

**KAJIAN PEMBERIAN BERAS ANALOG UBI KAYU WAXY YANG
DISUBSTITUSI GUKOMANAN UMBI PORANG (*AMORPHOPALLUS
ONCOPHILLUS*) SEBAGAI ANTIDIABETES
MENCIT YANG DIINDUKSI ALOKSAN**

Tesis

Oleh

**BELLA INTAN AYU SAFITRI
2124051008**



**MAGISTER TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

STUDY OF UBI KAYU WAXY ANALOG RICE SUBSTITUTED WITH PORANG GLUCOMANNAN (*Amorphopallus Oncophillus*) AS ANTIDIABETIC IN ALLOXAN-INDUCED MICE

By

BELLA INTAN AYU SAFITRI

Waxy cassava analog rice substituted with porang glucomannan (*Amorphopallus Oncophillus*) contains high fiber and has a low glycemic index (43), so it is good for consumption by diabetics. This study aims to determine the effect of waxy cassava analogue rice substituted with porang glucomannan on blood sugar levels, histology of the pancreas, liver and kidneys on alloxan-induced mice. The experiment was arranged in a completely randomized design (CRD) consisting of 4 treatments with 6 replications. The data obtained was tested for uniformity using the Bartlett test and additional data was tested with the Tuckey test. Furthermore, the data were analyzed using variance to obtain an estimator of the variance and determine the effect of the treatment, then the data were analyzed using the BNT test at the 5% level. The results showed that administration of waxy cassava analog rice substituted with porang glucomannan in alloxan-induced mice could reduce blood sugar levels in alloxan-induced mice to 117.33 mg/dL on the 14th day and accelerate the healing of the pancreas, liver, and kidney by scores respectively were 1.23, 1.67, and 0.63.

Keywords: alloxan, analog rice, glucomannan, porang, waxy cassava

ABSTRAK

KAJIAN PEMBERIAN BERAS ANALOG UBI KAYU WAXY YANG DISUBSTITUSI GLUKOMANAN UMBI PORANG (*Amorphopallus Oncophillus*) SEBAGAI ANTIDIABETES MENCIT YANG DIINDUKSI ALOKSAN

Oleh

BELLA INTAN AYU SAFITRI

Beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan porang (*Amorphopallus Oncophillus*) mengandung serat yang tinggi dan memiliki indeks glikemik yang rendah (43) sehingga baik dikonsumsi oleh penderita diabetes. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan porang terhadap kadar gula darah, histologi pankreas, hati, dan ginjal mencit yang diinduksi aloksan. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap (RAL) terdiri dari 4 kali perlakuan dengan 6 ulangan. Data yang diperoleh diuji keseragamannya dengan menggunakan uji Bartlett dan kemenambahan data diuji dengan uji Tuckey. Selanjutnya data dianalisis dengan sidik ragam untuk mendapatkan penduga ragam galat dan mengetahui pengaruh perlakuan, kemudian data dianalisis dengan menggunakan uji BNT pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan porang pada mencit yang diinduksi aloksan dapat menurunkan kadar gula darah pada mencit yang diinduksi aloksan menjadi 117,33 mg/dL pada hari ke-14 dan dapat mempercepat penyembuhan pankreas, hati, dan ginjal dengan skor secara berurutan sebesar 1,23, 1,67, dan 0,63.

Kata kunci : aloksan, beras analog, glukomanan, porang, ubi kayu *waxy*

**KAJIAN PEMBERIAN BERAS ANALOG UBI KAYU WAXY YANG
DISUBSTITUSI GUKOMANAN UMBI PORANG (*AMORPHOPALLUS
ONCOPHILLUS*) SEBAGAI ANTIDIABETE S
MENCIT YANG DIINDUKSI ALOKSAN**

Oleh

BELLA INTAN AYU SAFITRI

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNOLOGI PERTANIAN

pada

**Program Pascasarjana Magister Teknologi Industri Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**MAGISTER TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

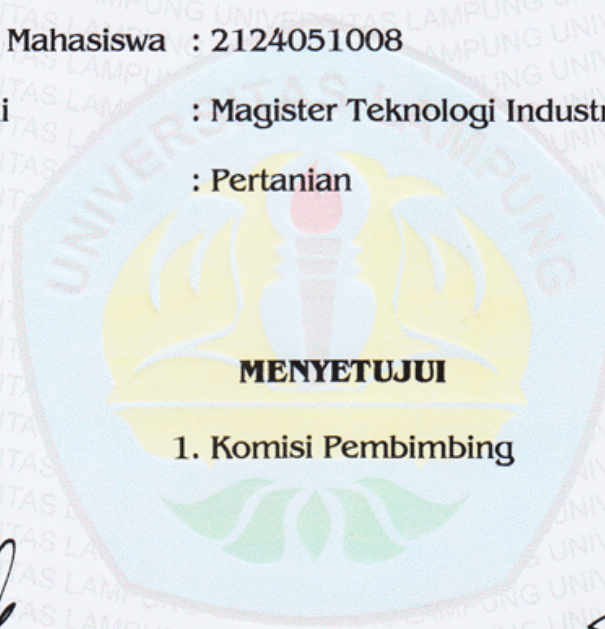
Judul Tesis : **KAJIAN PEMBERIAN BERAS ANALOG
UBI KAYU *WAXY* YANG DISUBSTITUSI
GLUKOMANAN UMBI PORANG
(*AMORPHOPALLUS ONCOPHILLUS*)
SEBAGAI ANTIDIABETES MENCIT
YANG DIINDUKSI ALOKSAN**

Nama Mahasiswa : **Bella Intan Ayu Safitri**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2124051008

Program Studi : Magister Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Pertanian



1. Komisi Pembimbing

Dr. Ir. Subeki, M.Sc.
NIP 19680409 199303 1 002

Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.
NIP 19710930 199512 2 001

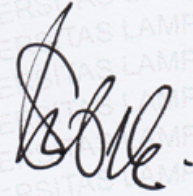
2. Ketua Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian

Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.
NIP 19710930 199512 2 001

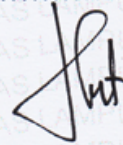
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

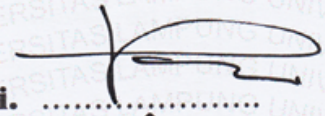
Ketua : **Dr. Ir. Subeki, M.Sc.**



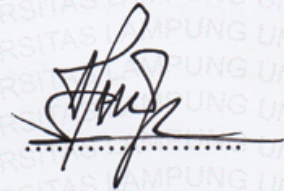
Sekretaris : **Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Samsu U. Nurdin, M.Si.**



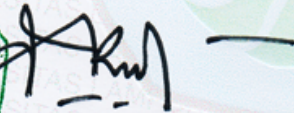
Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP.19611020 198603 1 002



3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP.19640326 198902 1 001



Tanggal Lulus Ujian Tesis : **7 Agustus 2023**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bella Intan Ayu Safitri

NPM : 2124051008

dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggung jawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 7 Agustus 2023
Pembuat Pernyataan



Handwritten signature of Bella Intan Ayu Safitri.

Bella Intan Ayu Safitri
NPM. 2124051008

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Gadingrejo pada tanggal 5 April 1997 dan merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Darmain, S.Pd dan Ibu Suswati, S.Pd. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 7 Gadingrejo pada tahun 2009, pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Gadingrejo pada tahun 2012, dan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Gadingrejo pada tahun 2015. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan studi sarjana di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Fotografi Zoom Universitas Lampung. Dalam organisasi tersebut penulis menjabat sebagai Sekretaris Divisi Hunting periode 2018 dan Bendahara Umum periode 2019, serta aktif dalam berbagai kegiatan pameran foto. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Labuhan Ratu IV, Kecamatan Labuhan Ratu, Kabupaten Lampung Timur pada bulan Januari-Februari 2018. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) dengan judul “Mempelajari Proses Pengolahan, Pengemasan dan Penggudangan Rajungan Kaleng di PT. Bumi Menara Internusa Kecamatan Tanjung Bintang Kabupaten Lampung Selatan” pada bulan Juli-Agustus 2018. Penulis memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian pada tahun 2021, kemudian di tahun yang sama penulis melanjutkan studi S2 di Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Kajian Pemberian Beras Analog Ubi Kayu *Waxy* yang Disubstitusikan Glukomanan Umbi Porang (*Amorphophallus Oncophyllus*) Sebagai Antidiabetes Mencit yang Diinduksi Aloksan”** yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknologi Pertanian di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P., selaku Ketua Program Studi Teknologi Industri Pertanian Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak Dr. Ir. Subeki, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan, nasihat dan motivasi selama perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi.
6. Bapak Dr. Ir. Samsu Udayana Nurdin, M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran, nasihat dan motivasi dalam penyusunan skripsi.
7. Bapak Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran, nasihat dan motivasi dalam penyusunan skripsi.

8. Ibu drh. Sulinawati, yang telah memberikan bantuan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini.
9. Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf administrasi dan laboratorium di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian atas bantuannya kepada penulis selama kuliah.
10. Orang tuaku tercinta Abah Darmain dan Mama Suswati, kakaku Udo Belly, Wo Devira, Dongah Beny, Ngah Nova, serta keponakanku Qaisara, Azka, Hifzhi, Habibah dan Alfa, juga keluarga besar yang selalu mendoakan, menyayangi, mendukung dan memotivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini.
11. Teman-teman seperjuangan Melda, Nabila, Silaturahmi yang telah membantu penulis dalam penyusunan Tesis. Temanku Yudha Mahendra, Sawsan Zaki, Rani Ardiya, Raka Andika, Mba Melia, serta teman-teman angkatan 2021, yang memberikan semangat dan kebersamaan selama ini.

Penulis berharap semoga Allah SWT membalas kebaikan bagi semua pihak yang telah berperan dalam mendukung penyelesaian tesis ini dan semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 7 Agustus 2023

Bella Intan Ayu Safitri

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Kerangka Pikir.....	4
1.4 Hipotesis.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Beras Analog	8
2.1 Ubi Kayu <i>Waxy</i>	9
2.2. Tanaman Porang.....	11
2.3. Diabetes	12
2.4. Aloksan.....	15
2.5. Histologi	16
2.5.1. Pankreas.....	16
2.5.2. Hati	19
2.5.3. Ginjal	21
III. METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat	23
3.2 Alat dan Bahan.....	23
3.3 Metode Penelitian	23
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	24
3.4.1 Persiapan Bahan Baku Beras Analog Ubi Kayu <i>Waxy</i> yang Disubstitusi Glukomanan	24

3.4.1.1. Pembuatan Glukomanan dari Umbi Porang Secara Mekanis	24
3.4.1.2. Pembuatan Tepung Ubi Kayu <i>Waxy</i>	26
3.4.1.3. Pembuatan Beras Analog	27
3.4.2. Persiapan Hewan Percobaan	29
3.4.3. Uji Pemberian Beras Analog Terhadap Kadar Gula Darah	29
3.5 Pengamatan	30
3.5.1 Kadar Gula Darah	30
3.5.2 Histologi Pankreas, Hati, dan Ginjal Mencit	30
3.5.2.1. Pengamatan Pankreas Mencit	33
3.5.2.2. Pengamatan Hati Mencit	34
3.5.2.3. Pengamatan Ginjal Mencit	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Kadar Gula Darah	35
4.2. Histologi Pankreas, Hati dan Ginjal Mencit	43
4.5.1. Pankreas	43
4.5.2. Hati	46
4.5.3. Ginjal	50
V. KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Uji pewarnaan iodin.....	11
2. Karakteristik klon ubi kayu <i>waxy</i> Unila DS07.....	11
3. Karakteristik porang.....	12
4. Struktur kimia aloksan.....	15
5. Histologi pankreas.....	17
6. Histologi pulau langerhans.....	18
7. Histologi pulau langerhans penderita diabetes.....	19
8. Histologi hati mencit.....	21
9. Histologi ginjal mencit.....	22
10. Pembuatan glukomanan dari umbi porang secara mekanis.....	25
11. Diagram alir pembuatan tepung ubi kayu <i>waxy</i>	27
12. Diagram alir pembuatan beras analog yang disubstitusi glukomanan porang	28
13. Grafik perubahan kadar gula darah mencit.....	36
14. Grafik perubahan berat badan mencit selama masa intervensi.....	40
15. Grafik konsumsi ransum selama masa intervensi.....	42
16. Histologi pankreas mencit pada pewarnaan HE (perbesaran 400x).....	43
17. Histologi hati mencit pada pewarnaan HE (perbesaran 400x).....	47
18. Histologi ginjal mencit pada pewarnaan HE (perbesaran 400x).....	51
19. Pembuatan tepung glukomanan.....	81
20. Pembuatan tepung ubi kayu <i>waxy</i>	82
21. Pembuatan beras analog ubi kayu <i>waxy</i> yang disubstitusi glukomanan.....	83
22. Pemeliharaan mencit.....	84
23. Pengukuran gula darah mencit.....	85
24. Analisis pembuatan preparat histologi pankreas, hati, dan ginjal.....	85

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jenis-jenis sel utama pada pulau langerhans.....	18
2. Pembagian kelompok dan perlakuan	24
3. Hasil analisis proksimat beras analog dan beras IR 64.....	29
4. Komposisi ransum AIN 93M yang telah dimodifikasi	30
5. Proses dehidrasi sampel jaringan	31
6. Proses pewarnaan dengan harris hematoxylin eosin.....	33
7. Skor tingkat keparahan kerusakan pada pulau langerhans.....	33
8. Skoring kerusakan sel hati	34
9. Skoring kerusakan sel ginjal	34
10. Kadar gula darah mencit pada berbagai waktu pengamatan.....	35
11. Berat badan mencit pada awal dan akhir masa intervensi	39
12. Skor kerusakan histologi pankreas.....	45
13. Skor kerusakan hari mencit.....	48
14. Skor kerusakan ginjal mencit.....	51
15. Perhitungan komposisi ransum perlakuan	65
16. Data hasil pengamatan kadar gula darah mencit pada hari ke-0.....	66
17. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) kadar gula darah mencit pada hari ke-0.....	66
18. Analisis sidik ragam kadar gula darah mencit pada hari ke-0	67
19. Uji lanjut BNT kadar gula darah mencit pada hari ke-0.....	67
20. Data hasil pengamatan kadar gula darah mencit pada hari ke-7.....	67
21. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) kadar gula darah mencit pada hari ke-7	67
22. Analisis sidik ragam kadar gula darah mencit pada hari ke-7	68
23. Uji lanjut BNT kadar gula darah mencit pada hari ke-7.....	69

24. Data hasil pengamatan kadar gula darah mencit pada hari ke-14.....	69
25. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) kadar gula darah mencit pada hari ke-14	69
26. Analisis sidik ragam kadar gula darah mencit pada hari ke-14	70
27. Uji lanjut BNT kadar gula darah mencit pada hari ke-14	70
28. Data hasil pengamatan kadar gula darah mencit pada hari ke-21	70
29. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) kadar gula darah mencit pada hari ke-21	71
30. Analisis sidik ragam kadar gula darah mencit pada hari ke-21	71
31. Uji lanjut BNT kadar gula darah mencit pada hari ke-21	71
32. Data hasil pengamatan kadar gula darah mencit pada hari ke-28.....	72
33. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) kadar gula darah mencit pada hari ke-28	72
34. Analisis sidik ragam kadar gula darah mencit pada hari ke-28	73
35. Uji lanjut BNT kadar gula darah mencit pada hari ke-28	73
36. Data hasil pengamatan berat badan mencit pada awal masa intervensi.....	73
37. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) berat badan mencit pada awal masa intervensi.....	74
38. Analisis sidik ragam berat badan mencit pada awal masa intervensi	74
39. Uji lanjut BNT berat badan mencit pada awal masa intervensi	74
40. Data hasil pengamatan berat badan mencit pada akhir masa intervensi	75
41. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) berat badan mencit pada akhir masa intervensi.....	75
42. Analisis sidik ragam berat badan mencit pada akhir masa intervensi.....	76
43. Uji lanjut BNT berat badan mencit pada akhir masa intervensi	76
44. Data hasil pengamatan skor kerusakan pada histologi pankreas mencit.....	76
45. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) skor kerusakan pada histologi pankreas mencit	77
46. Analisis sidik ragam skor kerusakan pada histologi pankreas mencit	77
47. Uji lanjut BNT skor kerusakan pada histologi pankreas mencit.....	77
48. Data hasil pengamatan skor kerusakan pada histologi hati mencit.....	78

49. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) skor kerusakan pada histologi hati mencit.....	78
50. Analisis sidik ragam skor kerusakan pada histologi hati mencit	79
51. Uji lanjut BNT skor kerusakan pada histologi hati mencit.....	79
52. Data hasil pengamatan skor kerusakan pada histologi ginjal mencit.....	79
53. Uji kehomogenan ragam (Barlett's test) skor kerusakan pada histologi ginjal mencit.....	80
54. Analisis sidik ragam skor kerusakan pada histologi ginjal mencit	80
55. Uji lanjut BNT skor kerusakan pada histologi ginjal mencit.....	80

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Populasi penderita diabetes mellitus terus meningkat dari tahun ke tahun. Sekitar 537 juta orang dewasa di dunia dengan umur 20-79 tahun menderita diabetes. Jumlah tersebut diperkirakan akan meningkat menjadi 643 juta pada tahun 2030 dan 783 juta pada tahun 2045. Indonesia berada diposisi kelima setelah China, India, Pakistan dan USA dengan jumlah pengidap diabetes sebanyak 19,5 juta dan diperkirakan meningkat menjadi 28,6 juta pada tahun 2045 (International Diabetes Federation, 2021).

Diabetes mellitus adalah penyakit metabolik yang ditandai dengan tingginya kadar glukosa darah (*hyperglikemia*) sebagai akibat dari kekurangan sekresi insulin, gangguan aktifitas insulina atau keduanya (Bulu *et al.*, 2019). Penyebab utama kekurangan insulin karena adanya kerusakan pada sel β pankreas, yaitu sel yang berfungsi untuk memproduksi insulin. Diabetes melitus juga dapat disebabkan oleh resistensi insulin. Resistensi insulin adalah berkurangnya kemampuan insulin untuk merangsang penggunaan glukosa atau turunnya respons sel target, seperti otot, jaringan, dan hati terhadap kadar insulin fisiologis (Asmat *et al.*, 2016).

Komplikasi diabetes melitus dapat mempengaruhi seluruh aspek kehidupan penderitanya dan memiliki peningkatan risiko terjadinya komplikasi seperti penyakit jantung, stroke, neuropati di kaki yang dapat meningkatkan kejadian ulkus kaki infeksi bahkan keharusan untuk amputasi, retinopati, gagal ginjal dan dapat mengancam jiwa bahkan kematian apabila tidak segera ditangani dan dilakukan pengontrolan yang tepat (Wulan *et al.*, 2020). Menurut Susanti (2016), manajemen diabetes mellitus seharusnya melibatkan kombinasi diet dan perubahan gaya hidup.

Mayoritas masyarakat Indonesia mengkonsumsi beras padi sebagai makanan pokok sehari-hari. Menurut Fergiyanti dan Nangameka (2018) beras yang banyak diminati oleh konsumen adalah beras IR64 karena memiliki harga yang terjangkau dan termasuk ke dalam jenis beras pulen. Meskipun demikian, beras IR64 memiliki indeks glikemik yang cukup tinggi yaitu 79 (Fajriah *et al.*, 2022). Pengaturan pola konsumsi dan terapi nutrisi dapat dilakukan untuk mengontrol penyakit diabetes. Penderita diabetes dianjurkan mengkonsumsi makanan dengan indeks glikemik rendah dapat menunda penyerapan gula sehingga kadar gula darah dapat dikontrol (Satyajaya dkk., 2017). Menurut Arif *et al.* (2013) nilai indeks glikemik dapat dikelompokkan menjadi tiga kelas, yaitu indeks glikemik rendah (<55), sedang (55-70), dan tinggi (>70). Salah satu makanan yang memiliki indeks glikemik rendah adalah beras analog.

Beras analog merupakan produk olahan yang terbuat dari sumber karbohidrat selain padi yang dibentuk menyerupai butiran beras menggunakan teknologi ekstrusi (Valencia and Purwanto, 2020). Menurut Al-Rasyid *et al.* (2017) beras analog yang terbuat dari campuran tepung ubi kayu dan tapioka memiliki kelemahan, yaitu secara fisik nasi dari beras analog yang telah dimasak memiliki tekstur yang lengket, kenyal, dan mudah mengeras setelah dingin. Sifat tersebut kurang disukai masyarakat karena tidak memberikan kesan yang sama dengan nasi dari padi.

Glukomanan adalah polisakarida dari golongan mannan yang terdiri dari monomer β -1,4 α -manosa dan α -glukosa. Glukomanan yang terkandung dalam umbi porang memiliki sifat yang dapat memperkuat gel, memperbaiki tekstur, mengentalkan (Alamsyah, 2019). Beras analog yang disubstitusi glukomanan umbi porang (*Amorphopallus oncophillus*) memiliki nilai indeks glikemik 43 (Subeki *et al.*, 2021). Beras analog tersebut tergolong dalam makanan dengan indeks glikemik rendah (≤ 55). Indeks glikemik merupakan nilai yang menunjukkan potensi makanan dalam meningkatkan kadar gula darah (Augustin *et al.*, 2015). Menurut Arif dkk. (2014), proses pencernaan pangan yang mempunyai indeks glikemik rendah berlangsung lambat sehingga penyerapan glukosa menjadi lambat. Hal ini didukung oleh McMillan-Price and Brand-Miller (2006) yang

menyatakan bahwa glukosa akan dialirkan secara lambat ke dalam darah sehingga dapat mengontrol kadar gula darah. Dengan demikian, beras analog yang dibuat dari umbi porang berpotensi untuk dikonsumsi oleh penderita diabetes dalam mengendalikan gula darah.

Pada penelitian ini akan menggunakan mencit jantan sebagai subjek yang dibuat menderita diabetes. Saat ini, aloksan yang diinjeksi secara intraperitoneal banyak digunakan sebagai senyawa diabetogenik untuk hewan percobaan (Ighodaro *et al.*, 2017). Penelitian Nurdiantini *et al.* (2017) menunjukkan bahwa pemberian tepung porang dengan dosis 200 mg/ekor memiliki efek penurunan glukosa darah sebesar 176 mg/dl. Kandungan serat dan pati resisten dalam beras analog menyebabkan proses pencernaan berlangsung lambat sehingga dapat menurunkan kadar gula darah.

Ada 5 golongan obat oral antidiabetes yaitu sulfonilurea, biguanid, alfa-glukosidase inhibitor, tiazolidinedion, dan meglitinida. Obat oral ini memiliki efek samping seperti hipoglikemia, peningkatan berat badan yang dihubungkan dengan hiperinsulinemia, kelemahan dan asidosis laktat, diare, peningkatan kadar kolesterol LDL, dan lain-lain. Obat antidiabetes oral juga dapat menyebabkan penurunan resistensi dan respon pada beberapa populasi. Selain itu, penggunaannya juga tidak aman selama kehamilan (Susanti, 2016).

Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan pemberian beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan umbi porang (*Amorphopallus oncophillus*) terhadap kadar gula darah dan histologi pankreas, hati, dan ginjal mencit yang diinduksi aloksan. sebagai upaya manajemen diabetes dengan cara yang alami.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh pemberian beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan umbi porang (*Amorphopallus Oncophillus*) terhadap kadar gula darah mencit yang diinduksi aloksan.

2. Mengetahui pengaruh pemberian beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan umbi porang (*Amorphopallus Oncophillus*) dalam mempercepat penyembuhan pankreas, hati, dan ginjal mencit yang diinduksi aloksan.

1.3 Kerangka Pikir

Beras analog merupakan salah satu bentuk diversifikasi makanan pokok dimana bentuk dan teksturnya menyerupai beras namun terbuat dari bahan pangan lokal non beras seperti serealma maupun umbi-umbian (Winarti *et al.*, 2018). Keunggulan penggunaan bahan pangan lokal seperti umbi-umbian yaitu mudah didapat dan sebagai salah satu cara untuk mengoptimalkan sumber bahan pangan lokal. Umbi-umbian yang dapat dimanfaatkan seperti ubi kayu *waxy* (Subeki *et al.*, 2020) dan umbi porang (Ibrahim, 2019). Beras analog dengan sifat fungsional khusus memiliki prospek yang sangat baik. Produk beras analog yang kaya serat dapat menurunkan kadar gula darah penderita diabetes (Handajani *et al.*, 2016).

Beras analog yang dibuat dari ubi kayu mempunyai sumber serat, protein dan karbohidrat yang cukup untuk memenuhi kebutuhan tubuh manusia. Produk beras analog yang dihasilkan saat ini masih memiliki kelemahan, yaitu secara fisik nasi dari beras analog yang telah dimasak memiliki tekstur yang lengket, kenyal, dan mudah mengeras setelah dingin. Sifat tersebut kurang disukai masyarakat karena tidak memberikan kesan yang sama dengan nasi dari padi (Saptomi, 2017). Dalam bidang makanan, glukomanan porang baik untuk kesehatan dan dapat memiliki fungsi sebagai pengental (Salim *et al.*, 2021), pembentuk tekstur, mengikat air (Paramartha *et al.*, 2019), dan pengental makanan (Ardiansyah *et al.*, 2019). Kurniasari dkk. (2020) menyebutkan bahwa penggunaan konjak dan k-karagenan menghasilkan beras analog instan yang memiliki kenampakan visual kokoh dan tidak mudah hancur.

Berdasarkan penelitian Subeki *et al.* (2021), Beras analog yang terbuat tepung ubi kayu *waxy* dan glukomanan menghasilkan warna putih kecoklatan, rasa agak khas singkong, aroma agak khas singkong, kadar air sebesar 14,88%, kadar abu sebesar 2,73, kadar protein sebesar 0,87%, kadar lemak sebesar 2,44%, kadar serat kasar sebesar 1,84%, dan kadar karbohidrat sebesar 79,08%.

Selain memperbaiki tekstur beras analog, penambahan glukomanan pada beras analog dapat menambah efektivitas penurunan kadar gula darah pada penderita diabetes. Glukomanan merupakan polisakarida jenis hemiselulosa. Glukomanan memiliki kemampuan menyerap air yang luas dan mengembang berkali – kali lipat. konsumsi glukomanan akan menyebabkan perasaan kenyang, ini disebabkan karena glukomanan menyerap air sehingga memenuhi lambung. Pemberian glukomanan dapat menurunkan kadar glukosa dalam darah pada penderita diabetes mellitus. Hal tersebut dikarenakan glukomanan merupakan senyawa karbohidrat yang tidak dapat diuraikan oleh enzim pencernaan. Glukomanan mengembang dalam lambung sehingga mengurangi penyerapan karbohidrat yang berimbas menurunnya glukosa darah pada penderita diabetes mellitus (Carolyn dan Rahardjo, 2015).

Beras analog yang disubstitusi glukomanan umbi porang memiliki indeks glikemik yang rendah yaitu 43 (Subeki *et al.*, 2021). Nilai indeks glikemik menunjukkan kemampuan suatu makanan dalam meningkatkan kadar gula darah. Penyerapan glukosa pada pangan berindeks glikemik rendah akan berlangsung lambat karena proses pencernaan yang juga berlangsung lambat. Hal tersebut disebabkan oleh adanya kandungan serat yang mampu menghambat aktivitas enzim α -amilase (Arif dkk., 2014). Kandungan glukomanan tinggi yang terdapat pada umbi porang (*Amorphophallus oncophyllus*) merupakan serat larut air. Serat larut air diketahui memiliki efek pada homeostasis glukosa, metabolisme lipid, dan asupan kalori (Susanti, 2016). Dengan demikian, konsumsi beras analog yang disubstitusi glukomanan umbi porang dapat dijadikan alternatif bagi penderita diabetes untuk mengontrol kadar gula darah.

Pada dasarnya, diabetes mellitus adalah keadaan kadar glukosa darah yang melebihi nilai normal (*hiperglikemia*) yang disebabkan oleh kekurangan insulin yang terjadi akibat kerusakan pada pankreas ataupun resistensi insulin yaitu Resistensi insulin adalah berkurangnya kemampuan insulin untuk merangsang penggunaan glukosa atau turunnya respons sel target, seperti otot, jaringan, dan hati terhadap kadar insulin fisiologis. Kondisi diabetes dapat diinduksi dengan pemberian aloksan. Aloksan adalah salah satu zat diabetogenik yang

bersifat toksik terutama terhadap sel beta pankreas dan jika diberikan kepada hewan percobaan maka hewan percobaan tersebut dapat menjadi diabetes (Amani dan Mustarichie, 2018). Menurut Ighodaro *et al.* (2017), aloksan menjadi senyawa diabetogenik yang banyak digunakan untuk hewan percobaan dengan dosis 90-200 mg/kg BB yang diinjeksi secara intraperitoneal. Hasil penelitian Subeki *et al.* (2016) menunjukkan bahwa pemberian aloksan pada mencit dengan dosis 140 mg/kg BB secara intraperitoneal dapat menyebabkan diabetes tanpa membuat mencit mati.

Hiperglikemia kronik pada diabetes berhubungan dengan kerusakan jangka panjang, disfungsi atau kegagalan beberapa organ tubuh, seperti pankreas, hati, dan ginjal. Terapi bagi penderita diabetes mellitus sendiri bertujuan untuk pengendalian kadar gula, selain itu juga untuk mencegah terjadinya komplikasi. Menurut Carolin dan Rahardjo (2015), Pemberian glukomanan dalam bentuk produk pangan untuk mencit dengan variasi dosis pemberian. Dosis I dengan pemberian produk 0,06g/kg BB, dosis II pemberian produk 0,12g/kg BB, dosis III pemberian produk 0,18g/kg BB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa glukomanan dapat menurunkan kadar gula dalam darah pada mencit. Dosis optimal pemberian produk dari umbi porang adalah dosis II yaitu 0,12g/kgBB. Glukomanan yang terkandung dalam tepung porang (*Amorphopallus oncophillus*) memiliki peluang menjadi nutraceutical dalam manajemen Diabetes Mellitus Tipe 2 (Susanti, 2016). Pada penelitian ini dilakukan Pemberian beras analog yang disubstitusi glukomanan umbi porang pada mencit yang diinduksi aloksan sehingga menderita diabetes untuk diamati kadar gula darah, histologi pankreas, hati, dan ginjal.

1.4 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah

1. Pemberian beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan umbi porang (*Amorphopallus Oncophillus*) dapat menurunkan kadar gula darah mencit yang diinduksi aloksan.

2. Pemberian beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan umbi porang (*Amorphopallus Oncophillus*) dapat mempercepat penyembuhan pankreas, hati dan ginjal mencit yang diinduksi aloksan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beras Analog

Beras analog merupakan produk olahan berbentuk menyerupai beras yang terbuat dari sumber karbohidrat selain padi (Budijanto dkk., 2017). Beras analog dapat terbuat dari tepung beras non-padi yang dibentuk menyerupai butiran beras menggunakan teknologi ekstrusi (Valencia and Purwanto, 2020). Komponen utama dalam beras analog adalah bahan berkarbohidrat dan air, sedangkan komponen tambahan dapat berupa bahan pengikat, zat pewarna, fortifikan, dan antioksidan. Pada umumnya, proses pembuatan beras analog terdiri dari pembuatan adonan, proses ekstrusi, penambahan agen pengikat pada ekstrudat, dan pengeringan (Mishra *et al.*, 2012).

Beras analog dapat dibuat dari bahan pangan seperti umbi-umbian atau serealialia yang memiliki kandungan gizi yang mendekati atau melebihi beras dengan bentuk menyerupai beras (Aini dkk., 2019). Beras analog yang berasal dari bahan lokal ini, selaras dengan program kementerian pertanian yang dapat mengurangi ketergantungan masyarakat Indonesia terhadap beras dengan program diversifikasi pangan. Upaya seperti inilah yang mampu meningkatkan konsumsi sumber pangan karbohidrat dengan pangan lokal dan menurunkan konsumsi beras di Indonesia (Srihari dkk., 2016). Pembuatan beras analog dapat dilakukan dengan cara mencampurkan semua bahan menjadi adonan beras analog, pengukusan, pencetakan dan pengeringan (Damat dkk., 2020).

Beras analog dapat bersifat pangan fungsional sehingga memiliki sifat yang baik bagi tubuh manusia, seperti beras analog yang kaya akan kandungan serat, protein, vitamin dan mineral sehingga dapat mencegah atau mengurangi beberapa orang yang terkena penyakit. Salah satunya yaitu dapat dimanfaatkan untuk

mengurangi kolesterol, mencegah obesitas atau untuk penderita diabetes yang perlu mengonsumsi karbohidrat rendah kalori dan kaya serat. Tidak hanya itu, beras analog yang diperkaya dengan protein juga dapat bermanfaat untuk mengurangi defisiensi protein (Agusman dkk., 2014). Kandungan tersebut dapat ditambahkan dengan cara mensubstitusikan bahan-bahan yang kaya akan kandungannya tersebut, seperti protein diperoleh dari kacang-kacangan sedangkan serat dapat diperoleh dari lumpur laut. Bahan-bahan tersebut dapat dipilih sesuai dengan komposisi produk akhir yang dikehendaki, sehingga beras analog memiliki manfaat yang lebih (Herawati dkk., 2013).

Pembuatan beras analog memerlukan bahan tambahan untuk menentukan sifat karakteristik sesuai yang dikehendaki. Bahan tambahan tersebut salah satunya yaitu perekat. Perekat digunakan untuk tambahan pangan yang digunakan untuk mendapatkan butiran beras yang kokoh sehingga beras tidak mudah hancur selama proses distribusi serta menghasilkan tekstur yang lembut dan tidak rapuh saat 5 dimasak. Salah satu komponen yang dapat digunakan sebagai perekat yaitu pati. Pati adalah karbohidrat yang mengandung polimer glukosa yang terdiri atas amilosa dan amilopektin (Herawati dkk., 2013). Sehingga pati dapat diperoleh dari bahan baku yang mengandung karbohidrat tinggi salah satunya yaitu mocaf. Mocaf dapat dijadikan bahan baku pada beras analog karena kandungan karbohidrat yang mirip dengan beras.

2.1 Ubi Kayu *Waxy*

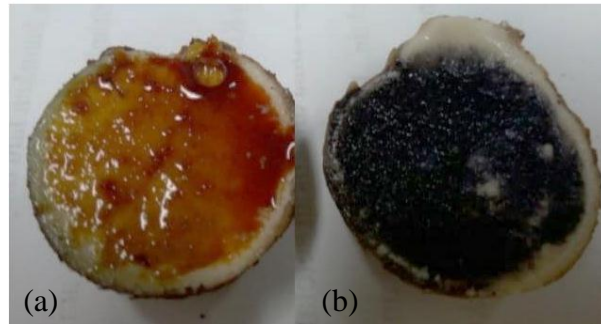
Ubi kayu (*Manihot esculenta*) merupakan tanaman berkayu dengan batang silindris dengan diameter 2-6 cm. Tanaman ubi kayu memiliki batang berwarna hijau ketika muda dan berwarna keputihan, kelabu atau hijau kelabu, kemerahan dan coklat setelah tua. Daun ubi kayu berujung mruncing dengan tulang daun menjari. Tangkai daun ubi kayu memiliki panjang 10-20 cm dengan warna merah, ungu, hijau, kuning atau kombinasinya (Saleh dkk., 2016)

Ubi kayu dapat tumbuh optimal pada ketinggian 10-700 mdpl, curah hujan 760-1.015 mm/tahun, suhu udara 18-35°C dengan kelembaban udara 60-65% dan lama penyinaran matahari 10 jam/hari. Kondisi tersebut sesuai dengan iklim di

Indonesia sehingga ubi kayu dapat tumbuh optimal di seluruh wilayah Indonesia (Saleh dkk., 2016). Provinsi Lampung menjadi provinsi sentra ubi kayu di Indonesia dengan produksi 5.451.312 ton dan luas panen 208.662 Ha pada tahun 2017 (Kementerian Pertanian, 2019).

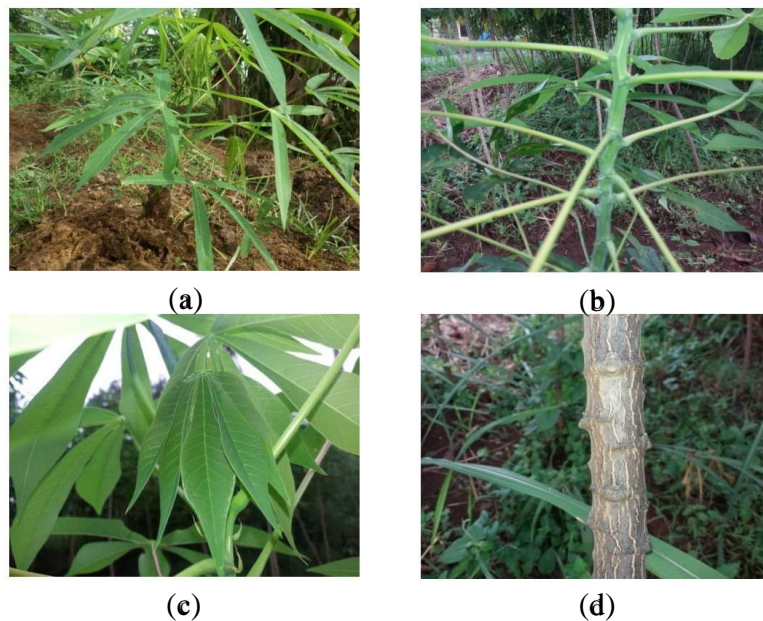
Umbi ubi kayu mengandung air (61,4 g), protein (1,0 g), lemak (0,3 g), karbohidrat (36,8 g), dan abu (0,5 g) (Dirjen Kesehatan Masyarakat, 2018). Umbi ubi kayu mengandung pati sebagai cadangan karbohidrat bagi tanaman. Kandungan tersebut dimanfaatkan untuk berbagai bidang seperti pangan, pakan maupun bahan dasar berbagai industri. Pati tersebut berbentuk granula berukuran 16,9 – 18,0 μm yang sifat fisik dan kimianya sangat mempengaruhi proses pengolahan (Augustyn dkk, 2007; Gomand *et al.*, 2010). Pada dasarnya, pati terdiri atas dua komponen, yaitu amilosa dan amilopektin dengan rasio 20:80 (Augustyn dkk., 2007).

Saat ini telah dikembangkan ubi kayu *waxy* yang mengandung amilopektin tinggi dan bebas amilosa. Proses pengembangan ubi kayu *waxy* dilakukan melalui rekayasa genetika GBSSI (*Granule-Bound Starch Synthase I*) yaitu enzim yang mempolimerisasi amilosa (Raemakers *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2011). Cara yang dapat digunakan untuk membedakan ubi kayu biasa dengan ubi kayu *waxy* adalah dengan uji pewarnaan iodin. Ubi kayu *waxy* akan berwarna merah kecoklatan ketika diberikan iodin, sedangkan ubi kayu biasa akan berwarna biru tua yang menunjukkan kandungan amilosa (Gambar 1) (Aiemnaka *et al.*, 2012; Ceballos *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2011). Meskipun demikian, pati ubi kayu *waxy* tidak mengalami perubahan ukuran dan bentuk granula. Ubi kayu *waxy* justru memiliki kejernihan, stabilitas, dan indeks pengembangan yang lebih tinggi (Ceballos *et al.*, 2007; Raemakers *et al.*, 2005).



Gambar 1. Uji pewarnaan iodine (a) ubi kayu *waxy* (b) ubi kayu biasa.

Ubi kayu *waxy* saat ini telah dibudidayakan oleh Universitas Lampung dengan nama klon Unila DS07. Klon ubi kayu Unila DS07 memiliki karakteristik batang berwarna coklat kehitaman, tangkai daun berwarna hijau, dan pucuk daun berwarna hijau. Umbi klon ubi kayu Unila DS07 telah melewati uji pewarnaan iodine dan memberikan warna merah. Tanaman klon ubi kayu *waxy* Unila DS07 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Karakteristik klon ubi kayu *waxy* Unila DS07 (a) daun (b) tangkai

2.2. Tanaman Porang

Porang (*Amorphopallus Oncophillus*) secara taksonomi tergolong dalam famili Araceae (Koswara, 2014). Tanaman ini tergolong semak berumbi yang tumbuh di dalam hutan. Batang tanaman ini tegak, lunak dan terdapat totol putih-hijau

dengan tinggi berkisar 100 – 150 cm. Daunnya menjari berpangkal 3, berwarna hijau dan mempunyai titik pangkal daun tempat tumbuhnya bulbil (umbi generatif). Bulbil mulai terlihat pada usia 2 bulan, berupa bintik gelap pada pangkal daun. Umbi Porang memiliki daging berwarna kuning cerah, berserat halus dan bergetah (Susanti, 2016)

Tanaman porang (*Amorphallus oncophillus*) banyak dibudidayakan di daerah Lampung. Porang dapat tumbuh pada berbagai kondisi tanah dengan sinar matahari minim disela-sela pepohonan hutan, perkebunan, dan pekarangan rumah (Wijayanto dan Pratiwi, 2011). Porang merupakan bahan baku pembuatan tepung glukomanan. Karakteristik tanaman dan umbi porang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Karakteristik porang. (a) tanaman porang, (b) umbi porang

Komposisi kimia umbi porang segar adalah air (83,3%), pati (7,65%), protein (0,92%), lemak (0,02%), serat kasar (2,5%), glukomanan (3,58%), abu (1,22%), logam Cu (0,09%), kalsium oksalat (0,19%) (Subeki *et al.*, 2021).

2.3. Diabetes

Diabetes merupakan suatu kondisi yang ditentukan oleh tingkat hiperglikemia dan dapat menimbulkan risiko kerusakan mikrovaskuler (retinopati, nefropati, dan neuropati). Penyakit diabetes ini dapat menurunkan kualitas hidup dan meningkatkan risiko komplikasi makrovaskular (penyakit jantung iskemik, stroke, dan penyakit vaskular perifer) (WHO, 2006). Diabetes juga erat kaitannya dengan sekresi insulin, kerja insulin, atau keduanya, dan gangguan metabolisme

karbohidrat, lemak dan protein (WHO, 2019). Kriteria untuk diabetes adalah apabila kadar gula darah 2 jam pasca pembebanan mencapai ≥ 200 mg/dL atau kadar gula darah puasa mencapai ≥ 126 mg/dL. Apabila kadar gula darah puasa berkisar antara 100-125 mg/dL atau kadar gula darah 2 jam pasca pembebanan berkisar antara 140-199 mg/dL maka dikategorikan sebagai prediabetes (Kementerian Kesehatan RI, 2020).

Penyakit diabetes digolongkan sebagai gangguan metabolisme yang menyebabkan glukosa yang berasal dari asupan tidak dapat digunakan sebagai energi. Ketika makanan dicerna, glukosa akan masuk ke aliran darah untuk digunakan sebagai energi dan pertumbuhan. Pankreas secara otomatis akan melepaskan insulin dalam jumlah yang cukup untuk memindahkan glukosa yang ada dalam darah ke dalam sel. Glukosa tidak dapat masuk ke dalam sel tanpa ada insulin. Penderita diabetes memiliki kondisi tubuh yang tidak memproduksi cukup insulin, tidak menghasilkan insulin, atau memiliki sel yang tidak sesuai dengan insulin yang diproduksi pankreas. Hal tersebut menyebabkan glukosa yang menumpuk di dalam darah dan sel tidak dapat menggunakannya untuk energi esensial dan kebutuhan pertumbuhannya (Lal, 2016).

Menurut Pekumpulan Endokrinologi Indonesia (2021) penyakit diabetes terdiri atas beberapa kelompok, yaitu

1. Diabetes mellitus tipe 1

Destruksi sel beta pankreas, umumnya berhubungan dengan defisiensi insulin absolut: Autoimun, Idiopatik

2. Diabetes mellitus tipe 2

Bervariasi, mulai dari yang dominan resistensi insulin disertai defisiensi insulin relatif sampai yang dominan defek sekresi insulin disertai resistensi insulin.

3. Diabetes tipe gestasional

Diabetes yang didiagnosis pada trimester kedua atau ketiga kehamilan dimana sebelum kehamilan tidak didapatkan diabetes

Gejala utama yang timbul akibat penyakit diabetes ini adalah cepat lapar, mudah haus, dan sering buang air kecil. Penyakit ini juga disertai dengan gejala

tambahan diantaranya adalah berat badan menurun, penyembuhan luka yang sulit, penglihatan yang kabur, cepat lelah, dan mudah mengantuk. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengendalikan dan mencegah terjadinya komplikasi penyakit diabetes adalah dengan melakukan diet diabetes. Diet dilakukan dengan pengaturan pola makan sesuai aturan 3J (jumlah, jenis, dan jadwal) (Dirjen Pencegahan dan Pengendalian Penyakit, 2019).

Hidayat dkk. (2016) menyebutkan alternatif pangan bagi penderita diabetes adalah pangan dengan indeks glikemik yang rendah. Indeks glikemik merupakan kemampuan suatu makanan dalam meningkatkan kadar gula darah. Nilai indeks glikemik pangan terbagi menjadi 3 kelompok yaitu indeks glikemik rendah (< 55), sedang (55-70), dan tinggi (> 70). Semakin tinggi nilai indeks glikemik maka pangan tersebut akan lebih cepat dicerna dan diserap dalam tubuh sehingga kadar gula dalam darah juga akan cepat meningkat (Augustin *et al.*, 2015). Dengan demikian, konsumsi pangan berindeks glikemik rendah mampu mengendalikan kadar gula dalam darah.

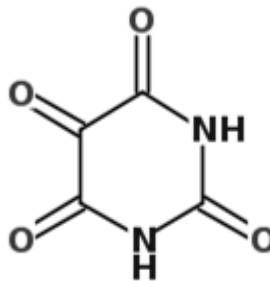
Konsumsi pangan berindeks glikemik rendah akan menyebabkan laju pengosongan perut berlangsung lambat akibat proses pencernaan yang juga berlangsung lambat. Penyerapan glukosa pangan berindeks glikemik rendah akan terjadi lebih lambat karena suspensi pangan akan lebih lama mencapai usus (Arif dkk., 2014). Hal ini didukung oleh McMillan-Price and Brand-Miller (2006) yang menyatakan bahwa glukosa akan dialirkan secara bertahap ke dalam darah sehingga dapat mengontrol kadar gula darah penderita diabetes. Konsumsi pangan berindeks glikemik rendah juga dapat meningkatkan sensitivitas hormon insulin (Visuthranukul *et al.*, 2015).

Penyakit diabetes juga memiliki faktor risiko yang dapat berakibat pada kejadian penyakit. Faktor risiko diabetes terdiri atas faktor risiko yang dapat diubah dan tidak dapat diubah. Faktor risiko yang tidak dapat diubah adalah riwayat keluarga penderita diabetes, riwayat melahirkan bayi dengan berat > 4 kg, bayi yang baru dilahirkan dengan berat $< 2,5$ kg, usia, dan jenis kelamin. Sementara faktor risiko yang dapat diubah adalah berat badan berlebih, aktivitas fisik yang

minim, hipertensi, diet tidak seimbang, dan dislipidemia (Dirjen Pencegahan dan Pengendalian Penyakit, 2019; Kementerian Kesehatan RI., 2020)

2.4. Aloksan

Aloksan (2,4,5,6-tetraoksipirimidin) merupakan senyawa yang dapat digunakan untuk menginduksi penyakit diabetes. Struktur kimia aloksan berupa turunan pirimidin beroksigen yang dapat dilihat pada Gambar 4. Aloksan memiliki sifat hidrofilik yang kuat, sedikit asam, dan cenderung tidak stabil. Aloksan memiliki waktu paruh 1,5 menit pada pH 7,4 dan suhu 37°C (Lenzen, 2008).



Gambar 4. Struktur kimia aloksan.
Sumber: Molinspiration Cheminformatics (2018)

Aloksan merupakan glukosa analog yang bersifat toksik dan dapat terakumulasi dalam sel β pankreas melalui transporter glukosan GLUT2. Aloksan secara selektif dapat menghambat sekresi insulin yang diinduksi glukosa melalui penghambatan spesifik glukokinase dan sensor glukosa sel beta. Kondisi tersebut dapat menyebabkan keadaan diabetes yang bergantung pada insulin. Aloksan juga dapat menginduksi pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang menyebabkan nekrosis selektif sel beta (Lenzen, 2008).

Aloksan telah banyak digunakan sebagai senyawa diabetogenik untuk hewan percobaan. Pemberian aloksan dilakukan dalam dosis tunggal ataupun ganda. Dosis yang dapat digunakan berkisar antara 90-200 mg/kg BB. Aloksan dapat diberikan secara intraperitoneal, intravena, maupun subkutan. Hingga saat ini,

pemberian secara intraperitoneal menjadi cara yang paling banyak digunakan (Ighodaro *et al.*, 2017).

Pada 30 menit pertama setelah injeksi aloksan akan terjadi fase hipoglikemik transien pertama. Respon hipoglikemik sementara tersebut terjadi akibat stimulasi sekresi insulin sementara. Fase kedua terjadi 1 jam setelah injeksi yang diindikasikan dengan penurunan insulin plasma dan peningkatan konsentrasi glukosa darah. Fase hiperglikemik pertama tersebut akan berlangsung selama 2-4 jam akibat dari penghambatan sekresi insulin (Lenzen, 2008).

Fase ketiga merupakan fase hipoglikemik yang terjadi 4-8 jam setelah injeksi dan dapat berlangsung selama beberapa jam. Fase ini dapat menyebabkan kejang dan berakibat fatal jika tanpa pemberian glukosa terutama ketika simpanan glikogen hati habis karena kelaparan. Setelah itu, terjadi fase keempat yang merupakan fase hiperglikemik diabetik permanen. Kerusakan sel beta mulai dapat terlihat dalam 12-48 jam (Lenzen, 2008). Fase terakhir tersebut dapat terjadi 24-48 jam setelah injeksi sehingga hewan percobaan akan mengalami diabetes permanen (Ighodaro *et al.*, 2017).

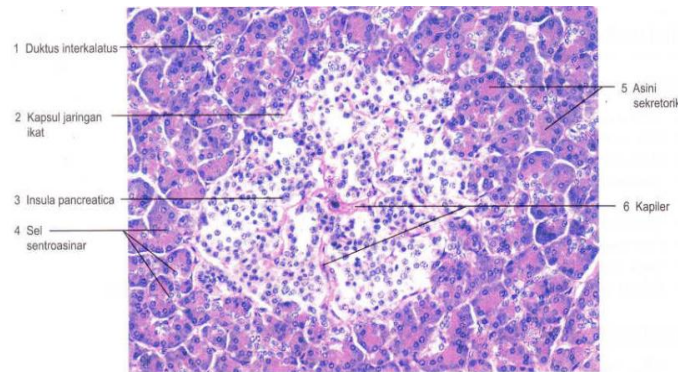
2.5. Histologi

Histologi merupakan cabang ilmu biologi anatomi yang mempelajari rentang susunan struktur sel-sel yang memiliki fungsi fisiologi yang sama dan tersusun menjadi satu jaringan yang kompleks (Eroschenko, 2010). Sedangkan histopatologi merupakan salah satu cabang biologi yang mempelajari kondisi dan fungsi jaringan dalam hubungannya dengan penyakit. Histopatologi sangat penting dalam kaitannya dengan diagnosis penyakit karena sebagai salah satu pertimbangan dalam penegakan diagnosis melalui hasil pengamatan pada jaringan yang diduga mengalami gangguan (Mescher, 2016).

2.5.1. Pankreas

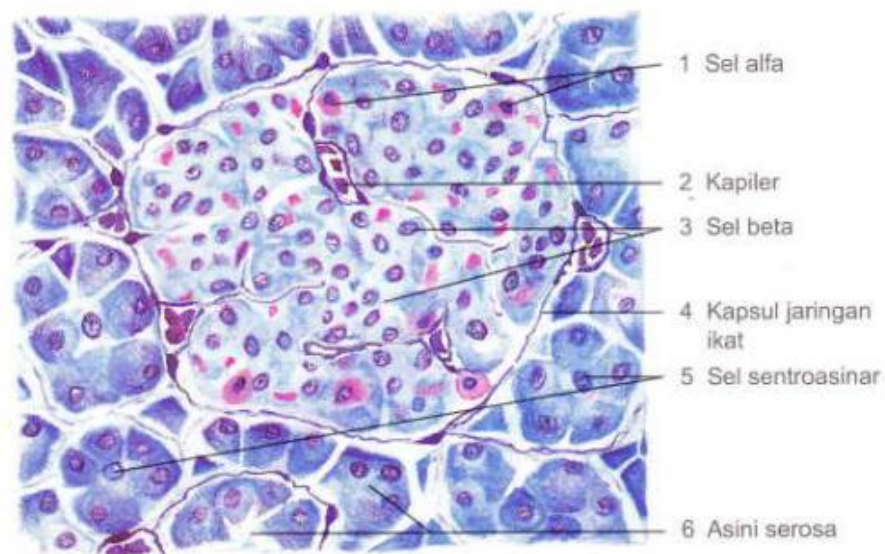
Pankreas merupakan organ yang terletak di bagian belakang lambung dan berbentuk memanjang (Eroschenko, 2010). Pankreas merupakan kelenjar eksokrin-endokrin yang dapat menghasilkan enzim pencernaan dan hormon.

Enzim pencernaan dihasilkan oleh sel eksokrin yang dikenal sebagai sel asinar, sedangkan hormon dihasilkan oleh sel endokrin pada pulau Langerhans (Mescher, 2016). Keberadaan kelenjar eksokrin pada pankreas lebih banyak dibandingkan dengan kelenjar endokrin. Sel asinar memiliki bentuk menyerupai piramid yang berisi granula sekretorik, yaitu enzim pencernaan pankreas yang tidak aktif (Eroschenko, 2010). Gambaran histologi pankreas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Histologi pankreas
Sumber: Eroschenko (2010)

Pulau Langerhans atau insula pancreatica merupakan kelenjar endokrin yang berada diantara kelenjar eksokrin asinar pankreas. Kelenjar endokrin ini merupakan unit terpisah yang lebih pucat, mengandung banyak pembuluh darah, dan dikelilingi oleh serat jaringan ikat (Eroschenko, 2010). Menurut Lognecker (2021), pulau-pulau kecil tersebar di seluruh lobulus asinar dan pulau-pulau besar umumnya terletak di sepanjang saluran utama dan interlobular pankreas. Pada umumnya, pulau Langerhans berbentuk elips, tetapi dapat juga memiliki bentuk tidak beraturan yang dibatasi oleh bidang jaringan. Pulau Langerhans memiliki diameter sekitar 100-200 μm yang mengandung ratusan sel. Setiap pulau Langerhans mengandung sel-sel bulat atau poligonal pucat yang berukuran lebih kecil dibandingkan dengan sel asinar disekitarnya (Mescher, 2016). Gambaran histologi pulau Langerhans dapat dilihat pada Gambar 6 dan jenis-jenis sel utamanya dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 6. Histologi pulau langerhans

Sumber: Eroschenko (2010)

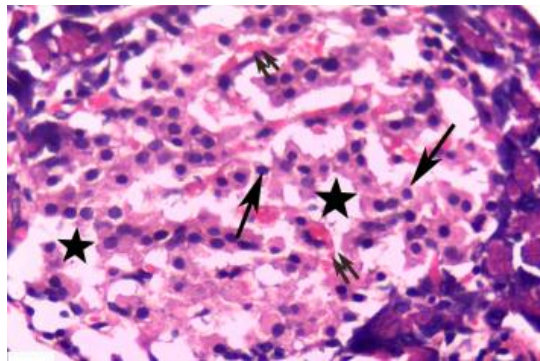
Tabel 1. Jenis-jenis sel utama pada pulau langerhans

Jenis Sel	Jumlah	Hormon	Fungsi
α	Hingga 20%	Glukagon	<ul style="list-style-type: none"> • Menghasilkan energi dari glikogen (glukogenesis) dan lemak (lipolisis) • Meningkatkan kadar gula darah
β	Hingga 70%	Insulin	<ul style="list-style-type: none"> • Membantu penyerapan glukosa ke dalam sel • Merangsang penurunan kadar glukosa darah
δ atau D	5-10%	Somatostatin	<ul style="list-style-type: none"> • Menghambat pelepasan hormon sel pulau Langerhans, GS dan TSH di kelenjar hipofisis, serta sekresi HCl oleh sel parietal lambung
F atau PP	Jarang	Polipeptida Pankreas	<ul style="list-style-type: none"> • Merangsang aktivitas sel <i>chief</i> lambung • Menghambat sekresi empedu, enzim pankreas, dan motilitas usus

Sumber: Mescher (2016)

Kerusakan kelenjar pankreas tentunya dapat mengganggu proses metabolisme di dalam tubuh. Kondisi diabetes mellitus menyebabkan kadar glukosa di dalam jaringan menurun, sedangkan kadar glukosa di dalam darah meningkat. Selain

itu, defisiensi ataupun resistensi insulin akan mengakibatkan peningkatan proses lipolisis dan ketogenesis (Wulandari dan Hapsari, 2013). Diabetes mellitus dapat terjadi akibat kerusakan pada pulau Langerhans pankreas, terutama pada sel β . Pada kondisi diabetes, pulau Langerhans dapat mengalami penurunan ukuran, jumlah, maupun bentuk. Selain itu, ikatan antara sel asinar dan pulau Langerhans dapat lepas sehingga sel-sel didalamnya juga dapat mengalami kerusakan. Kondisi tersebut memungkinkan sel β mengalami kerusakan, penurunan jumlah, dan bahkan tidak ditemukan lagi (Suarsana dkk., 2010). Gambaran histologi kerusakan pankreas pada kondisi diabetes mellitus dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Histologi pulau langerhans penderita diabetes (Panah: sel menjadi berukuran kecil dan inti menjadi lebih gelap; Bintang: vakuolasi sitoplasma; Panah ganda: kapiler darah padat) (Shawky *et al.*, 2020)

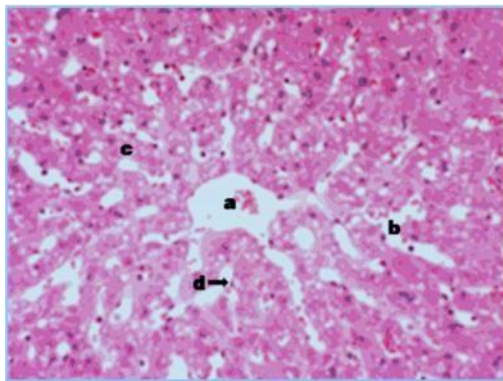
2.5.2. Hati

Hati merupakan salah satu organ yang memiliki berbagai macam aktivitas metabolisme (Salasia dan Hariono, 2010). Hati terletak pada bagian paling kranial dari abdomen dan tepat di belakang diafragma (Dyce *et al.*, 2002). Hati diselubungi oleh kapsula fibrosa yang dilindungi oleh peritoneum visceral (Martini, 1992). Hati merupakan organ dalam paling besar yang berperan utama dalam proses metabolisme tubuh. Hati memproduksi empedu yang akan membantu dalam pencernaan lemak, hati juga memproses asam amino, glukosa, asam lemak serta gliserol. Hati berfungsi menetralkan racun meskipun hati tidak memiliki perbendaharaan toksikologi untuk dapat membedakan antara racun dan makanan. Hati berperan dalam pencernaan terhadap sebagian besar bahan kimia

beracun melalui berbagai aktivitas enzim melalui degradasi dan konjugasi (Jeharatman dan Koh, 2005).

Aliran darah yang masuk menuju hati melalui dua sumber yaitu bagian terbesar melalui vena porta dan aliran yang lain melalui arteri hepatica. Keistimewaan yang dimiliki oleh hati yaitu sirkulasiya berbeda dari alat tubuh yang lain. Darah yang mengalir dalam hati terdiri dari 2/3 darah balik dan 1/3 darah nadi (Ressang, 1984). Vena porta dan arteri hepatica merupakan pembuluh darah di usus yang membawa nutrisi dan zat-zat lain yang diserap oleh usus. Nutrisi yang masuk ke dalam hati melalui aliran darah portal kemudian diolah dan keluar sebagai bahan baru dalam aliran darah (Hartono, 1992). Bakteri, darah merah yang sudah tua, toksin yang harus diolah, juga turut masuk ke hati untuk dihancurkan atau mungkin juga disimpan. Darah pada hati 75-80% berasal dari vena porta, sedangkan 20-25% dari arteri hepatica yang merupakan darah yang kaya oksigen (Lu, 1995).

Hati mencit terdiri dari empat lobus yang menyatu pada bagian dorsal, yaitu lobus median yang terbagi menjadi kiri dan kanan oleh bifurkatio, lobus lateral kiri, lobus lateral kanan yang terbagi secara horizontal menjadi anterior dan posterior, dan lobus kaudal yang terdiri dari bagian dorsal dan ventral (Harada *et al.*, 1999). Unit fungsi hati yang menyusun lobus hati disebut lobulus. Tiap lobulus terdiri dari prisma polihedral jaringan hepatic dengan panjang 2 mm dan lebar 1 mm (Frappier, 1998). Lobulus berisi sel epitel khusus yaitu hepatosit yang tersusun tidak teratur, bercabang dan antar sel saling berhubungan mengelilingi vena sentralis. Celah garis endotel pada kapiler disebut sinusoid yang merupakan tempat perlintasan darah. Dalam sinusoid terdapat sel fagositosis yang disebut sel Kuppfer yang berfungsi dalam menghancurkan leukosit dan eritrosit yang rusak, bakteri serta benda asing pada aliran pembuluh vena dari traktus gastrointestinalis (Tortora, 2005). Terdapat tiga zona dalam lobulus hati yaitu sentrolobular, midzonal dan periportal (Harada *et al.*, 1999). Histologi hati dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Histologi hati mencit, (a) Vena Sentralis, (b) sinusoid, (c) hepatosit, (d) sel endotel (Dellmann dan Eurell, 2006)

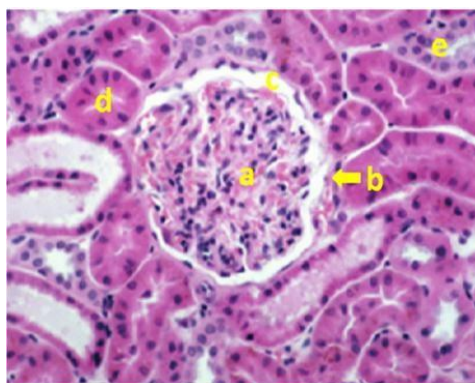
2.5.3. Ginjal

Ginjal merupakan alat utama yang sangat penting yang berfungsi untuk mengeluarkan sisa-sisa zat metabolisme tubuh, termasuk yaitu zat-zat toksik yang tidak sengaja masuk ke dalam tubuh. Sehingga ginjal menjadi salah satu organ sasaran utama dari efek toksik. Sebagai jalur utama ekskresi, urin, dapat mengakibatkan ginjal memiliki volume darah yang tinggi, mengkonsentrasikan toksikan pada filtrat, dan membawa toksikan melalui sel tubulus (Guyton dan Hall, 1997). Ginjal berfungsi dalam mengatur volume dan komposisi cairan tubuh (Henrikson, 1998).

Ginjal meregulasikan volume, komposisi ionik serta membuang zat yang tidak berguna dari darah. Oleh karena itu, ginjal disuplai oleh banyak darah (Tortora, 2005). Ginjal akan menerima darah dari arteri renalis (Martini, 1992) serta menerima *cardiac output* 20-25% . Ginjal menjalankan fungsi homeostatik yang sangat penting seperti ekskresi bahan-bahan tidak penting, pemeliharaan garam dan air di dalam tubuh, regulasi keseimbangan asam basa serta memproduksi berbagai macam hormon (eritropoietin, rennin, prostaglandin) termasuk metabolisme vitamin D dan menjadi bentuk aktifnya (Maxie, 1993). Beberapa kelainan–kelainan yang dapat terjadi pada ginjal seperti kongenital, lesio degeneratif, inflamasi dan gangguan sirkulasi, hiperlasia, dan neoplasia serta keracunan (Seely, 1999).

Ginjal menciit terletak retroperitoneal di kedua sisi tulang punggung yang berupa sepasang organ berbentuk seperti kacang. Kedua ginjal menciit dilapisi jaringan lemak dan tidak melekat secara langsung pada dinding tubuh. Ginjal menciit jantan lebih berat dan lebih besar. Ginjal kanan lebih besar, lebih berat, dan terletak lebih anterior. Tiap galur memiliki bentuk dan ukuran ginjal yang bervariasi, misalnya untuk galur C58, 10-20% dari galur tersebut hanya mendapati satu atau bahkan kedua ginjalnya mengecil atau hilang (Guyton dan Hall, 2010). Menurut Seely (1999) ginjal menciit memiliki tekstur yang lembut, berwarna coklat kemerahan, berada di dorsal dinding tubuh, dikelilingi jaringan lemak, dan termasuk unilobular dengan papilla tunggal.

Ginjal tersusun atas unit fungsional dan struktural yaitu nefron dan terdiri dari ribuan nefron. Tiap nefron terdiri dari korpus renalis dan tubulus renalis. Korpus renalis merupakan tempat dimana plasma darah difiltrasi sedangkan tubulus renalis mengabsorpsi dan mensekresikan cairan yang lewat. Korpus renalis dibagi menjadi dua bagian yaitu glomerulus (kapiler glomerulus) dan kapsula Bowman yang mengelilingi kapiler glomerulus. Sedangkan tubulus renalis terbagi atas tiga bagian yaitu tubulus proksimal, lengkung henle dan tubulus distalis (Tortora, 2005). Histologi ginjal dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Histologi ginjal menciit. (a) glomerulus, (b) kapsula bowman, tubulus proksimal, (d) tubulus distalis (Dellmann dan Eurell, 2006)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2022– Februari 2023 di Laboratorium Pengujian Mutu Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Laboratorium Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, dan Balai Besar Penyidikan dan Pengujian Veteriner Regional III Provinsi Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan beras analog adalah mesin pamarut, mesin ekstruder, blender, mixer, timbangan, ayakan, loyang, panci, baskom, dan kompor. Alat-alat lain yang digunakan adalah alat *accu check*, jarum suntik, kapas, alat-alat gelas, dan seperangkat kandang mencit percobaan untuk uji *in vivo*.

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan beras analog adalah, umbi porang, ubi kayu *waxy*, minyak kedelai, garam, kapur sirih, vanili, dan air. Hewan percobaan yang digunakan adalah mencit jantan berusia 2 bulan yang diperoleh dari peternakan mencit yang ada dikemiling, Bandar Lampung. Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan ransum adalah beras analog, beras IR64, pati jagung, kasein, sukrosa, L-sistein, kolin, minyak kedelai, CMC, vitamin *mix*, dan mineral *mix*.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini disusun dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial dengan 6 kali ulangan. Penelitian menggunakan 24 ekor mencit jantan yang dibagi menjadi 4 kelompok. Mencit akan diadaptasikan dalam kandang percobaan

selama 7 hari. Setiap kelompok akan diberikan perlakuan dan dipelihara selama 28 hari. Data yang diperoleh diuji keseragamannya dengan menggunakan uji *Bartlett* dan kemenambahan data diuji dengan uji *Tuckey*. Selanjutnya data dianalisis dengan sidik ragam untuk mendapatkan penduga ragam galat dan mengetahui pengaruh perlakuan. Kemudian data dianalisis dengan menggunakan uji BNT pada taraf 5%. Pembagian kelompok dan perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pembagian kelompok dan perlakuan

Kelompok	Jumlah Mencit	Perlakuan
Kontrol	6	Mencit sehat diberi ransum standar AIN 93M
I	6	Mencit diabetes diberi ransum standar AIN 93M
II	6	Mencit diabetes diberi ransum beras analog
III	6	Mencit diabetes diberi ransum beras IR64

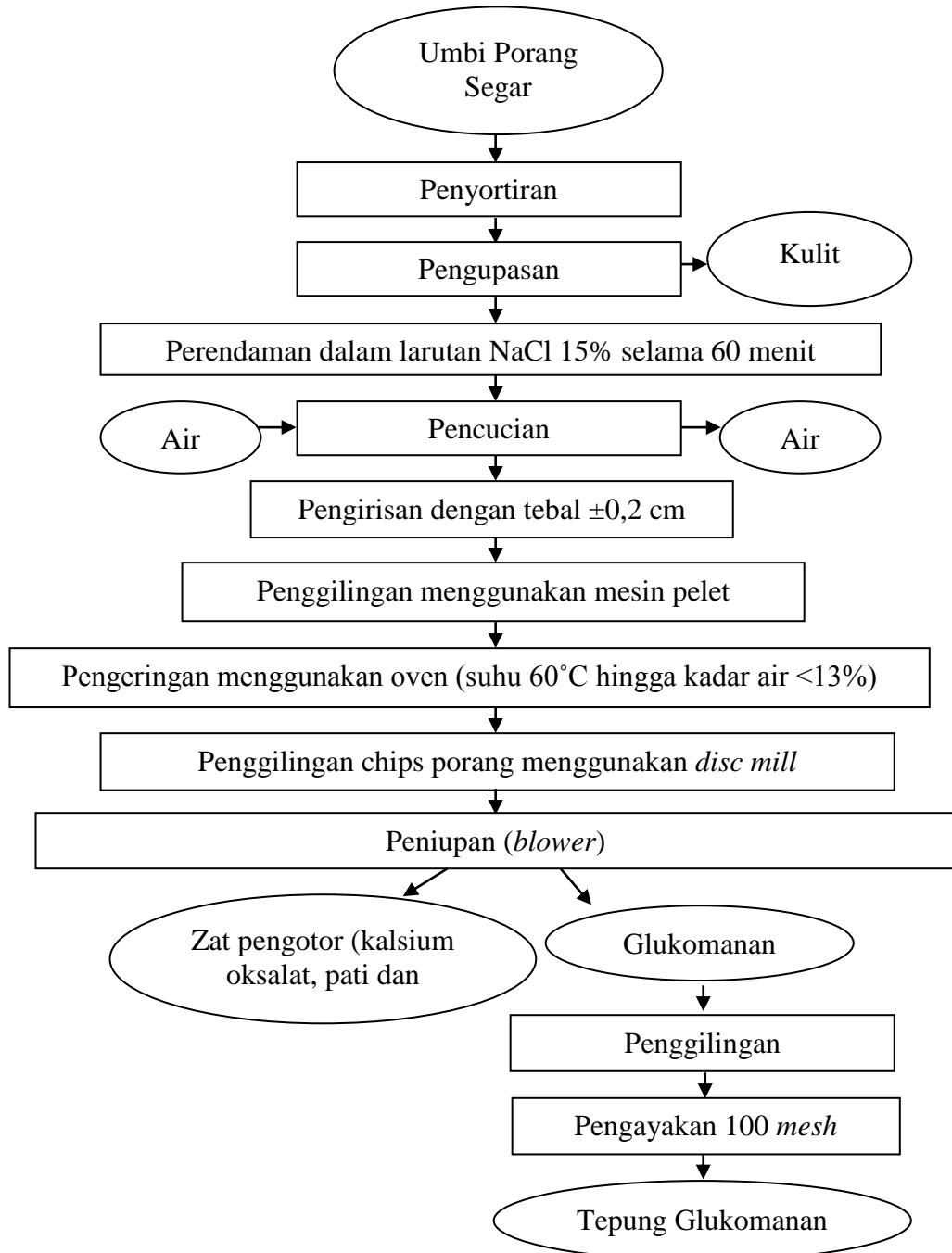
3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan Baku Beras Analog Ubi Kayu *Waxy* yang Disubstitusi Glukomanan

3.4.1.1. Pembuatan Glukomanan dari Umbi Porang Secara Mekanis

Proses pembuatan glukomanan dari umbi porang diawali dengan proses penyortiran, dimana dilakukan untuk umbi porang yang di panen pada umur $\pm 3-4$ setelah tanam. Setelah disortir dilakukan pengupasan kulit umbi porang menggunakan alat bantuan pisau. Selanjutnya dilakukan proses perendaman umbi porang menggunakan campuran NaCl 15% selama 60 menit. Kemudian dilakukan pencucian pada umbi porang menggunakan air mengalir, dan melakukan perendaman agar umbi porang tidak bereaksi dan berubah menjadi bewarna coklat. Proses selanjutnya pengirisan pada umbi porang dengan ketebalan $\pm 0,2$ cm menggunakan alat bantu pisau, setelah dilakukan proses pengirisan umbi porang digiling menggunakan mesin pelet. Setelah itu dilakukan proses pengeringan dimana kadar air dari umbi porang mencapai $<13\%$ selama 12 jam pada oven dengan suhu 60°C . Proses berikutnya penggilingan pada *chips* porang menggunakan *disc mill* yang telah dimodifikasi dengan tambahan pipa untuk peniupan (*blower*) dengan ukurang ketinggian 1 hingga 6 meter. Setelah terpisah

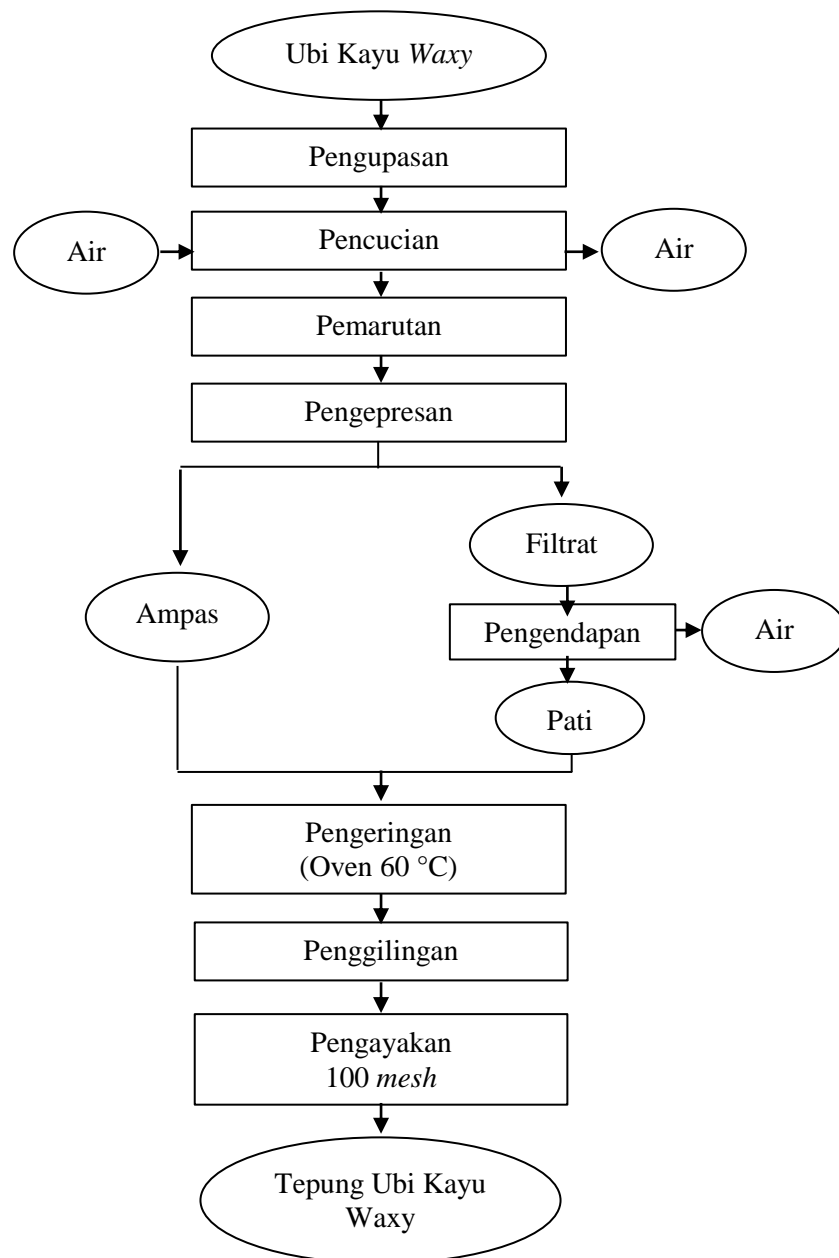
glukomanan dengan komponen zat pengotor, dilakukan penggilingan kembali glukomanan dengan alat tersebut agar glukomanan yang dihasilkan lebih murni. Proses berikutnya dilakukan pengayakan dengan 100 *mesh*. Berikut diagram alir pembuatan glukomanan dari umbi porang secara mekanis disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Pembuatan glukomanan dari umbi porang secara mekanis
 Sumber: Widjanarko *dkk.* (2015) dengan modifikasi

3.4.1.2. Pembuatan Tepung Ubi Kayu *Waxy*

Menurut Subeki *et al.* (2020) pembuatan tepung ubi *waxy* yang telah dimodifikasi diawali dengan penimbangan berat awal ubi kayu *waxy* yang berumur 8 bulan. Kemudian melakukan pemisahan kulit ubi kayu *waxy* dengan cara pengupasan dengan bantuan pisau. Setelah itu melakukan pencucian daging ubi kayu *waxy* menggunakan air didalam bak untuk memisahkan kotoran yang menempel pada ubi kayu *waxy*. Daging ubi kayu *waxy* yang telah dibersihkan lalu dilakukan pamarutan hingga ubi kayu *waxy* halus menjadi bubur. Bubur ubi kemudian ditambahkan air dan dipres sehingga pati lolos dari saringan sebagai suspensi pati. Lalu pati dikeringkan menggunakan *oven* hingga kadar air kurang dari 13%. Kemudian pati ubi kayu *waxy* yang telah kering digiling menggunakan grinder agar didapatkan tepung ubi kayu *waxy*. Setelah itu, hasil penggilingan diayak dengan ayakan 100 *mesh* agar didapatkan tepung ubi kayu *waxy* dengan tekstur yang lebih halus. Diagram alir pembuatan tepung ubi kayu *waxy* disajikan pada Gambar 11.

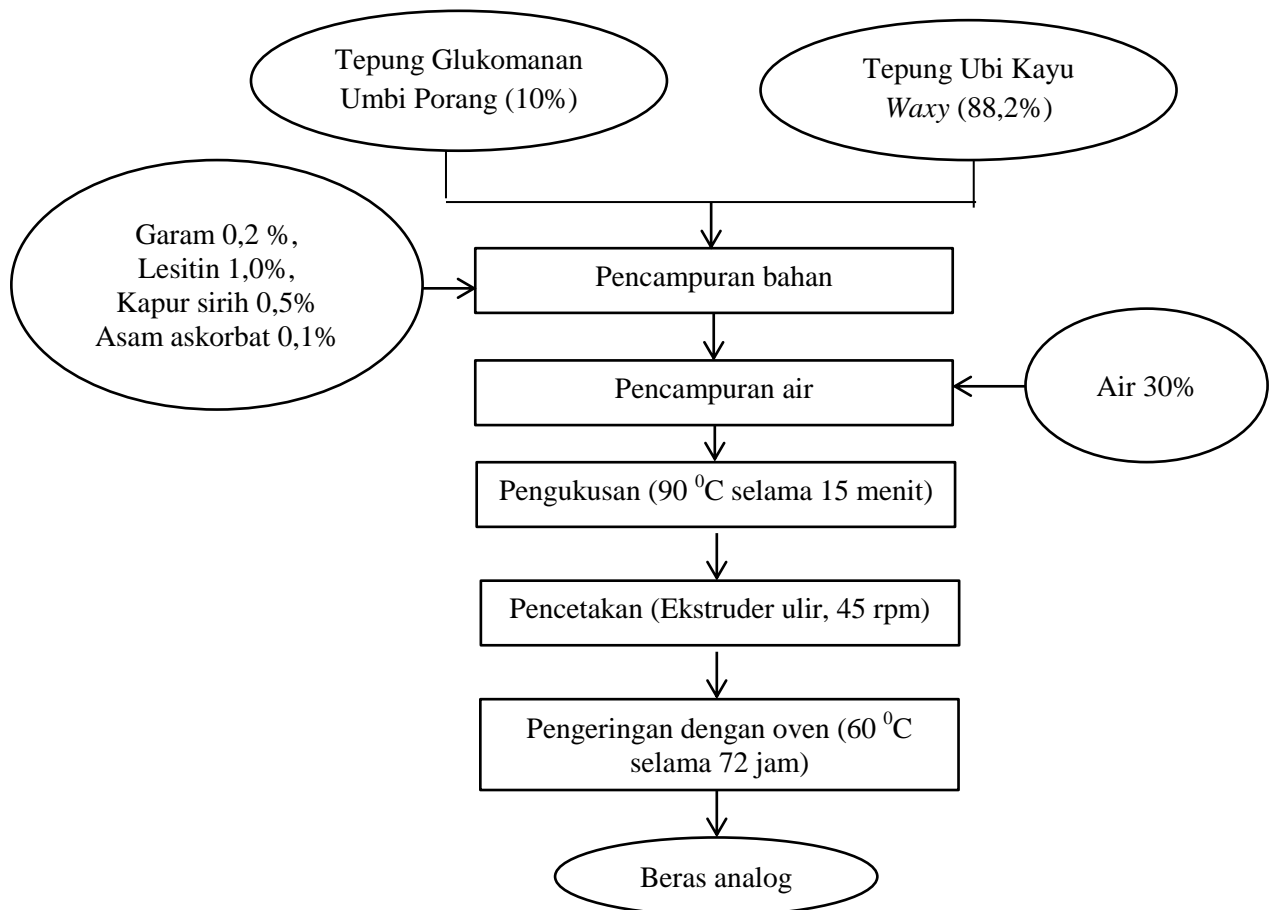


Gambar 11. Diagram alir pembuatan tepung ubi kayu waxy
 Sumber: (Subeki *et al.*, 2020b)

3.4.1.3. Pembuatan Beras Analog

Menurut Subeki *et al.* (2021) proses pembuatan beras analog yang telah dimodifikasi, dimana pembuatan beras analog yaitu campuran dari tepung ubi kayu *waxy* dan tepung glukomanan porang yang telah sesuai dengan perlakuan. Tahap pertama dalam pembuatan beras analog adalah pencampuran tepung ubi kayu *waxy* dan tepung glukomanan, lalu ditambahkan air, lesitin, kedelai, garam,

dan kapur sirih diaduk hingga kalis. Kemudian bahan yang sudah kalis dilakukan proses pengukusan dengan suhu 90°C selama 20 menit. Setelah pengukusan dilakukan pencetakan atau pembentukan menjadi butir-butir beras menggunakan mesin *ekstruder*. Butiran-butiran yang dihasilkan kemudian dikeringkan menggunakan *oven* pada suhu 60°C selama 72 jam. Selanjutnya, beras analog yang sudah berbentuk butiran beras dilakukan proses perebusan selama 1 menit, dan ditiriskan setelah ditiriskan dilakukan pengukusan selama 15 menit sambil diaduk beberapa kali. Beras analog yang sudah berbentuk nasi dikeringkan menggunakan *fluidized dryer* dengan suhu 130°C selama 10 menit, dilanjutkan dengan pendinginan menggunakan *blower* selama 2 menit. Diagram alir pembuatan analog disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram alir pembuatan beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan umbi porang (Subeki *et al.*, 2021)

3.4.2. Persiapan Hewan Percobaan

Bagian ini diawali dengan memilih hewan mencit putih jantan, dengan umur 2 bulan dan sehat. Pertama, mencit diadaptasikan selama 7 hari di kandang pemeliharaan hewan percobaan Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dan diberi makan dan minum secara *ad libitum*. Setelah itu mencit dikelompokkan menjadi 4 kelompok yang masing-masing kelompok berisi 6 ekor mencit. Kemudian mencit diinjeksikan aloksan dengan dosis 140 mg/kg BB secara intraperitoneal (Subeki *et al.*, 2016). Selanjutnya, mencit diberikan makan dan minum seperti biasa. Pada hari ke-5, mencit diukur kadar gula darah untuk mengetahui kondisi hiperglikemia (>200 mg/dL) sebagai indikasi penyakit diabetes. Penelitian ini sudah mendapat persetujuan dari komite ethical clearance Universitas Lampung dengan No.4179/UN26.18/PP.05.02.00/2022.

3.4.3. Uji Pemberian Beras Analog Terhadap Kadar Gula Darah

Uji pemberian beras analog umbi porang dilakukan pada 4 kelompok dengan 6 ekor mencit pada setiap kelompok. Setiap kelompok diberikan makan sesuai dengan perlakuan secara *ad libitum* selama 28 hari. Perlakuan tersebut terdiri dari ransum standar AIN 93M, ransum beras analog dan ransum beras IR64. Analisis proksimat beras analog ubi kayu *waxy* yang di substitusi glukomanan porang dan beras IR64 diperlukan dalam penyusunan ransum. Analisis proksimat yang dihasilkan berupa kadar air, abu, lemak, protein, karbohidrat dan serat kasar. Berikut hasil analisis proksimat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis proksimat beras analog dan beras IR64

Parameter	Beras Analog	Beras IR64
Air (%)	14,88	9,23
Abu (%)	2,73	0,35
Protein (%)	2,43	8,25
Lemak (%)	0,87	0,29
Karbohidrat (%)	79,08	81,88
Serat kasar (%)	1,84	0,09

Sumber : Subeki *et al.* (2021)

Hasil analisis proksimat beras analog dan Beras IR64 digunakan sebagai bahan ransum. Ransum disusun berdasarkan AIN 93M yang telah dimodifikasi. Berikut komposisi ransum dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi ransum AIN 93M yang telah dimodifikasi

Komposisi (g/100 g)	Mencit sehat + AIN 93M	Mencit diabetes + AIN 93M	Mencit diabetes + beras analog	Mencit diabetes + beras IR64
Beras analog	-	-	50	-
Beras IR64	-	-	-	50
Pati jagung	57	57	17,28	16,39
Kasein	14	14	12,78	9,87
Minyak kedelai	4	4	3,565	3,77
CMC	5	5	4,08	4,9
Air	5,07	5,07	-	-
Mineral mix	3,5	3,5	2,135	3,01
Vitamin mix	1	1	1	1
Sukrosa	10	10	10	10
L-cystine	0,18	0,18	0,18	0,18
Cholin	0,25	0,25	0,25	0,25
Total	100	100	101,27	99,381
Kalori	351,6	351,6	351,6	351,6
Protein	12%	12%	12,08%	12,60%

Sumber : Reeves *et al.* (2013) yang telah dimodifikasi.

3.5 Pengamatan

3.5.1 Kadar Gula Darah

Analisis kadar gula darah dilakukan berdasarkan metode Bahman dkk. (2019). Pengamatan terhadap kadar gula darah mencit dilakukan pada hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28. Pemeriksaan kadar gula darah mencit dilakukan menggunakan sampel darah dari vena ekor. Ekor mencit disterilkan dengan cara mengusapkan alkohol 70%. Ujung ekor mencit dilukai atau dipotong dan sampel darah ditempelkan pada strip alat *accu chek*. Kemudian kadar gula darah terbaca secara digital pada monitor alat.

3.5.2 Histologi Pankreas, Hati, dan Ginjal Mencit

Pankreas, hati dan ginjal mencit diamati pada hari ke 29. Pengamatan diawali dengan mematikan mencit dengan cara didekapitasi. Apabila mencit dirasa sudah mati, dilanjutkan pembedahan pada mencit dan diambil organ untuk dilakukan pembuatan preparat. Pembuatan preparat histologi dilakukan berdasarkan metode

dari Balai Besar Penyidikan dan Pengujian Veteriner Regional III Provinsi Lampung.

Pembuatan preparat dimulai dengan melakukan trimming. Pertama, spesimen berupa potongan organ atau jaringan tubuh yang telah dipilih segera difiksasi dengan larutan pengawet berupa Buffer formalin atau 10% formalin. Perbandingan antara volume spesimen dengan larutan adalah 1:10. Setelah itu, sampel organ atau jaringan dicuci dengan air mengalir. Kemudian sampel organ atau jaringan dipotong dengan ketebalan 2-4 mm. Potongan jaringan tersebut dimasukkan ke dalam “embedding cassette”. Satu “embedding cassette” dapat diisi 1-5 buah potongan jaringan yang disesuaikan dengan ukuran dari besar kecilnya potongan. Setelah itu, potongan jaringan dicuci dengan air mengalir.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan dehidrasi. Air dituntaskan dengan meletakkan “embedding cassette” pada kertas tisu. Perlakuan dilakukan secara berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Proses dehidrasi sampel jaringan

Tahap	Waktu	Zat Kimia
Dehidration	2 jam	Alkohol 80%
	2 jam	Alkohol 95%
	1 jam	Alkohol 95%
	1 jam	Alkohol Absolut I
	1 jam	Alkohol Absolut II
	1 jam	Alkohol Absolut III
	Clearing	1 jam
1 jam		Xylol II
1 jam		Xylol II
Impregnasi	2 jam	Parafin I
	2 jam	Parafin II
	2 jam	Parafin III

Prosedur selanjutnya adalah melakukan embedding. Sisa-sisa paraffin yang terdapat pada pan dibersihkan dengan memanaskan di atas api selama beberapa saat dan diusap dengan kapas. Paraffin cair disiapkan dan dimasukkan ke dalam cangkir logam untuk dioven dengan suhu diatas 58°C. Setelah itu, paraffin cair dituangkan ke dalam pan dan jaringan dipindahkan dari “embedding cassette” ke dasar pan satu persatu dengan mengatur jarak satu dengan yang lainnya. Selanjutnya, pan dimasukkan atau diapungkan ke dalam air. Kemudian paraffin

yang berisi jaringan tersebut dilepaskan dari pan dengan mengkondisikan suhu 4-6°C selama beberapa saat. Setelah itu, paraffin dipotong sesuai dengan letak jaringan dengan menggunakan skalpel / pisau hangat kemudian diletakkan pada balok kayu dan diratakan pinggirnya, serta dibuat ujungnya sedikit meruncing. Selanjutnya, blok paraffin siap dipotong dengan menggunakan mikrotom.

Pemotongan dilakukan pada ruangan dingin. Sebelum dipotong, blok terlebih dulu didinginkan. Kemudian dilakukan pemotongan kasar dan dilanjutkan pemotongan halus dengan ketebalan 4-5 mikron. Setelah pemotongan, lembaran jaringan yang paling baik dipilih untuk diapungkan pada air dan dihilangkan kerutannya dengan cara menekan salah satu sisi lembaran jaringan dengan ujung jarum dan sisi yang lain ditarik menggunakan kuas runcing. Selanjutnya, lembaran jaringan tersebut dipindahkan ke dalam waterbath selama beberapa detik hingga mengembang sempurna. Kemudian lembaran jaringan diambil menggunakan slide bersih dengan gerakan menyendok dan ditempatkan di tengah atau sampai pada sepertiga atas atau bawah, dicegah jangan sampai ada gelembung udara di bawah jaringan. Setelah itu, slide ditempatkan pada inkubator (suhu 37°C) selama 24 jam sampai jaringan melekat sempurna.

Tahap selanjutnya adalah melakukan staining (pewarnaan) dengan Harris Hematoxylin Eosin. Setelah jaringan melekat sempurna pada slide kemudian dipilih yang terbaik. Selanjutnya, secara berurutan dimasukkan ke dalam zat kimia yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Prosedur selanjutnya adalah mounting. Setelah pewarnaan, slide diletakkan di atas kertas tisu pada tempat datar, kemudian ditetesi dengan bahan mounting yaitu kanada balsam dan ditutup dengan cover glass. Slide dicegah jangan sampai terbentuk gelembung udara. Setelah itu, slide diperiksa di bawah mikroskop cahaya .

Tabel 6. Proses pewarnaan dengan harris hematoxylin eosin

Zat Kimia	Waktu
Xylol I	5 menit
Xylol II	5 menit
Xylol III	5 menit
Alkohol Absolut I	5 menit
Alkohol Absolut II	5 menit
Aquades	1 menit
Harri Hematoxylin	20 menit
Aquades	1 menit
Acid Alkohol	2-3 celupan
Aquades	1 menit
Aquades	15 menit
Eosin	2 menit
Alkohol 96% I	2 menit
Alkohol 96% II	3 menit
Alkohol Absolut III	3 menit
Alkohol Absolut IV	3 menit
Xylol IV	3 menit
Xylol V	3 menit

3.5.2.1. Pengamatan Pankreas Mencit

Slide pankreas mencit diperiksa di bawah mikroskop cahaya dengan perbesaran 400 kali. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap jaringan pankreas apabila terjadi kerusakan. Skor kerusakan diberikan secara semikuantitatif berdasarkan tingkat keparahan yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Skor tingkat keparahan kerusakan pada pulau langerhans

Skor	Keterangan
0	Normal, tidak ada perubahan batas pada pulau langerhans, jumlah sel dan bentuk sel
1	Batas pada pulau langerhans jelas, jumlah sel mulai berkurang, nekrotik sel belum terlihat, hanya degenarasi sel, dan bentuk sel normal
2	Batas pada pulau langerhans mulai tidak jelas, jumlah sel berkurang, degenerasi sel, dan bentuk sel ada yang tidak normal
3	Batas pada pulau langerhans tidak jelas, jumlah sel berkurang, terdapat nekrosis sel, dan bentuk sel banyak yang tidak normal
4	Batas pada pulau langerhans sangat tidak jelas, jumlah sel banyak berkurang dan hampir keseluruhan mengalami nekrosis, dan bentuk sel tidak normal

Sumber: (Tandi *et al.*, 2017)

3.5.2.2. Pengamatan Hati Mencit

Pengamatan preparat dilakukan menggunakan mikroskop cahaya pada pembesaran 400 kali sebanyak 5 lapang pandang dan dilakukan skoring keadaan hati tersebut. Hasil dari kelima lapang pandang ini selanjutnya dirata-rata. Skor penilaian kerusakan hepatosit dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Skoring kerusakan sel hati

Skor	Keterangan
0	Pada 1 lapang pandang tidak ditemukan sel degenerasi dan nekrosis
1	Pada 1 lapang pandang ditemukan 1-20% sel degenerasi dan nekrosis
2	Pada 1 lapang pandang ditemukan 21-50% sel degenerasi dan nekrosis
3	Pada 1 lapang pandang ditemukan 51-75% sel degenerasi dan nekrosis (kerusakan ringan)
4	Pada 1 lapang pandang ditemukan >75% degenerasi dan nekrosis (kerusakan berat)

Sumber: (Sa'diyah dan Hariani, 2021)

3.5.2.3. Pengamatan Ginjal Mencit

Gambaran kerusakan ginjal dilihat melalui pengamatan mikroskopis dengan pewarnaan Hematoxilin Eosin. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop 400x. Kerusakan ginjal yang paling sering dan mudah diamati secara histopatologi adalah kerusakan glomerulus dan tubulus, sehingga kerusakan ginjal lebih mudah dinilai dari skor kerusakan glomerulus dan skor kerusakan tubulus (Tabel 9). Penilaian derajat kerusakan ginjal diambil dari kerusakan tertinggi kemudian dihitung dari total kerusakan glomerulus dan total kerusakan tubulus ginjal dengan skor kerusakan yaitu 0-6.

Tabel 9. Skoring kerusakan sel ginjal

Skor	Kerusakan	
	Glomerulus	Tubulus
0	Normal	Normal
1	Infiltrasi sel radang	Infiltrasi sel radang
2	Edema spatium Bowman	Pembengkakan sel epitel tubulus
3	Nekrosis	Nekrosis

Sumber: (Muhartono *et al.*, 2016)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah

1. Pemberian beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan umbi porang pada mencit yang diinduksi aloksan dapat menurunkan kadar gula darah menjadi 117,33 mg/dL pada hari ke-14.
2. Pemberian beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan umbi porang pada mencit yang diinduksi aloksan dapat mempercepat penyembuhan pankreas, hati, dan ginjal dengan skor secara berurutan sebesar 1,23, 1,67, dan 0,63.

5.2. Saran

Penelitian selanjutnya dapat melakukan uji klinis dari beras analog ubi kayu *waxy* yang disubstitusi glukomanan umbi porang terhadap responden manusia agar dapat dimanfaatkan penggunaannya untuk kesehatan terutama pada penderita diabetes.

DAFTAR PUSTAKA

- Agata, A., Widiastuti, E. L., dan Susanto, G. N. 2017. Respon Histopatologis Hepar Mencit (*Mus musculus*) yang Diinduksi Benzo(α)Piren terhadap Pemberian Taurin dan Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata*). *Jurnal Natur Indonesia* 16(2): 54.
- Agusman, Apriani, S.N.K., dan Murdinah. 2014. Penggunaan Tepung Rumput Laut *Eucheuma cottonii* pada Pembuatan Beras Analog dari Tepung Modified Cassava Flour (Mocaf). *JPB Perikanan* 9(1): 1-10.
- Agustyn, G.H., Polnaya, F.J., dan Parinusa, A. 2007. Karakterisasi Beberapa Sifat Pati Ubi Kayu (*Manihot esculenta* Crantz). *Buletin Pertanian BIAM* 3(51):35-39.
- Aiemnaka, P., Wongkaew, A., Chanthaworn, J., Nagashima, S. K., Boonma, S., Authapun, J., Jenweerawat, S., Kongsila, P., Kittipadakul, P., Nakasathien, S., Sreewongchai, T., Wannarat, W., Vichukit, V., López-Lavalle, L. A. B., Ceballos, H., Rojanaridpiched, C., and Phumichai, C. 2012. Molecular Characterization of a Spontaneous Waxy Starch Mutation in Cassava. *Crop Science* 52(5): 2121–2130.
- Aini, N., Wijonarko, G., dan Sustriawan, B. 2016. Sifat fisik, kimia, dan fungsional tepung jagung yang diproses melalui fermentasi. *Agritech* 36 (2): 160-169.
- Akhriani, M., Fadhilah, E., dan Kurniasari, F. N. 2019. Efektivitas Senam Jantung Sehat dalam Menurunkan Tekanan Darah pada Lansia Hipertensi. *Indonesian Journal of Human Nutrition* 3(1): 29–40.
- Alamsyah, M. A. B. O. 2019. Pengaruh Glukomanan Terhadap Penurunan Risiko Penyakit Stroke Iskemik. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada* 10(2): 292–298.
- Al-Rasyid, H., Subeki, S., Satyajaya, W., dan Saptomi, A. 2017. Study on Ascorbic Acid for Fortification of Rice Cassava. *Jurnal Agroindustri* 7(2): 72–83.
- Amani, Z. A., dan Mustarichie, R. 2018. Antihyperglycemic activity of several plants in Indonesia. *Farmaka* 116(1): 127–132.
- Annisa, T., Sitasiwi, A. J., Isdadiyanto, S., dan Jannah, S. N. 2021. Studi Histopatologi Ren Tikus Putih (*Rattus Norvegicus* L.) Diabetes Setelah Pemberian Cuka dari Kulit Nanas (*Ananas Comosus* (L.) Mer.). *Jurnal Sain*

Veteriner 39(3): 256.

- Anyakudo, M. 2014. Comparative Effects of Low- and High-Glycemic Index Diets on Biochemical Variables and Organ Histology in Alloxanized Diabetic Rats. *British Journal of Applied Science dan Technology* 4(28): 4083–4096.
- Arif, A. Bin, Budiyanto, A., and Hoerudin. 2013. Glicemic Index of Foods and Its Affecting Factors. *Jurnal Litbang Pertanian* 32(3): 91–99.
- Arif, A. Bin, Budiyanto, A., dan Hoerudin. 2014. Nilai Indeks Glikemik Produk Pangan dan Faktor-Faktor yang Memengaruhinya. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian* 32(3): 91–99.
- Asmat, U., Abad, K., and Ismail, K. 2016. Diabetes mellitus and oxidative stress—A concise review. *Saudi Pharmaceutical Journal* 24(5): 547–553.
- Assiam, N., Setyawati, I., dan Sudirga, S. K. 2014. Pengaruh Dosis dan Lama Perlakuan Ekstrak Daun Kaliandra Merah (*Calliandra calothyrsus* Meissn.) Terhadap Struktur Histologi Ginjal Mencit (*Mus musculus* L.). *Jurusan Biologi FMIPA Universitas Udayana* 2(2): 3–13.
- Augustin, L. S. A., Kendall, C. W. C., Jenkins, D. J. A., Willett, W. C., Astrup, A., Barclay, A. W., Björck, I., Brand-Miller, J. C., Brighenti, F., Buyken, A. E., Ceriello, A., La Vecchia, C., Livesey, G., Liu, S., Riccardi, G., Rizkalla, S. W., Sievenpiper, J. L., Trichopoulou, A., Wolever, T. M. S., and Poli, A. 2015. Glycemic Index, Glycemic Load and Glycemic Response: An International Scientific Consensus Summit from The International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 2(5): 795–815.
- Bagus, I., Winaya, O., dan Udayana, U. 2013. Histopatologi ginjal tikus putih akibat pemberian ekstrak pegagan (*Centella asiatica*) peroral. *Buletin Veteriner Udayana* 5(1): 71–78.
- Bahman, D. S., Yuliet, dan Ihwan. 2019. Efek Akar *Garcinia rostrata* Hassk.ex Hook.f terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah Mencit Jantan (*Mus musculus*) yang Diinduksi Aloksan. *Biocелеbes* 13(1): 21–29.
- Barata, I. K., Winaya, I. B. O., dan Mirah, A. A. A. 2015. Patologi Veteriner Umum. In I. M. Kardena (Ed.), *Swasta Nulus* (3rd ed.). Swasta Nulus.
- Budijanto, S., Andri, Y., Faridah, D., dan Noviasari, S. 2017. Karakterisasi Kimia dan Efek Hipoglikemik Beras Analog Berbahan Dasar Jagung, Sorgum, dan Sagu Aren. *Agritech* 37(4): 402–409.
- Bulu, A., Wahyuni, T. D., dan Sutriningsih, A. 2019. Hubungan Antara Tingkat Kepatuhan Minum Obat Dengan Kadar Gula Darah Pada Pasien Diabetes Melitus Tipe II. *Ilmiah Keperawatan* 4(1): 181–189.
- Carolin dan Rahardjo. 2015. Potensi Glukomanan Pada Tanaman Endemik Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri blumei*) Sebagai Pangan Terapi (Konyaku) Bagi Penderitadiabetes Mellitus. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents* 3(4): 49–58.

- Ceballos, H., Sánchez, T., Morante, N., Fregene, M., Dufour, D., Smith, A. M., Denyer, K., Pérez, J. C., Calle, F., dan Mestres, C. 2007. Discovery of an Amylose-free Starch Mutant in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(18): 7469–7476.
- Daeli, E., Ardiaria, M., dan Candra, A. 2018. Pengaruh Pemberian Nasi Beras Merah (*Oryza nivara*) dan Nasi Beras Hitam (*Oryza sativa* L.indica) terhadap Perubahan Kadar Gula Darah dan Trigliserida Tikus Wistar (*Rattus norvegicus*) Diabetes Melitus Tipe 2. *Journal of Nutrition and Health* 6(2): 43.
- Damat, D., Tain, A., Siskawardani, D. D., Sri, W., dan Ayu, R. 2020. Teknologi Proses Pembuatan Beras Analog Fungsional. Universitas Muhammadiyah Malang. Malang. 93 hlm.
- Dirjen Kesehatan Masyarakat. 2018. Tabel Komposisi Pangan Indonesia. Kementerian Kesehatan RI.
- Dirjen Pencegahan dan Pengendalian Penyakit. 2019. Buku Pintar Kader Posbindu. Kementerian Kesehatan RI.
- Diyah, N. W., Ambarwati, A., Warsito, G. M., Niken, G., Heriwiyan, E. T., Windysari, R., Prismawan, D., Hartasari, R. F., dan Purwanto, P. 2018. Evaluasi Kandungan Glukosa Dan Indeks Glikemik Beberapa Sumber Karbohidrat Dalam Upaya Penggalan Pangan Ber-Indeks Glikemik Rendah. *Jurnal Farmasi Dan Ilmu Kefarmasian Indonesia* 3(2): 67.
- Dyce, K. M., W.O. Sack., C. J.G. Wensing. 2002. Textbook of Veterinary Anatomy. Ed ke-3. Elsevier. Philadelphia. 864 p.
- Eroschenko, V.P. 2010. Atlas Histologi diFiore: dengan Korelasi Fungsional Edisi 11 terjemahan Pendit, B.U., editor edisi Bahasa Indonesia Dharmawan, D. dan Yesdelita, N. Penerbit EGC. Jakarta. 162 hlm.
- Fajri, A. N., Rumitasari, A., Andriani, J., Azizah, S. N., dan Luthfiah, N. 2020. Camilan Sehat Rendah Indeks Glikemik Sebagai Alternatif Pencegahan Penderita Diabetes. *Jurnal ABDI* 2(1): 59–67.
- Fajriah, F., Faridah, D. N., dan Herawati, D. 2022. Penurunan Indeks Glikemik Nasi Putih dengan Penambahan Ekstrak Serai dan Daun Salam [Decreasing White Rice Glycemic Index by the Addition of Lemongrass and Indonesian Bay Leaves]. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* 33(2): 169–177.
- Faridahanum, S. D., Nurwidya, F., and Wulandari, Y. 2021. The effect of dietary fiber on insulin resistance in obesity: A literature review. *World Nutrition Journal* 4(2): 65–72.
- Fergiyanti, D. S., dan Nangameka, Y. 2018. Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perilaku Konsumen Dalam Pembelian Beras IR 64 di Pasar Tradisional (Studi Kasus Di Pasar Tradisional Kecamatan Panji Kabupaten Situbondo). *Agribios* 16(2): 39–48.
- Firdausia, R. S., Rumiati, Nugroho, A. E., Purwestri, Y. A., and Pranoto, Y. 2021. The effect of functional rice analogue diet from mocaf, corn, pigeon

- pea and seaweed on rats model of type 2 diabetes. *Food Research* 5(4): 238–247.
- Frappier, B. L. 1998. Digestive System. Di dalam: Dellmann HD, Eurell JA, editor. *Textbook of Veterinary Histology*. Ed ke-5. Lippincott Williams dan Wilkins. Maryland. Hlm 164-202.
- Gomand, S.V., Lamberts, L., Visser, R.G.F., and Delcour, J.A. 2010. Physicochemical Properties of Potato and Cassava Starches and Their Mutants in Relation to Their Structural Properties. *Food Hydrocolloids* 24(4):424–433.
- Grossman, E. J., Lee, D. D., Tao, J., Wilson, R. A., Park, S. Y., Bell, G. I., and Chong, A. S. 2010. Glycemic control promotes pancreatic beta-cell regeneration in streptozotocin-induced diabetic mice. *PLoS ONE* 5(1): 1–6.
- Guyton, A. C., Hall, J. E. 1997. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 9. EGC. Jakarta. 1428 hlm.
- Guyton, A.C dan Hall. 2010. *Fisiologi Kedokteran edisi ke 12*. Penerjemah: Widjajakusuma MH dan Tanzil A. Jakarta. 612 hlm.
- Harada, T., E. Akiko., A. B. Gary., R. M. Robert. 1999. Liver and Gallblader. Di dalam: Maronpot RR, Gary AB, Beth WG, editor. *Pathology of The Mouse*. Cache River Press. USA. Hlm 119-171.
- Hartono. 1992. *Histologi Veteriner. Organologi*. Laboratorium Histologi Jurusan Anatomi Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor. Bogor. 90 hlm.
- Hayati, H., Sunaryo, H., dan Syahbandono, T. H. 2014. Efek Hepatoprotektor Fraksi Etil Asetat Daun Sangitan (*Sambucus canadensis L.*) pada Tikus Sprague Dawley. *Media Farmasi: Jurnal Ilmu Farmasi* 11(1):66-72.
- Henrikson, C. 1998. Urinary System. Di dalam: Dellmann HD, Eurell JA, editor. *Textbook of Veterinary Histology*. Ed ke-5. Lippincott Williams dan Wilkins. Maryland. Hlm 203-225.
- Herawati, E.R.N. 2013. *Pengaruh Konsumsi Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (Ipomoea batatas L) Terhadap Glukosa Darah, Status Antioksidan Darah, dan Gambaran Histopatologis Pankreas Tikus Hiperglikemia induksi Alokasan* (Tesis). Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 103 hlm.
- Herlina, D., Nesha, T., Noor, F., Okki, A, D, E., dan AI, D. 2018. Pengaruh Pemberian Beras Merah Terhadap Kadar Gula Darah Tikus Wistar. *Media Medika Muda* 2(2): 343–354.
- Hidayat, B., Akmal, S., Surfiana, S., dan Suhada, B. 2016. Beras Siger (Tiwul/Oyek Yang Telah Dimodernisasi) Sebagai Pangan Fungsional Dengan Kandungan Indeks Glikemik Rendah. *Prosiding Seminar Nasional Hari Tempe Nasional, September 2016*: 57–66.
- Hu, S., Kuwabara, R., de Haan, B. J., Smink, A. M., and de Vos, P. 2020. Acetate and butyrate improve β -cell metabolism and mitochondrial respiration under oxidative stress. *International Journal of Molecular Sciences* 21(4): 74-86

- Ighodaro, O. M., Adeosun, A. M., and Akinloye, O. A. 2017. Alloxan-induced diabetes, a common model for evaluating the glycemic-control potential of therapeutic compounds and plants extracts in experimental studies. *Medicina (Lithuania)* 53(6): 365–374.
- Jeharatnam dan David, K. 2005. Bahan Ajar Praktik Kedokteran Kerja ed 1. EGC. Jakarta. 182 hlm.
- International Diabetes Federation. 2021. IDF Diabetes Atlas 10th Edition. In *Diabetes Research and Clinical Practice*. International Diabetes Federation. 141 hlm.
- Kementerian Kesehatan RI. 2020. Infodatin tetap produktif, cegah, dan atasi Diabetes Melitus 2020. In *Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI*: 1–10.
- Kementerian Pertanian. 2019. Data Lima Tahun Terakhir <https://www.pertanian.go.id/home/?show=page&act=view&id=61>. Diakses pada 2 desember 2022.
- Kim, H. K., Nanba, T., Ozaki, M., Chijiki, H., Takahashi, M., Fukazawa, M., Okubo, J., and Shibata, S. 2020. Effect of the intake of a snack containing dietary fiber on postprandial glucose levels. *Foods* 9(10): 1–11
- Kumara, P. P., Hairrudin, H., dan Normasari, R. 2021. Beras Analog dapat Mencegah Kerusakan Ginjal pada Tikus Induksi Kombinasi HFD dan STZ. *Indonesian Journal of Human Nutrition* 8(1): 8–20.
- Lal, B. S. 2016. Diabetes : Causes , Symptoms and Treatments. In *Public Health Environment and Social Issues*. India. pp. 55–67.
- Lenzen, S. 2008. The Mechanism of Alloxan and Streptozotocin-induced Diabetes. *Diabeteologia* 51:216-226.
- Lestari, Zulkarnain, dan Sijid, S. A. 2021. Diabetes Melitus: Review Etiologi, Patofisiologi, Gejala, Penyebab, Cara Pemeriksaan, Cara Pengobatan dan Cara Pencegahan. *UIN Alauddin Makassar* 11(2): 237–241.
- Li, H. T., Zhang, W., Zhu, H., Chao, C., and Guo, Q. 2023. Unlocking the Potential of High-Amylose Starch for Gut Health: Not All Function the Same. *Fermentation* 9(2): 1–17.
- Lu, F.C. 1995. Toksikologi Dasar Asas Organ dan Penilaian Resiko Edisi 2. UI. Press. Jakarta. 428 hlm.
- Lubis, U. F., Marusin, N., dan Zakaria, I. J. 2014. Analisis Histologis Hati Ikan Asang (*Osteochilus hasseltii* CV) di Danau Maninjau dan Danau Singkarak, Sumatera Barat. *Jurnal Biologi UNAND*, 3(2), 162–167.
- Martini, F. 1992. *Fundamentals of Anatomy and Physiology*. Ed ke-2. A Simon and Schuster Company. USA . 1264 p.
- Maxie, M.G. 1993. *The Urinary System*. Di dalam: Jubb KVF, Peter CK dan Nigel P, editor. *Pathology of Domestic Animals*. Ed ke-4. Volume ke-2. Academic Press. London. Hlm 447-538.

- McMillan-Price, J., dan Brand-Miller, J. 2006. Low-glycaemic Index Diets and Body Weight Regulation. *International Journal of Obesity* 2(6): 40–46
- Mescher, A.L. 2016. Histologi Dasar Junqueira: Teks dan Atlas Edisi 14. Penerbit EGC. Jakarta. 122 hlm.
- Mishra, A., Mishra, H. N., dan Rao, P. S. 2012. Preparation of Rice Analogues using Extrusion Technology. *International Journal of Food Science and Technology* 47(1): 1789–1797.
- Muhartono, Windarti, S., Liantari, I., Septia, D., dan Susianti. 2016. Risiko Herbisida Paraquat Diklorida terhadap Ginjal Tikus Putih Sprague Dawley. *Jurnal Kedokteran Brawijaya* 29(1): 43–46.
- Novia, G. T. 2020. Histopathology of rat's (*rattus norvegicus*) kidney After metal material wire implantation. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner (JIMVET) Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Syiah Kuala* 4 (2): 101–106.
- Nubatonis1, D. C., Ndaong, N. A., dan Selan, Y. N. 2015. Pengaruh Pemberian Ekstrak Etanol Daun Sambiloto (*Andrographis paniculata* Nees) Terhadap Histopatologi Pankreas Mencit (*Mus musculus*) Diabetes Melitus (DM) Tipe I. *Jurnal Kajian Veteriner* 3(2): 146–167.
- Nurdiantini, I., Prastiwi, S., dan Nurmaningsari, T., Fatonah, S., Rihiantoro, T., Irawan, H., dan Ari, S. 2017. Pengaruh Pemberian Tepung Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) Terhadap Kadar Hdl Pada Tikus (*Rattus norvegicus*) Strain Wistar DM Tipe 2. *Journal Nursing News* 2 (2): 31–37.
- Pingitore, A., Gonzalez-Abuin, N., Ruz-Maldonado, I., Huang, G. C., Frost, G., and Persaud, S. J. 2019. Short chain fatty acids stimulate insulin secretion and reduce apoptosis in mouse and human islets in vitro: Role of free fatty acid receptor 2. *Diabetes, Obesity and Metabolism* 21(2): 330–339.
- Plasma, I., Diinduksi, S., Yuniastuti, A., Susanti, R., dan Iswari, R. S. 2018. Efek Infusa Umbi Garut (*Marantha arundinacea* L) Terhadap Kadar Glukosa dan Insulin Plasma Tikus yang Diinduksi Streptozotocyn. *Jurnal Mipa* 41(1): 34–39.
- Pricilla, M., Buana, H. N., and Gustav, E. O. 2020. Hypoglycemic Effects of Analog Rice Based from Arrowroot (*Marantha arundinacea* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on Blood Sugar Level and Pancreas Histopathology of Diabetic Rat. *Journal of Diabetes dan Metabolism* 11(1): 1–6.
- Radenković, M., Stojanović, M., and Prostran, M. 2016. Experimental diabetes induced by alloxan and streptozotocin: The current state of the art. *J Pharmacol Toxicol Methods* 78(1): 13–31.
- Raemakers, K., Schreuder, M., Suurs, L., Furrer-verhorst, H., Vincken, J., Vetten, N. De, Jacobsen, E., and Visser, R. G. F. 2005. Improved Cassava Starch by Antisense Inhibition of Granule-bound Starch Synthase I. *Molecular Breeding* 16(1): 163–172.
- Rahman, S. S., Yasmin, N., Mizanur Rahman, A. T. M., Zaman, A., Rahman, M. H., and Abdur Rouf, S. M. 2017. Evaluation and optimization of effective-

- dose of alloxan for inducing type-2 diabetes mellitus in long evans rat. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research* 51(4): 661–666.
- Rias, A. Y., dan Sutikno, E. 2017. Hubungan Antara Berat Badan Dengan Kadar Gula Darah Acak Pada Tikus Diabetes Mellitus. *Jurnal Wiyata* 4 (1): 72–77.
- Sa'diyah, L., dan Hariani, D. 2021. Efek Pemberian Epigallocatechin 3-galllate (EGCG) terhadap Kadar Glukosa Darah dan Histopatologi Hepar Mencit Diabetes yang Diinduksi Aloksan. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 9(1), 67–73.
- Salasia, S.I.O dan B. Hariono. 2010. Patologi Klinik Veteriner:Kasus Patologi Klinis. Samudra Biru. Yogyakarta. 40 Hlm.
- Saleh, N., Taufiq, A., Widodo, Y., Sundari, T., Gusyana, D., Rajagukguk, R. ., dan Suseno, S. 2016. *Pedoman Budi Daya Ubi Kayu di Indonesia*. IAARD Press. 88 hlm.
- Sánchez, T., Dufour, D., Moreno, I. X., and Ceballos, H. 2010. Comparison of Pasting and Gel Stabilities of Waxy and Normal Starches from Potato, Maize, and Rice with Those of a Novel Waxy Cassava Starch under Thermal, Chemical, and Mechanical Stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58(8): 5093–5099.
- Sari, W., Okavia, I. W., Ceriana, R., dan Sunarti, S. 2017. Struktur Mikroskopis Hati Ikan Seurukan (*Osteochilus vittatus*) dari Sungai Krueng Sabee Kabupaten Aceh Jaya yang Tercemar Limbah Penggilingan Bijih Emas. *BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi Dan Kependidikan* 4(1): 33.
- Satyajaya, W., Subeki, Utomo, T. P., Rasyid, H. Al, dan Diniarti, S. 2017. Pengaruh Konsumsi Beras Siger dari Ubi Kayu terhadap Kadar Glukosa Darah manusia. *Prosiding-Pertemuan Tahunan Dan Seminar Nasional APTA*: 272–281.
- Seely, J. C. 1999. Kidney. Di dalam: Maronpot RR, Gary AB, Beth WG, editor. *Pathology of The Mouse*. Cache River Press. USA. Hlm 207-226.
- Setadi, E., Peniati, E., Susanti, R. 2020. Pengaruh Ekstrak Kulit Lidah Buaya Terhadap Kadar Gula Darah Dan Gambaran Histopatologi Pankreas Tikus Yang Diinduksi Aloksan. *Life Science* 9 (2): 171–185.
- Shawky, L.M., Morsi, A.A., Bana, E.E., and Hanafy, S.M. 2020. The Biological Impacts of Sitagliptin on the Pancreas of a Rat Model of Type 2 Diabetes Mellitus: Drug Interactions with Metformin. *Biology* 9(6): 1-27.
- Solfaine, R., Muniroh, L., and Hamid, I. S. 2022. Study of Thitonia Diversifolia Extract in Histomorphology of Pancreas and Interleukin-1beta expression on Aloksan Induced Wistar Rats. *Jurnal Sain Veteriner* 40(1): 44-55
- Srihari E, Lingganingrum FS, Alvina I, Anastasia S. Rekayasa Beras Analog Berbahan Dasar Campuran Tepung Talas, Tepung Maizena dan Ubi Jalar. 2016. *J Tek Kim* 11(01): 14–19.
- Suarsana, I.N., Priosoeryanto, B.P., Bintang, M., dan Wresdiyati, T. 2010. Profil Glukosa Darah dan Ultrastuktur Sel Beta Pankreas Tikus yang Diinduksi

Senyawa Aloksan. *JITV* 15(2):118-123.

- Subeki., Sartika, D., Utomo, T. P., dan Inke, L. A. 2021. *Beras Analog Rendah Gula Berbasis Ubi Kayu Ubi Kayu (Manihot Esculenta) Klon Waxy*. Paten No. 500202109630.
- Subeki, Ibrahim, G. A., Utomo, T. P., Yuliadi, E., and Adawiyah, R. 2020a. Effect of Siger Rice from Waxy Cassava (*Manihot Esculenta*) on Oligosaccharide Levels and Chemical Blood Profiles in Mice. *Journal of Physics: Conference Series*, 1467(1): 1–11.
- Subeki, Ibrahim, G. A., Utomo, T. P., Yuliadi, E., dan Adawiyah, R. 2020b. Effect of Siger Rice from Waxy Cassava (*Manihot Esculenta*) on Oligosaccharide Levels and Chemical Blood Profiles in Mice. *Journal of Physics: Conference Series*, 1467(1): 19-30
- Subeki, Satyajaya, W., dan Murhadi, and Yuliadi, E. 2016. Effect of Siger Rice from Cassava on Blood Glucose Level and The Pancreas in Mice Induced Alloxan. The USR International Seminar on Food Security (UISFS): 142-157.
- Susanti, N. 2016. Suplementasi Tepung Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) Sebagai Nutaceucal Dalam Manajemen Diabetes Mellitus Tipe 3. *El-Hayah* 5(1): 1–23.
- Tandi, J., Rizky, M., Mariani, R., dan Alan, F. 2017. Uji Efek Ekstrak Etanol Daun Sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson Ex F.A.Zorn) Terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah, Kolesterol Total dan Gambaran Histopatologi Pankreas Tikus Putih Jantan (*Rattus norvegicus*) Hiperkolesterolemia-Diabetes. *Jurnal Sains Dan Kesehatan* 1(8): 384–396.
- Thelmalina, F. J., dan Wirasuta, I. M. A. G. 2023. Potensi *Amorphophallus* sp. sebagai Pangan Fungsional untuk Pasien Diabetes Melitus. *Prosiding Workshop Dan Seminar Nasional Farmasi* 1(1): 230–243.
- Thomas, D. E., dan Elliott, E. J. 2010. The Use of Low-Glycaemic Index Diets in Diabetes Control. *British Journal of Nutrition* 104(6): 797–802.
- Tolistiawaty, I., Widjaja, J., Sumolang, P. P. F., and Octaviani. 2014. Health Portrait of *Mus musculus* in Laboratory Condition. *Jurnal Vektor Penyakit* 8(1): 27–32.
- Tortora, G. J. 2005. Principles of human anatomy. Ed ke-10. John wiley & sons, Inc. USA. 1344 p.
- Valencia, E., and Purwanto, M. G. 2020. Artificial Rice As an Alternative Functional Food to Support Food Diversification Program. *The 2019 International Conference on Biotechnology and Life Science*:177–186.
- Visuthranukul, C., Sirimongkol, P., Prachansuwan, A., Pruksananonda, C., and Chomtho, S. 2015. Low-glycemic Index Diet May Improve Insulin Sensitivity in Obese Children. *Pediatric Research* 78(5); 567–573.
- WHO. 2006. *Definition and Diagnosis of Diabetes Mellitus and Intermediate*

Hyperglycemia. WHO.

WHO. 2019. *Classification of Diabetes Mellitus*. WHO

Wulan, S. S., Nur, M. B., dan Azzam, R. 2020. Peningkatan Self Care Melalui Metode Edukasi Brainstorming Pada Pasien Diabetes Melitus Tipe 2 Increasing Self Care Through Brainstorming Education Method. *Jurnal Ilmiah Kesehatan* 9(1): 7–16.

Wulandari, E. dan Hapsari, R.A.F. 2013. Buku Peran Hormon sebagai Regulator Fungsi Organ. UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta.

Yana, E. F., dan Budijastuti, W. 2022. Gambaran Histopatologi Toksisitas Hepar Tikus Jantan (*Rattus norvegicus*) Pasca Pemberian Sirup Umbi Yakon (*Smallanthus sonchifolius*). *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi* 11(1): 202–207.

Yanti, A. H., Perdana, R. P., dan Rousdy, D. W. 2018. Aktivitas Hepatoprotektif Ekstrak Metanol Buah Lakum (*Cayratia trifolia* (L.) Domin) Terhadap Diameter Vena Sentralis, Lebar Sinusoid dan Berat Hepar Tikus Putih (*Rattus norvegicus* L.) yang Diinduksi Parasetamol. *Jurnal Protobiont* 7(3): 72–76.

Zhao, S. S., Dufour, D., Sánchez, T., Ceballos, H., and Zhang, P. 2011. Development of Waxy Cassava with Different Biological and Physico-Chemical Characteristics of Starches for Industrial Applications. *Biotechnology and Bioengineering* 108(8): 1925–1935.