelah komponen keluar dari kolom, komponen tersebut diarahkan ke detektor, di mana sifat fisik senyawa diukur, seperti penyerapan cahaya untuk deteksi UV.

Mass Spectrometry (MS) adalah alat analisis yang banyak digunakan di laboratorium sains untuk menentukan massa berbagai senyawa dalam suatu sampel. Teknik ini memungkinkan para peneliti untuk mengidentifikasi dan mengukur senyawa dalam suatu campuran serta mendeteksi pengotor dalam sampel.

Spektrometri massa menggunakan instrumen yang disebut spektrometer massa dan bekerja dengan menggunakan berbagai metode ionisasi, menentukan massa suatu molekul dengan mengukur rasio massa terhadap muatan (m/z) ionnya. Spektrometer massa berfungsi dalam kondisi tekanan yang sangat rendah, menciptakan lingkungan vakum yang tinggi. Tindakan ini diambil untuk meminimalkan kemungkinan ion bertabrakan dengan molekul lain dalam penganalisis massa.

Setiap metode ionisasi memerlukan pertimbangan cermat terhadap faktor-faktor tertentu untuk memastikan efektivitasnya. Faktor-faktor ini meliputi volume, konsentrasi, fase sampel, dan komposisi larutan analit.

Komponen Utama MS berupa sistem saluran masuk, sumber ion, penganalisis massa, dan detektor. Sistem saluran masuk yang berfungsi sistem saluran masuk adalah memasukkan sejumlah kecil sampel ke dalam sumber ion dengan kehilangan vakum yang minimal. Ada berbagai macam saluran masuk yang tersedia, dengan kromatografi gas menjadi teknik paling umum untuk memasukkan sampel ke dalam spektrometer massa. Sumber ion ini adalah spektrometer massa. Di sinilah sampel diionisasi sebelum dianalisis dan detektor massa. Berbagai teknik ionisasi telah dikembangkan untuk mengionisasi molekul dengan karakteristik berbeda secara berturut-turut. Jawaban untuk mengambil massa terionisasi dan berdasarkan rasio massa terhadap muatan (m/z). Ada berbagai



jenis penganalisis massa, termasuk penganalisis massa time-of-flight (ToF), quadropole, sektor magnetik, perangkap ion, dan orbitrap, serta sistem kombinasi seperti spektrometri massa tandem. Sedangkan detektor spektrometer massa terdapat beberapa jenis detektor, dengan pengganda elektron yang paling umum digunakan untuk eksperimen rutin.

Cara kerja MS dengan memasukkan sampel melalui sistem saluran masuk. Di dalam instrumen, molekul mengalami ionisasi di sumber ionisasi, mengubahnya menjadi ion. Ion-ion ini kemudian didorong secara elektromagnetik ke dalam penganalisis massa, di mana ion-ion tersebut dipisahkan berdasarkan rasio massa terhadap muatannya (m/z). Setelah dipisahkan, detektor mengubah energi ion menjadi sinyal listrik, yang kemudian dikirim ke komputer untuk diproses lebih lanjut.

2.4 Analisis *Molecular Docking*

Simulasi docking molekul adalah metode *in-silico* yang termasuk dalam desain obat berbasis struktur (SBDD), biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi tentang pose ligan docking yang optimal untuk menciptakan kompleks yang stabil dengan target (Abchir et al., 2023)

Tujuan dari docking untuk mencapai konformasi suatu ligan/protein yang optimal. Aplikasi PyRx dan PyMol merupakan visualisasi molekul dengan kualitas gambar 3D. Metode *in silico* pula dapat memprediksi interaksi senyawa obat/ligan melalui simulasi computer. Observasi dengan uji docking dengan senyawa aktif/ligan dan reseptor menggunakan perangkat lunak yaitu PyMol dan PyRx dan mendapatkan nilai binding serta RMSD (Pratiwi et al., n.d.).

Hasil *molecular docking* adalah energi ikatan dan ikatan hidrogen yang terbentuk. Energi ikatan digunakan untuk menunjukkan kekuatan ikatan antara senyawa dengan protein. Semakin rendah nilai energi ikatan (*binding energy*), maka ikatan yang terbentuk semakin kuat dan stabil. Jenis ikatan hidrogen yang terbentuk digunakan untuk menganalisis mekanisme interaksi yang terbentuk (Kumar, 2022).

Kemajuan dalam metode biologi komputasi telah mengurangi biaya ekonomi dari metode eksperimental serta waktu untuk menentukan struktur kompleks. Docking molekuler sebagai alat komputasi yang banyak digunakan studi tentang pengenalan molekuler, yang bertujuan untuk memprediksi mode pengikatan dan afinitas pengikatan suatu kompleks yang terbentuk oleh dua atau lebih molekul penyusun yang strukturnya diketahui. Molekuler Docking meliputi

dan dengan mengorientasikan dan menilai ligan ditempatkan pada suatu protein. Modulasi docking mengibaratkan obat yang berinteraksi dengan reseptor adalah alat penting dalam desain obat berbasis docking banyak digunakan mengidentifikasi molekul mirip obat yang berinteraksi dengan reseptor tertentu untuk menghambat fungsinya. Ini dilakukan penting karena aplikasi terapeutiknya dalam desain obat

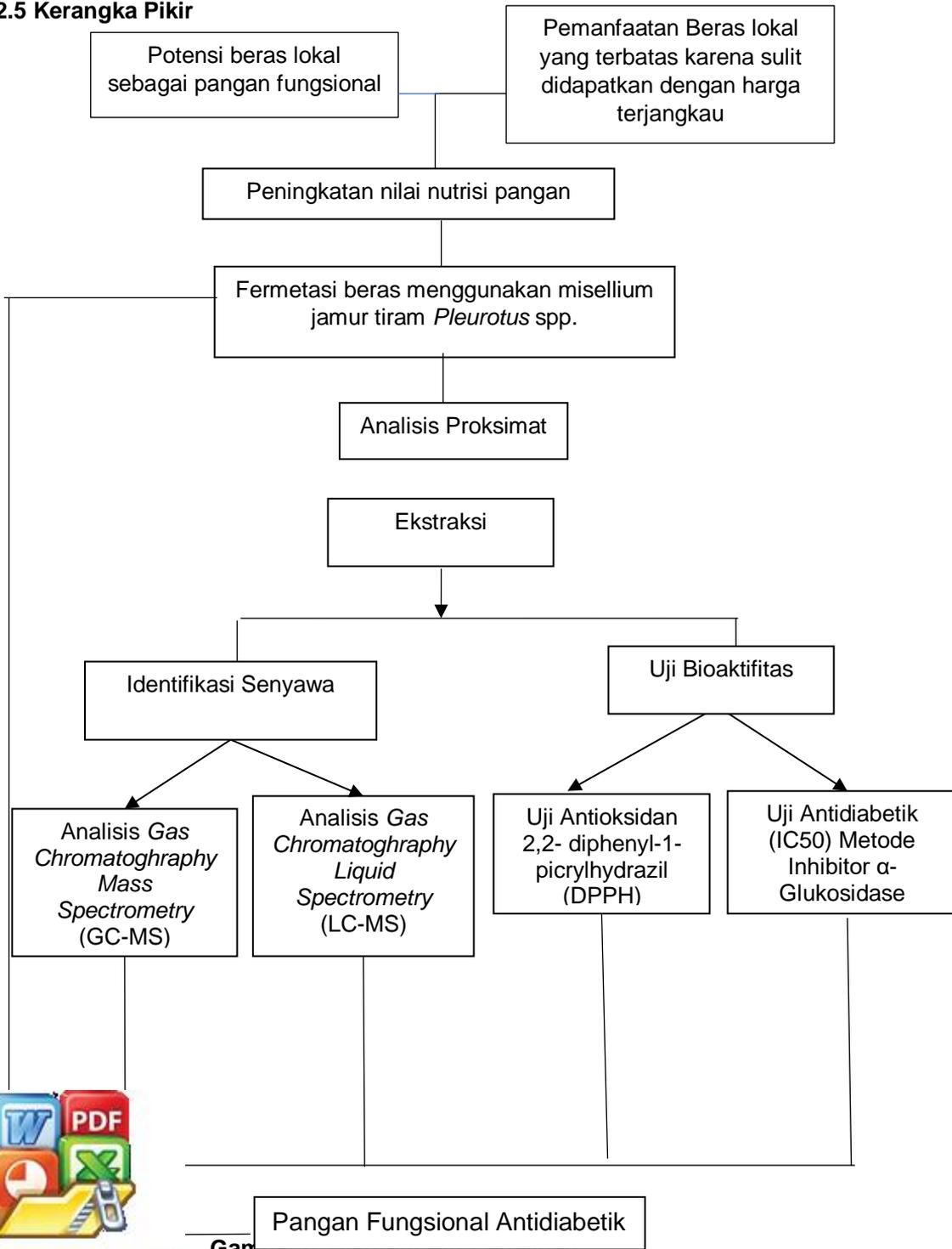


berbasis struktur modern. Senyawa dari database produk alami atau melalui sintesis kimia sering kali terjadi dipilih sebagai ligan dalam penyaringan virtual terhadap beragam target (Akshatha et al., 2021),



Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.5 Kerangka Pikir



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

