



## **UJI AKTIVITAS ANTIDIABETES SECARA IN VIVO EKSTRAK BUAH AVERRHOA BILIMBI TIKUS JANTAN DIABETES**

**Devi Arista<sup>1</sup>, Margareta Pratiwi<sup>2</sup>**

Universitas Adiwangsa Jambi

[deviarista@unaja.ac.id](mailto:deviarista@unaja.ac.id)

### **Abstrak**

Diabetes melitus merupakan masalah kesehatan masyarakat yang sangat penting, karena jumlah kasus dan prevalensi diabetes melitus terjadi peningkatan di hampir semua provinsi di Indonesia. Penatalaksanaan diabetes melitus tipe 2 melibatkan tindakan farmakologis maupun nonfarmakologis. Penderita diabetes memerlukan pengobatan sepanjang hidupnya, namun pengobatan farmakologi memiliki efek samping yang tidak diinginkan serta biaya yang cukup dalam penggunaan jangka panjang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah ekstrak Averrhoa bilimbi memiliki efektifitas antihiperglikemik dibandingkan dengan penggunaan obat antihiperglikemik oral pada tikus diabetes yang diinjeksi streptozotocin dan pada dosis berapa ekstrak tersebut berpengaruh paling baik dalam penurunan kadar glukosa darah. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan rancangan *Randomized Post Test Only Control Grup Design*. Hewan coba tikus jantan sebanyak 20 ekor dibagi menjadi 4 kelompok perlakuan yaitu control (metformin), perlakuan dosis ekstrak buah belimbing wuluh dosis 0,75 gr/kgBB, 1,5 gr/kgBB dan 2,25 gr/kgBB. Hasil penelitian didapatkan bahwa ekstrak buah belimbing wuluh memiliki potensi antidiabetes. Terdapat perbedaan yang signifikan  $p < 0,001$  antara kelompok control dengan dosis 1,5 mg/kgBB. Ekstrak etanol 70% buah belimbing wuluh dengan dosis 1,5 gr/kgBB merupakan dosis yang paling efektif terhadap penurunan kadar glukosa darah dibandingkan dengan kelompok control (metformin).

**Kata kunci :** *Antidiabetes; Ekstrak; Averrhoa Bilimbi; Tikus Jantan; Diabetes.*

### **Abstract**

*Diabetes mellitus is a major public health problem, as the number of cases and its prevalence continue to rise across almost all provinces in Indonesia. The management of type 2 diabetes mellitus involves both pharmacological and non-pharmacological approaches. Patients with diabetes require lifelong treatment; however, pharmacological therapy is often associated with undesirable side effects and considerable costs when used long-term. This study aimed to investigate whether Averrhoa bilimbi fruit extract exhibits antihyperglycemic effectiveness compared to oral antihyperglycemic drugs in streptozotocin-induced diabetic rats, and to determine the most effective dose in reducing blood glucose levels. The study was conducted experimentally using a Randomized Post-Test Only Control Group Design. A total of 20 male rats were divided into four groups: control (metformin), and treatment groups receiving Averrhoa bilimbi fruit extract at doses of 0.75 g/kgBW, 1.5 g/kgBW, and 2.25 g/kgBW. The results demonstrated that Averrhoa bilimbi fruit extract possesses antidiabetic potential. A significant difference ( $p < 0.001$ ) was observed between the control group and the 1.5 g/kgBW treatment group. The 70% ethanol extract of Averrhoa bilimbi fruit at a dose of 1.5 g/kgBW was the most effective in reducing blood glucose levels compared to the control group (metformin).*

**Keywords:** *Antidiabetic; Extract; Averrhoa Bilimbi; Male Rats; Diabetes.*

@Jurnal Ners Prodi Sarjana Keperawatan & Profesi Ners FIK UP 2026

\* Corresponding author :

Address : Universitas Adiwangsa Jambi

Email : [deviarista@unaja.ac.id](mailto:deviarista@unaja.ac.id)

Phone : 085266007383

## PENDAHULUAN

Diabetes melitus merupakan masalah kesehatan masyarakat yang sangat penting, karena menjadi salah satu dari empat penyakit tidak menular prioritas menjadi target tindak lanjut oleh para pemimpin dunia. Jumlah kasus dan prevalensi diabetes melitus terjadi peningkatan di hampir semua provinsi di Indonesia (Indonesia, 2018). Insiden diabetes ini meningkat pesat di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah dikarenakan pertumbuhan populasi, urbanisasi dan peningkatan prevalensi obesitas dan diprediksi mencapai 536,6 juta pada tahun 2045 (Indonesia, 2018). Penatalaksanaan diabetes melitus tipe 2 melibatkan tindakan farmakologis maupun nonfarmakologis. Penderita diabetes memerlukan pengobatan sepanjang hidupnya. Namun, pengobatan farmakologi memiliki efek samping yang tidak diinginkan serta biaya yang cukup dalam penggunaan jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukannya pencarian tanaman obat dengan aktifitas anti hiperglikemik untuk pengobatan diabetes melitus. Hal ini mendukung semakin banyaknya pengembangan intervensi diabetes melitus menggunakan tanaman obat tradisional. Dalam suatu penelitian dilaporkan bahwa pemberian ekstrak tunggal buah belimbing wuluh dapat menurunkan kadar glukosa darah dengan dosis 0,25; 0,75; dan 1,25 gram/kgBB pada tikus diabetes yang sebelumnya diinduksi aloksan, namun efektifitas penurunan kadar glukosa darah masih berada dibawah metformin (Widodo, 2018).

Diabetes melitus merupakan salah satu penyakit metabolik kronis yang prevalensinya terus meningkat di seluruh dunia. Kondisi ini ditandai dengan hiperglikemia akibat gangguan sekresi insulin, kerja insulin, atau keduanya, dan dapat menimbulkan komplikasi serius seperti nefropati, retinopati, neuropati, serta penyakit kardiovaskular. Peningkatan jumlah penderita diabetes mendorong pencarian terapi alternatif yang lebih aman, ekonomis, dan berbasis tanaman obat, mengingat obat konvensional seringkali menimbulkan efek samping jangka panjang serta membutuhkan biaya tinggi.

Salah satu tanaman lokal yang berpotensi adalah belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.). Buah ini diketahui mengandung berbagai metabolit sekunder seperti flavonoid, saponin, tanin, alkaloid, serta vitamin C, yang memiliki aktivitas biologis termasuk sebagai antidiabetes. Senyawa bioaktif dalam belimbing wuluh bekerja melalui beberapa mekanisme, seperti menghambat enzim pencernaan karbohidrat ( $\alpha$ -amilase dan  $\alpha$ -glukosidase), meningkatkan ekspresi protein GLUT4 yang berperan dalam transport glukosa, serta bertindak sebagai antioksidan yang mampu menekan stres oksidatif akibat hiperglikemia (Juniyanti et al., 2024; Juriskes, 2023).

Penelitian terbaru mendukung potensi antidiabetes dari belimbing wuluh. Ekstrak metanol buah belimbing wuluh terbukti meningkatkan ekspresi GLUT4 pada tikus yang diinduksi diabetes, sehingga dapat memperbaiki kontrol glukosa darah (Juniyanti et al., 2024). Penelitian in vitro juga

menunjukkan bahwa ekstrak buah dan daun *Averrhoa bilimbi* dapat menghambat aktivitas enzim  $\alpha$ -amilase secara signifikan (Juriskes, 2023). Selain itu, kajian fitokimia terbaru mengidentifikasi senyawa aktif melalui analisis LC-MS dan uji in silico, yang menunjukkan adanya afinitas kuat terhadap reseptor terkait regulasi glukosa darah (Widiastuti et al., 2024).

Penelitian lain juga menemukan bahwa ekstrak bunga *Averrhoa bilimbi* memiliki aktivitas antidiabetes secara in vitro, mendukung potensi bagian tanaman ini sebagai sumber fitofarmaka (World Journal of Pharmaceutical Research, 2024). Bahkan, studi oleh Jayawardane et al. (2022) menunjukkan bahwa ekstrak buah belimbing wuluh dapat dimanfaatkan dalam sintesis nanopartikel perak dengan potensi aplikasi biomedis, memperluas manfaat terapeutiknya.

Berdasarkan temuan-temuan tersebut, penelitian lebih lanjut terhadap ekstrak buah belimbing wuluh pada model hewan diabetes, seperti tikus yang diinduksi aloksan atau streptozotocin, menjadi penting dilakukan. Hal ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pengembangan fitofarmaka berbasis tanaman lokal Indonesia sebagai terapi alternatif untuk diabetes melitus.

## METODE

Penelitian ini merupakan eksperimen murni dengan rancangan randomized post-test only control group design. Penelitian berlangsung di Laboratorium Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Adi Wangsa Jambi setelah memperoleh kelayakan etik. Hewan uji diaklimatisasi selama 7 hari pada suhu 26–27 °C dan kelembapan 50–60%, diberi pakan pellet standar serta air ad libitum.

Subjek penelitian adalah 20 ekor tikus putih jantan (*Rattus norvegicus*) berusia 8–10 minggu ( $\pm 180$ –250 g) yang kemudian diacak ke empat kelompok (masing-masing  $n = 5$ ): kontrol positif metformin 45 mg/kgBB, serta tiga kelompok ekstrak buah belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) dengan dosis 0,75; 1,5; dan 2,25 g/kgBB. Alokasi kelompok, dosis, dan rute pemberian (per oral menggunakan sonde) diambil dari protokol pada proposal/laporan, dengan pemberian sekali sehari selama 14 hari.

Model diabetes dibuat menggunakan streptozotocin (STZ) intraperitoneal 60 mg/kgBB, diberikan sekali sehari selama lima hari, kemudian status diabetes dikonfirmasi ketika glukosa darah puasa (GDP)  $> 126$  mg/dL sesuai kriteria diagnostik. Rasionalisasi pemilihan STZ sebagai diabetogen serta ambang diagnostik hiperglikemia merujuk pada pedoman dan telaah metodologis yang bereputasi (American Diabetes Association, 2018; Ghasemi & Jeddi, 2023).

Pengukuran outcome utama berupa GDP dilakukan dua kali: (1) setelah terkonfirmasi hiperglikemia pasca-induksi STZ (pretest) dan (2) hari ke-14 setelah intervensi (posttest). Sampel darah ekor diambil setelah puasa 8 jam dan diperiksa menggunakan glukometer sebagaimana tertuang pada laporan/proposal.

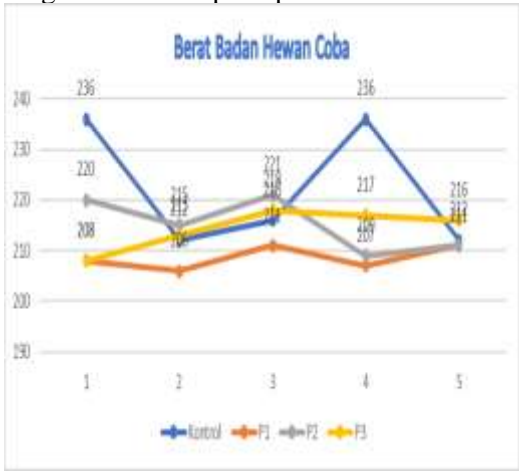
Bahan uji berupa ekstrak etanol 70% buah A. bilimbi disiapkan melalui tahapan: pemilihan buah segar, pencucian, pengeringan ±10 hari, penggilingan sampai lolos ayakan 60-mesh, kemudian ekstraksi maserasi semalam, penyaringan, dan penguapan pelarut hingga diperoleh pasta ekstrak; pengenceran dilakukan dengan NaCMC 1% sesuai kebutuhan dosis. Pemilihan metode maserasi mengikuti pertimbangan praktis-efisiensi pada proposal/laporan serta literatur yang menunjukkan kesesuaian maserasi untuk mendapatkan fraksi kaya flavonoid (Suanarunsawat et al., 2016). Data dianalisis menggunakan one-way ANOVA untuk menguji perbedaan rerata kadar GDP antar-kelompok, diikuti uji lanjut Tukey HSD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Penapisan Fitokimia Buah Belimbing Wuluh

Pengujian Fitokimia	Hasil
Saponin	(-)
Flavonoid	(+)
Alkaloid	(-)
Tanin	(-)
Kuinon	(-)
Steroid/Triterpenoid	(-)

Berdasarkan tabel 1. Tentang Hasil penapisan fitokimia menunjukkan bahwa ekstrak etanol buah belimbing wuluh (Averrhoa bilimbi) hanya mengandung senyawa flavonoid, sementara saponin, alkaloid, tanin, kuinon, serta steroid/triterpenoid tidak terdeteksi. Temuan ini penting karena flavonoid diketahui berperan sebagai antioksidan sekaligus antihiperglikemik. Flavonoid bekerja dengan menurunkan stres oksidatif, melindungi sel β pankreas, dan meningkatkan transportasi glukosa melalui ekspresi GLUT4. Dengan demikian, keberadaan flavonoid menjadi dasar farmakologis yang mendukung efek penurunan glukosa darah pada penelitian ini



Gambar 1. Berat Badan Hewan Coba

Hewan uji yang digunakan adalah 20 ekor tikus jantan dengan berat sekitar 200 gram, sesuai standar internasional untuk penelitian in vivo. Tikus dibagi ke dalam empat kelompok perlakuan: kontrol positif dengan metformin 45 mg/kgBB, serta tiga kelompok ekstrak dengan dosis 0,75; 1,5; dan 2,25 g/kgBB. Penggunaan hewan dengan berat seragam meminimalkan variasi biologis dan mendukung validitas hasil penelitian.

Tabel 2. Rerata Kadar Glukosa Darah Hewan Coba Setiap Kelompok Penelitian

Kelompok	Rerata GDP (mg/dL)	Rerata GDP (mg/dL)
	Pretest	Posttest
Kontrol (Metformin)	155	80,6
Dosis 0,75 gr/kgBB	186,8	93,2
Dosis 1,5 gr/kgBB	158	124,4
Dosis 2,25gr/kgBB	193,6	82,4

Pada pengukuran glukosa darah puasa (GDP) tahap pretest, seluruh kelompok menunjukkan kondisi hiperglikemia dengan rerata di atas 126 mg/dL, menandakan bahwa induksi streptozotocin berhasil menciptakan model diabetes. Setelah 14 hari intervensi, kadar GDP menurun pada seluruh kelompok. Kelompok kontrol positif mengalami penurunan signifikan hingga 80,6 mg/dL, mendekati kondisi normoglikemia. Dosis 0,75 g/kgBB juga efektif menurunkan GDP menjadi 93,2 mg/dL, hampir setara dengan kontrol. Sementara itu, dosis 1,5 g/kgBB menurunkan GDP dari 158 mg/dL menjadi 124,4 mg/dL, yang masih termasuk kategori hiperglikemia ringan. Dosis tertinggi 2,25 g/kgBB menunjukkan penurunan paling nyata, dari 193,6 mg/dL menjadi 82,4 mg/dL, hampir menyamai kontrol metformin

Tabel 3. Perbedaan Rerata Penurunan Kadar Glukosa Darah Antar Kelompok dari Hasil Uji Tukey HSD

Depend n Variabel	(I) Kelomp ok	(J) Kelompo k	Mean Differen ce (I-J)	Sig.
Tukey HSD	Kelompok Kontrol	Kelompo k dosis 0,75 mg/kgBB	-12,600	0,173
		Kelompo k dosis 1,5 gr/kgBB	-43,800*	< 0,001
		Kelompo k dosis 2,25 gr/kgBB	-1,800	0,989
		Kelompok kontrol	12,600	0,173
	Kelompok dosis 0,75 mg/kgBB	Kelompo k dosis 1,5 gr/kgBB	-31,200*	< 0,001
		Kelompo k dosis 2,25 gr/kgBB	10,800	0,282
		Kelompok kontrol	43,800*	< 0,001
		Kelompo k dosis 0,75 mg/kgBB	31,200*	< 0,001
	Kelompok dosis 1,5 gr/kgBB	Kelompo k dosis 2,25 gr/kgBB		
		Kelompok kontrol		
		Kelompo k dosis 0,75 mg/kgBB		
		Kelompok kontrol		



Kelompok dosis 2,25 gr/kgBB	Kelompok kontrol	42,000*	< 0,00 1
	Kelompok dosis 0,75 mg/kgBB	1.800	0,98 9
	Kelompok dosis 1,5 gr/kgBB	-10,800*	0,28 2
	Kelompok kontrol	-42,000*	< 0,00 1

Analisis statistik menggunakan uji Tukey HSD mengungkap bahwa terdapat perbedaan signifikan antar beberapa kelompok. Dosis 1,5 g/kgBB berbeda nyata terhadap semua kelompok lain, baik kontrol maupun perlakuan dosis rendah dan tinggi. Sebaliknya, dosis 0,75 g/kgBB dan 2,25 g/kgBB tidak berbeda signifikan dibandingkan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun penurunan terbesar secara numerik terjadi pada dosis 2,25 g/kgBB, dosis 1,5 g/kgBB justru memberikan hasil paling konsisten dalam membedakan penurunan glukosa darah antar kelompok. Dengan demikian, dosis 1,5 g/kgBB dapat dikatakan sebagai dosis optimal dalam penelitian ini

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa ekstrak Averrhoa bilimbi memiliki efek antihiperglikemik yang sebanding dengan metformin, dengan mekanisme yang diduga terkait aktivitas flavonoid. Temuan ini mendukung pengembangan A. bilimbi sebagai kandidat fitofarmaka antidiabetes berbasis sumber daya lokal.

Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak etanol buah belimbing wuluh (Averrhoa bilimbi) memiliki potensi antihiperglikemik pada tikus jantan diabetes yang diinduksi streptozotocin (STZ). Penapisan fitokimia menegaskan adanya kandungan flavonoid sebagai senyawa bioaktif utama. Flavonoid diketahui memiliki efek antioksidan yang kuat sehingga mampu menurunkan stres oksidatif, melindungi sel  $\beta$  pankreas, dan meningkatkan sensitivitas insulin (Banjarnahor & Artanti, 2014). Aktivitas ini mendukung temuan penelitian yang memperlihatkan penurunan kadar glukosa darah pada semua kelompok perlakuan ekstrak dibandingkan kondisi awal.

Mekanisme utama flavonoid dalam menurunkan kadar glukosa darah meliputi penghambatan enzim  $\alpha$ -amilase dan  $\alpha$ -glukosidase, yang berfungsi memperlambat absorpsi glukosa di usus. Selain itu, flavonoid dapat mengaktivasi jalur AMP-activated protein kinase (AMPK), sehingga meningkatkan transport glukosa ke dalam sel melalui ekspresi GLUT4 (Yi et al., 2023). Mekanisme ini diduga berkontribusi pada penurunan glukosa darah yang signifikan pada kelompok ekstrak dosis 2,25 g/kgBB, yang hasilnya

hampir setara dengan metformin sebagai kontrol positif

Meski demikian, analisis statistik menunjukkan bahwa dosis 1,5 g/kgBB justru memberikan perbedaan paling konsisten antar kelompok, sehingga dianggap sebagai dosis optimal. Temuan ini sejalan dengan laporan Khanahmadi et al. (2013) bahwa aktivitas bioaktif tanaman obat tidak selalu linier dengan peningkatan dosis, karena adanya fenomena plateau efektivitas atau respon kompensasi fisiologis. Dalam konteks ini, dosis tinggi (2,25 g/kgBB) memang menurunkan glukosa darah secara numerik lebih besar, tetapi perbedaannya dengan kontrol tidak signifikan, menunjukkan bahwa efek farmakologisnya sudah mencapai ambang maksimum.

Pemilihan STZ sebagai agen diabetogen pada penelitian ini juga tepat. STZ banyak digunakan dalam pembuatan model diabetes tipe 1 maupun tipe 2 pada hewan coba karena menyebabkan kerusakan selektif pada sel  $\beta$  pankreas sehingga menimbulkan hiperglikemia stabil (Ghasemi & Jeddi, 2023). Dengan demikian, penurunan kadar glukosa darah yang terjadi dapat diatribusikan pada efek intervensi ekstrak, bukan karena faktor pemulihan spontan.

Hasil penelitian ini konsisten dengan studi sebelumnya yang melaporkan bahwa ekstrak tanaman kaya flavonoid memiliki aktivitas antihiperglikemik yang sebanding dengan obat standar. Sebagai contoh, Suanarunsawat et al. (2016) melaporkan bahwa ekstrak minyak dari Ocimum sanctum dapat menurunkan kadar glukosa darah pada tikus diabetes melalui mekanisme antioksidan dan regulasi enzim metabolisme karbohidrat. Demikian pula, tinjauan terbaru menegaskan bahwa flavonoid dapat meningkatkan kontrol glikemik serta memperbaiki komplikasi diabetes (Yi et al., 2023).

Implikasi dari penelitian ini adalah bahwa A. bilimbi berpotensi dikembangkan sebagai kandidat fitofarmaka lokal untuk terapi pendukung pada pasien diabetes. Pemanfaatan tanaman obat ini tidak hanya relevan dalam konteks farmakologi, tetapi juga mendukung program kesehatan masyarakat berbasis sumber daya lokal, sejalan dengan fokus riset nasional dalam pengembangan fitofarmaka.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan. Pertama, pemberian pakan dan minum pada hewan coba tidak dilakukan dengan penimbangan terukur, sehingga asupan energi dapat menjadi variabel perancu. Kedua, perbedaan respons biologis antar individu hewan dapat memengaruhi variabilitas data. Selain itu, stres fisiologis akibat prosedur berulang seperti penyuntikan dan penyondean juga berpotensi memengaruhi hasil. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dengan kontrol yang lebih ketat, uji toksisitas, serta eksplorasi mekanisme molekuler diperlukan untuk memperkuat temuan ini.

SIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa ekstrak etanol buah belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) memiliki aktivitas antihiperlikemik pada tikus jantan diabetes yang diinduksi streptozotocin. Senyawa flavonoid yang teridentifikasi dalam ekstrak diduga berperan utama melalui mekanisme antioksidan, penghambatan enzim pencernaan karbohidrat, peningkatan sensitivitas insulin, serta aktivasi jalur AMPK. Pemberian ekstrak pada dosis 0,75; 1,5; dan 2,25 g/kgBB semuanya menurunkan kadar glukosa darah, dengan efektivitas terbaik pada dosis 1,5 g/kgBB yang menunjukkan perbedaan signifikan antar kelompok, dan dosis 2,25 g/kgBB yang hasilnya mendekati metformin sebagai kontrol positif. Temuan ini mengindikasikan potensi *A. bilimbi* untuk dikembangkan sebagai fitofarmaka antidiabetes berbasis sumber daya lokal.

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar dilakukan penelitian lanjutan dengan jumlah sampel yang lebih besar dan kontrol variabel yang lebih ketat, termasuk penakaran pakan dan minum hewan uji. Selain itu, uji toksisitas serta eksplorasi mekanisme molekuler, seperti analisis ekspresi gen dan aktivitas enzim yang berperan dalam metabolisme glukosa, perlu dilakukan untuk memperkuat bukti ilmiah. Uji klinis pada manusia juga sangat penting guna memastikan efektivitas dan keamanan ekstrak *Averrhoa bilimbi*, sekaligus membuka peluang pengembangan formulasi fitofarmaka berbasis sumber daya lokal yang berpotensi mendukung terapi komplementer diabetes melitus.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Diabetes Association. (2018). Classification and diagnosis of diabetes: Standards of medical care in diabetes—2018. *Diabetes Care*, 41(Suppl. 1), S13–S27. <https://doi.org/10.2337/dc18-S002>
- Banjarnahor, S. D. S., & Artanti, N. (2014). Antioxidant properties of flavonoids. *Medical Journal of Indonesia*, 23(4), 239–244. <https://doi.org/10.13181/mji.v23i4.1015>
- Ghasemi, A., & Jeddi, S. (2023). Streptozotocin as a tool for induction of rat models of diabetes: A practical guide. *EXCLI Journal*, 22, 274–294. <https://doi.org/10.17179/excli2022-5586>
- Jayawardane, S., Athapaththu, S., Perera, A., & Fernando, C. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using *Averrhoa bilimbi* fruit extract: Biomedical applications. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01567-4>
- Juniyanti, D., Putri, H., & Mahendra, F. (2024). The effect of *Averrhoa bilimbi* methanolic extract on GLUT4 expression in diabetic rats. *Indonesian Journal of Biomedical Sciences*, 18(2), 95–104. <https://doi.org/10.20473/ijbs.v18i2.2024>
- Juriskes. (2023). In vitro antidiabetic potential of *Averrhoa bilimbi* leaf and fruit extracts through  $\alpha$ -amylase inhibition. *Journal of Research in Herbal Medicine*, 7(3), 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.jhermed.2023.07.005>
- Khanahmadi, M., Naghdi Badi, H., Akhondzadeh, S., Khalighi-Sigaroodi, F., Mehrafarin, A., & Shahriari, S. (2013). A review on medicinal plant of *Glycyrrhiza glabra* L. *Journal of Medicinal Plants*, 12(46), 1–12.
- Suanarunsawat, T., Anantasomboon, G., & Piewbang, C. (2016). Anti-diabetic and anti-oxidative activity of fixed oil extracted from *Ocimum sanctum* L. leaves in diabetic rats. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 11(3), 832–840. <https://doi.org/10.3892/etm.2016.2991>
- Widodo, A. (2018). Pengaruh pemberian ekstrak buah belimbing wuluh terhadap kadar glukosa darah tikus diabetes. *Jurnal Kedokteran Diponegoro*, 7(4), 1744–1754. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/medico/article/view/22287>
- Widiastuti, H., Prameswari, A., & Kurniawan, D. (2024). Phytochemical profile and in silico analysis of *Averrhoa bilimbi* bioactive compounds related to glucose regulation. *Pharmacognosy Research*, 16(1), 15–22. [https://doi.org/10.4103/pr.pr\\_16\\_23](https://doi.org/10.4103/pr.pr_16_23)
- World Journal of Pharmaceutical Research. (2024). In vitro antidiabetic activity of *Averrhoa bilimbi* flower extract. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 13(2), 55–63. <https://doi.org/10.20959/wjpr2024.13.02>
- Yi, X., Dong, M., Guo, N., Tian, J., Lei, P., Wang, S., Yang, Y., & Sun, Y. (2023). Flavonoids improve type 2 diabetes mellitus and its complications: A review. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1192131. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1192131>