

Pengaruh Pemberian Ekstrak Daun Kelor (*Moringa Oleifera* Lam.) Terhadap Kadar Gula Darah, Berat Badan dan Kadar Leptin Tikus Model Diabetes Melitus

Clarissa¹, Ade Indra Mukti^{2*}, Tommy Rizky Hutagalung³, Putri Handayani⁴, Gusbakti Rusip⁵

¹Fakultas Kedokteran, PUI Phyto Degenerative & Lifestyle Medicine, Universitas Prima Indonesia

^{2,3}Departemen Bedah, PUI Phyto Degenerative & Lifestyle Medicine, Universitas Prima Indonesia

⁴Departemen Penyakit Dalam, PUI Phyto Degenerative & Lifestyle Medicine, Universitas Prima Indonesia

⁵Departemen Fisiologi, PUI Phyto Degenerative & Lifestyle Medicine, Universitas Prima Indonesia

* Corresponding Author: adeindramukti@unprimdn.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received
Revised
Accepted
Available online

Kata Kunci:

Daun Kelor, Diabetes Melitus, Gula Darah, Leptin, Berat Badan, Aloksan.

Keywords:

Moringa Oleifera, *Diabetes Mellitus*, *Blood Glucose*, *Leptin*, *Body Weight*, *Alloxan*.

ABSTRAK

Diabetes melitus merupakan gangguan metabolik kronis yang ditandai hiperglikemia, sering disertai gangguan regulasi berat badan dan kadar leptin. Ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) memiliki kandungan bioaktif antioksidan dan antidiabetes, namun pengaruhnya secara bersamaan terhadap gula darah, berat badan, dan leptin dalam satu model diabetes belum banyak dikaji. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh ekstrak daun kelor terhadap kadar gula darah puasa, berat badan, dan kadar leptin serum tikus model diabetes yang diinduksi aloksan. Penelitian eksperimental murni dengan rancangan post test only control group design ini menggunakan 20 ekor tikus Wistar jantan yang diinduksi aloksan monohidrat 120 mg/kgBB intraperitoneal, lalu dibagi menjadi empat

kelompok (n=5): kontrol (0 mg/kgBB) dan dosis ekstrak 200, 400, serta 600 mg/kgBB peroral. Gula darah diukur hari ke-21, berat badan hari ke-14, dan leptin (ELISA) hari ke-21. Data dianalisis dengan One-Way ANOVA dan uji lanjut Tukey HSD. Gula darah menurun bertingkat dan konsisten pada seluruh dosis ($F(3,16)=1.409,639$; $p<0,001$; $\eta^2=0,996$), dengan seluruh pasangan kelompok berbeda bermakna. Kadar leptin menurun bermakna hanya mulai dosis 400 mg/kgBB dibanding kontrol ($p=0,029$; $p=0,010$), sedangkan berat badan pada dosis 400 dan 600 mg/kgBB bermakna lebih tinggi dibanding kontrol ($p=0,001$; $p=0,007$), mencerminkan tertahannya penurunan berat badan akibat diabetes, bukan penambahan berat badan. Ekstrak daun kelor, khususnya dosis 400 mg/kgBB, menunjukkan efek antidiabetes dan perlindungan metabolik yang bermakna pada model praklinis ini.

ABSTRACT

Diabetes mellitus is a chronic metabolic disorder marked by hyperglycemia, often accompanied by disturbances in body weight and leptin regulation. Moringa oleifera leaf extract contains antioxidant and antidiabetic bioactive compounds, yet its combined effect on blood glucose, body weight, and leptin has rarely been studied together in one diabetic model. This study aimed to evaluate the effect of Moringa oleifera leaf extract on fasting blood glucose, body weight, and serum

leptin in alloxan-induced diabetic rats. A true experimental study with a post-test-only control group design used 20 male Wistar rats induced with alloxan monohydrate 120 mg/kgBW intraperitoneally, then divided into four groups (n=5 each): control (0 mg/kgBW) and extract doses of 200, 400, and 600 mg/kgBW given orally. Blood glucose was measured on day 21, body weight on day 14, and serum leptin (ELISA) on day 21. Data were analyzed with One-Way ANOVA and Tukey HSD post hoc tests. Blood glucose decreased in a dose-dependent, saturating pattern across all groups ($F(3,16)=1409.639$; $p<0.001$; $\eta^2=0.996$), with every pairwise comparison significant. Leptin decreased significantly only from 400 mg/kgBW onward versus control ($p=0.029$; $p=0.010$), while body weight was significantly higher at 400 and 600 mg/kgBW versus control ($p=0.001$; $p=0.007$), reflecting attenuated diabetic weight loss rather than weight gain. Moringa oleifera leaf extract, particularly at 400 mg/kgBW, shows a meaningful antidiabetic and metabolic-protective effect in this preclinical model.

This is an open access article under the [CC BY-NC](#) license.

Copyright © 2021 by Author. Published by Universitas Bina Bangsa Getsempena



PENDAHULUAN

Diabetes melitus (DM) adalah gangguan metabolik kronis dan progresif yang ditandai dengan kadar gula darah yang terlalu tinggi, yang dapat diakibatkan oleh gangguan sekresi insulin, gangguan kerja insulin, atau kombinasi keduanya. Secara klinis, DM terbagi menjadi empat kategori utama, yaitu DM tipe 1, DM tipe 2, DM gestasional, dan tipe spesifik lain yang berkaitan dengan faktor genetik atau penggunaan obat tertentu. Di antara keempat tipe tersebut, DM tipe 2 merupakan bentuk yang paling banyak ditemukan di masyarakat, dengan resistensi insulin dan gaya hidup tidak sehat—seperti pola makan tinggi kalori dan kurangnya aktivitas fisik—sebagai faktor risiko utamanya.

Beban global penyakit ini terus meningkat. Data International Diabetes Federation mencatat bahwa pada tahun 2025 terdapat sekitar 589 juta orang dewasa usia 20–79 tahun di dunia yang hidup dengan DM, dengan sekitar 252 juta di antaranya belum menyadari kondisinya. Indonesia sendiri menempati posisi kelima negara dengan jumlah penderita DM terbanyak di dunia pada tahun 2024, yaitu sekitar 20,4 juta orang, sebuah angka yang berkaitan erat dengan urbanisasi, pola makan tinggi kalori, dan gaya hidup yang kurang sehat. Apabila tidak dikendalikan, DM dapat menimbulkan komplikasi akut seperti ketoasidosis diabetik dan sindrom hiperglikemik hiperosmolar, maupun komplikasi kronis mikrovaskular (retinopati, nefropati, neuropati) dan makrovaskular (penyakit jantung koroner, stroke, penyakit arteri perifer), di samping risiko gangguan psikologis dan penurunan kualitas hidup penderitanya.

Selain kadar gula darah, dua parameter metabolik lain yang erat kaitannya dengan DM adalah berat badan dan kadar leptin. Obesitas, khususnya akumulasi lemak

viseral, merupakan salah satu faktor risiko utama DM tipe 2 melalui beberapa jalur, di antaranya peningkatan pelepasan asam lemak bebas yang mengganggu metabolisme glukosa, produksi sitokin proinflamasi berlebih (TNF- α , IL-6, leptin) yang memicu inflamasi kronis, serta penurunan sensitivitas reseptor insulin di hati dan otot. Leptin sendiri adalah hormon adipositokin yang diproduksi jaringan lemak dan berperan dalam regulasi nafsu makan, keseimbangan energi, dan metabolisme glukosa melalui reseptornya di hipotalamus. Pada kondisi obesitas, kadar leptin sirkulasi meningkat namun responsivitas terhadap leptin menurun—keadaan yang dikenal sebagai resistensi leptin—yang selanjutnya memperburuk disregulasi nafsu makan, peningkatan berat badan, dan resistensi insulin. Leptin bahkan telah diusulkan sebagai biomarker prediktor DM pada individu dengan toleransi glukosa terganggu.

Terapi antidiabetik konvensional seperti metformin, sulfonilurea, dan insulin memang efektif menurunkan kadar gula darah, tetapi memiliki keterbatasan berupa efek samping seperti hipoglikemia, gangguan gastrointestinal, atau penambahan berat badan. Kondisi ini mendorong pencarian terapi komplementer berbasis tanaman obat. Daun kelor (*Moringa oleifera*) merupakan salah satu kandidat yang banyak diteliti karena kandungan senyawa bioaktifnya, seperti flavonoid, alkaloid, saponin, tanin, dan polifenol, yang bersifat antioksidan kuat dan mampu menangkal radikal bebas serta melindungi sel β pankreas dari kerusakan. Senyawa alkaloid dan saponin dalam daun kelor juga dilaporkan berperan menurunkan kadar gula darah melalui peningkatan pelepasan insulin, perbaikan sensitivitas insulin, dan penghambatan penyerapan glukosa di saluran cerna.

Beberapa penelitian eksperimental telah mengonfirmasi potensi antidiabetes daun kelor. Pemberian ekstrak daun kelor dosis 200–600 mg/kgBB pada tikus diabetes induksi aloksan terbukti menurunkan kadar glukosa darah secara signifikan pada hari ke-14 dan ke-21 setelah perlakuan, sementara pada mencit hiperglikemia ekstrak daun kelor bahkan mampu menurunkan kadar glukosa darah puasa hingga 58,89%, sedikit lebih baik dibandingkan metformin (57,67%). Di luar efek pada gula darah, ekstrak air daun kelor juga dilaporkan mampu menurunkan kadar leptin dan malondialdehid pada tikus yang mengalami peningkatan adipogenesis akibat paparan hormonal, sedangkan ekstrak etanolik daun kelor pada model sindrom metabolik terbukti menurunkan ekspresi reseptor ACE2 pankreas yang berkaitan dengan perbaikan regulasi metabolik. Namun demikian, efek daun kelor terhadap berat badan tampak tidak selalu konsisten; pada model dislipidemia, ekstrak etanol daun kelor menurunkan kadar kolesterol total secara

bermakna tetapi tidak memengaruhi berat badan secara signifikan, sehingga masih diperlukan eksplorasi lebih lanjut.

Meninjau literatur yang ada, sebagian besar penelitian sebelumnya mengevaluasi efek daun kelor terhadap gula darah, berat badan, atau leptin secara terpisah, dan jarang mengukur ketiga variabel tersebut secara bersamaan dalam satu model diabetes yang sama. Padahal, ketiga variabel ini secara fisiologis saling terkait erat sebagai bagian dari jejaring regulasi metabolik pada diabetes. Atas dasar kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera* Lam.) secara simultan terhadap kadar gula darah, berat badan, dan kadar leptin pada tikus model diabetes melitus yang diinduksi aloksan, sekaligus membandingkan pola respons ketiga variabel tersebut pada berbagai tingkat dosis.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental murni (*true experimental*) dengan rancangan *post test only control group design*. Desain ini memungkinkan perbandingan kadar gula darah, berat badan, dan kadar leptin pada tikus diabetes antara kelompok kontrol dan kelompok yang memperoleh perlakuan ekstrak daun kelor pada berbagai tingkat dosis.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah tikus Wistar (*Rattus norvegicus*) jantan usia 2–3 bulan dengan berat badan 150–200 gram. Sampel sebanyak 20 ekor tikus diperoleh melalui teknik *simple random sampling* dan dibagi menjadi empat kelompok yang masing-masing beranggotakan lima ekor: kelompok kontrol (tidak diberikan ekstrak daun kelor), kelompok perlakuan 1 (dosis 200 mg/kgBB), kelompok perlakuan 2 (dosis 400 mg/kgBB), dan kelompok perlakuan 3 (dosis 600 mg/kgBB). Rancangan sampel berimbang ini (lima ekor per kelompok) dipilih agar daya uji analisis varians optimal untuk empat kelompok perlakuan.

Prosedur Penelitian

Seluruh tikus terlebih dahulu diinduksi diabetes menggunakan aloksan monohidrat dosis 120 mg/kgBB secara intraperitoneal hingga mencapai kondisi diabetes melitus, yang ditetapkan berdasarkan kadar gula darah di atas 200 mg/dL. Setelah kondisi diabetes tercapai, kelompok perlakuan 1, 2, dan 3 memperoleh ekstrak daun kelor secara peroral menggunakan sonde dengan dosis berturut-turut 200, 400, dan 600

mg/kgBB berdasarkan berat badan masing-masing tikus, sedangkan kelompok kontrol tidak memperoleh ekstrak. Pemberian dilakukan selama periode perlakuan yang ditentukan.

Kadar gula darah puasa diukur menggunakan glukometer pada hari ke-21, berat badan ditimbang menggunakan timbangan digital hewan pada hari ke-14, dan kadar leptin serum diperiksa menggunakan metode ELISA pada hari ke-21. Kelompok perlakuan dikodekan secara numerik untuk keperluan analisis data (kontrol=1; dosis 200 mg/kgBB=2; dosis 400 mg/kgBB=3; dosis 600 mg/kgBB=4). Seluruh 20 data bersifat lengkap tanpa data yang hilang selama penelitian berlangsung.

Definisi Operasional Variabel

Kadar gula darah didefinisikan sebagai kadar glukosa darah puasa tikus setelah perlakuan ekstrak daun kelor, diukur dengan glukometer dan dinyatakan dalam mg/dL (skala rasio). Kadar leptin didefinisikan sebagai konsentrasi hormon leptin dalam serum darah tikus setelah perlakuan, diukur dengan pemeriksaan ELISA dan dinyatakan dalam ng/mL (skala rasio). Berat badan didefinisikan sebagai berat tubuh tikus yang diukur menggunakan timbangan digital hewan dan dinyatakan dalam gram (skala rasio). Ekstrak daun kelor sebagai variabel bebas diberikan secara sonde oral dengan empat kategori dosis (0, 200, 400, dan 600 mg/kgBB) berskala nominal.

Analisis Data

Data yang terkumpul dianalisis secara bertahap, dimulai dari analisis deskriptif (mean, simpangan baku, nilai minimum, maksimum, dan median), dilanjutkan dengan uji normalitas Shapiro-Wilk (dipilih karena ukuran sampel per kelompok kecil, $n=5$) dan uji homogenitas varians Levene sebagai prasyarat uji parametrik. Perbedaan rata-rata antarkelompok diuji menggunakan One-Way ANOVA apabila asumsi normalitas dan homogenitas terpenuhi, dan dilanjutkan dengan uji Post Hoc Tukey HSD apabila ditemukan perbedaan bermakna ($p<0,05$) untuk mengetahui pasangan kelompok mana yang berbeda. Besar pengaruh dinyatakan dengan ukuran efek eta kuadrat (η^2). Seluruh pengujian dilakukan pada taraf kemaknaan $\alpha=0,05$ menggunakan perangkat lunak SPSS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sampel dan Gambaran Deskriptif

Seluruh 20 ekor tikus Wistar jantan terdistribusi secara merata pada keempat kelompok, yaitu masing-masing lima ekor (25,0%) tanpa kehilangan data satu ekor pun selama penelitian, sehingga rancangan berimbang ini menjadi dasar yang ideal bagi analisis varians berikutnya. Gambaran deskriptif ketiga variabel penelitian menurut kelompok perlakuan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian Menurut Kelompok Perlakuan

Variabel	Kelompok Perlakuan	n	Mean $\pm$ SD	Min	Maks
Kadar Gula Darah (mg/dL)	Kontrol (0 mg/kgBB)	5	577,40 $\pm$ 19,91	554	601
	Dosis 200 mg/kgBB	5	209,60 $\pm$ 11,97	193	224
	Dosis 400 mg/kgBB	5	144,80 $\pm$ 8,53	133	156
	Dosis 600 mg/kgBB	5	121,60 $\pm$ 5,41	114	128
Kadar Leptin (ng/mL)	Kontrol (0 mg/kgBB)	5	7,92 $\pm$ 3,21	3,44	12,22
	Dosis 200 mg/kgBB	5	6,08 $\pm$ 2,01	4,47	8,71
	Dosis 400 mg/kgBB	5	3,14 $\pm$ 1,68	1,49	5,10
	Dosis 600 mg/kgBB	5	2,32 $\pm$ 2,48	0,53	6,29
Berat Badan (gram)	Kontrol (0 mg/kgBB)	5	219,00 $\pm$ 8,00	208	230
	Dosis 200 mg/kgBB	5	230,80 $\pm$ 5,72	226	240
	Dosis 400 mg/kgBB	5	242,00 $\pm$ 4,85	238	249
	Dosis 600 mg/kgBB	5	237,80 $\pm$ 10,92	223	249

Tabel 1 memperlihatkan pola penurunan kadar gula darah yang sangat konsisten dan bertingkat seiring naiknya dosis ekstrak daun kelor. Kelompok kontrol bertahan pada kadar 577,40 $\pm$ 19,91 mg/dL, sementara kelompok dosis 200, 400, dan 600 mg/kgBB berturut-turut turun menjadi 209,60 $\pm$ 11,97; 144,80 $\pm$ 8,53; dan 121,60 $\pm$ 5,41 mg/dL – setara penurunan 63,70%, 74,92%, dan 78,94% terhadap kontrol. Yang menarik, besaran penurunan antartahap dosis melandai: dari kontrol ke dosis 200 mg/kgBB turun 367,80 mg/dL, dari 200 ke 400 mg/kgBB hanya turun 64,80 mg/dL lagi, dan dari 400 ke 600 mg/kgBB hanya turun 23,20 mg/dL. Pola dosis-respons yang menjenuh ini mengindikasikan bahwa sebagian besar manfaat sudah dicapai pada dosis terendah, sedangkan penambahan dosis selanjutnya memberi tambahan manfaat yang semakin mengecil.

Pola serupa terlihat pada kadar leptin, yang menurun konsisten dari $7,92 \pm 3,21$ ng/mL (kontrol) menjadi $6,08 \pm 2,01$; $3,14 \pm 1,68$; dan $2,32 \pm 2,48$ ng/mL pada dosis 200, 400, dan 600 mg/kgBB (penurunan 23,24%, 60,37%, dan 70,65% terhadap kontrol). Namun keragaman data leptin di dalam setiap kelompok jauh lebih besar dibandingkan gula darah, dengan koefisien variasi berkisar 33,0–106,7%, tertinggi pada kelompok dosis 600 mg/kgBB akibat satu tikus yang kadarnya jauh lebih tinggi dari empat lainnya.

Pada berat badan, arah perubahan justru berlawanan dengan dua variabel sebelumnya: kelompok kontrol memiliki berat badan terendah ($219,00 \pm 8,00$ gram), sedangkan ketiga kelompok yang memperoleh ekstrak memiliki berat badan lebih tinggi— $230,80 \pm 5,72$ gram (dosis 200), $242,00 \pm 4,85$ gram (dosis 400, tertinggi), dan $237,80 \pm 10,92$ gram (dosis 600), dengan pola memuncak pada dosis 400 lalu sedikit menurun pada dosis 600 mg/kgBB. Temuan ini perlu ditafsirkan secara hati-hati: bukan berarti ekstrak daun kelor menambah berat badan, melainkan kelompok kontrol mengalami penurunan berat badan khas akibat keadaan katabolik diabetes tidak terkontrol, dan ekstrak daun kelor tampak menahan penurunan tersebut.

Untuk menegaskan makna klinis penurunan gula darah, data juga dikategorikan berdasarkan ambang diabetes 200 mg/dL. Pada kelompok kontrol, seluruh tikus (100,0%) tetap berada pada kategori hiperglikemia berat (>400 mg/dL). Pada kelompok dosis 200 mg/kgBB, tidak ada lagi tikus pada kategori berat, dengan 80,0% turun ke kategori sedang dan 20,0% mencapai kategori normal (≤ 200 mg/dL). Pada kelompok dosis 400 dan 600 mg/kgBB, seluruh tikus (100,0%) berhasil mencapai kadar gula darah di bawah ambang diabetes. Temuan ini menegaskan bahwa mulai dosis 400 mg/kgBB, efek ekstrak daun kelor bukan sekadar menurunkan kadar gula darah, melainkan mengembalikannya ke bawah ambang diabetes pada seluruh hewan coba.

Uji Prasyarat Analisis

Sebelum pengujian hipotesis, dilakukan uji prasyarat berupa uji normalitas Shapiro-Wilk dan uji homogenitas varians Levene, yang hasilnya dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Uji Normalitas Shapiro-Wilk dan Homogenitas Varians Levene

Variabel	Rentang Statistik Shapiro-Wilk (Sig.)	Kesimpulan Normalitas	Levene Statistic (df1;df2)	Sig. Levene	Kesimpulan Homogenitas
Kadar Gula Darah	0,946–0,991 (Sig. 0,707–0,983)	Normal (seluruh kelompok)	3,162 (3;16)	0,053	Homogen (mendekati batas)
Kadar Leptin	0,799–0,968 (Sig. 0,078–0,862)	Normal (seluruh kelompok)	0,445 (3;16)	0,724	Homogen
Berat Badan	0,845–0,979 (Sig. 0,179–0,928)	Normal (seluruh kelompok)	1,448 (3;16)	0,266	Homogen

Seluruh 12 kombinasi variabel dan kelompok memiliki nilai signifikansi Shapiro-Wilk di atas 0,05, sehingga data dinyatakan berdistribusi normal. Meski demikian, kadar leptin pada kelompok dosis 200 mg/kgBB ($p=0,080$) dan 600 mg/kgBB ($p=0,078$) berada sangat dekat dengan batas kemaknaan, dan dengan $n=5$ per kelompok, daya uji Shapiro-Wilk memang terbatas – kondisi tidak ditolaknya normalitas pada sampel sekecil ini lebih tepat dimaknai sebagai tidak adanya bukti penyimpangan kuat, bukan bukti normalitas sesungguhnya.

Uji Levene menunjukkan ketiga variabel memiliki varians antarkelompok yang homogen. Kadar gula darah memerlukan perhatian khusus karena nilai signifikansinya (0,053) hanya terpaut 0,003 di atas batas kemaknaan – simpangan baku kelompok kontrol (19,91 mg/dL) hampir empat kali lipat simpangan baku kelompok dosis 600 mg/kgBB (5,41 mg/dL). Sebagai langkah kehati-hatian, uji Levene alternatif berbasis median ($p=0,081$) dan rata-rata terpangkas ($p=0,053$) tetap konsisten mendukung homogenitas, dan uji Welch yang tidak mensyaratkan homogenitas varians juga menghasilkan kesimpulan yang sama dengan One-Way ANOVA pada ketiga variabel. Dengan terpenuhinya kedua asumsi, analisis dilanjutkan dengan uji parametrik One-Way ANOVA.

Uji One-Way ANOVA

Hasil uji One-Way ANOVA beserta ukuran efek eta kuadrat (η^2) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji One-Way ANOVA dan Ukuran Efek (η^2)

Variabel	F (df antar; df dalam)	Sig.	η^2	Kesimpulan
Kadar Gula Darah (mg/dL)	1.409,639 (3;16)	<0,001	0,996	H ₀ ditolak
Kadar Leptin (ng/mL)	5,793 (3;16)	0,007	0,521	H ₀ ditolak
Berat Badan (gram)	8,450 (3;16)	0,001	0,613	H ₀ ditolak

Ketiga variabel terikat menunjukkan perbedaan bermakna antarkelompok dosis ekstrak daun kelor, sehingga hipotesis nol yang menyatakan tidak terdapat pengaruh pemberian ekstrak daun kelor terhadap ketiga variabel tersebut ditolak untuk seluruh variabel. Nilai η^2 yang seluruhnya jauh di atas ambang efek besar (0,14) menegaskan bahwa perbedaan dosis ekstrak menjelaskan proporsi keragaman yang substansial pada setiap variabel, namun urutan besarnya sangat informatif: pada kadar gula darah, 99,6% keragaman data dijelaskan semata-mata oleh perbedaan dosis, hampir tidak menyisakan keragaman antarindividu, sedangkan pada kadar leptin hanya 52,1% keragaman yang dijelaskan oleh dosis—hampir separuh keragaman berasal dari sumber lain di luar perlakuan. Perbedaan ini konsisten dengan gambaran deskriptif pada Tabel 1, di mana rentang nilai gula darah antarkelompok sama sekali tidak bertumpang tindih, sementara rentang nilai leptin bertumpang tindih cukup luas. Karena ANOVA hanya menunjukkan adanya perbedaan tanpa mengidentifikasi pasangan kelompok yang berbeda, analisis dilanjutkan dengan uji Post Hoc Tukey HSD.

Uji Post Hoc Tukey HSD

Ringkasan hasil uji Post Hoc Tukey HSD untuk ketiga variabel disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Hasil Uji Post Hoc Tukey HSD

Pasangan Kelompok	Selisih Gula Darah (mg/dL); Sig.	Selisih Leptin (ng/mL); Sig.	Selisih Berat Badan (gram); Sig.
Kontrol vs Dosis 200	367,800; <0,001*	1,841; 0,632	-11,800; 0,115
Kontrol vs Dosis 400	432,600; <0,001*	4,781; 0,029*	-23,000; 0,001*
Kontrol vs Dosis 600	455,800; <0,001*	5,596; 0,010*	-18,800; 0,007*
Dosis 200 vs Dosis 400	64,800; <0,001*	2,940; 0,256	-11,200; 0,142
Dosis 200 vs Dosis 600	88,000; <0,001*	3,755; 0,105	-7,000; 0,499
Dosis 400 vs Dosis 600	23,200; 0,047*	0,815; 0,950	4,200; 0,826

*Bermakna pada taraf 0,05

Untuk kadar gula darah, seluruh enam pasangan kelompok berbeda bermakna, termasuk antarkelompok perlakuan sendiri. Kelompok dosis 400 mg/kgBB lebih rendah 64,800 mg/dL dibandingkan dosis 200 mg/kgBB ($p < 0,001$), dan kelompok dosis 600 mg/kgBB lebih rendah 23,200 mg/dL dibandingkan dosis 400 mg/kgBB ($p = 0,047$) – meski perbandingan terakhir ini perlu dicermati karena signifikansinya hanya sedikit di bawah 0,05 dan selang kepercayaan 95% selisihnya (0,283–46,117 mg/dL) nyaris menyentuh nol, sehingga bukti keunggulan dosis 600 atas dosis 400 mg/kgBB tergolong lemah.

Untuk kadar leptin, pola yang muncul berbeda: dari enam pasangan, hanya dua yang berbeda bermakna, yaitu kontrol terhadap dosis 400 mg/kgBB (selisih 4,781 ng/mL; $p = 0,029$) dan kontrol terhadap dosis 600 mg/kgBB (selisih 5,596 ng/mL; $p = 0,010$). Kontrol tidak berbeda bermakna dengan dosis 200 mg/kgBB ($p = 0,632$), dan ketiga kelompok perlakuan tidak saling berbeda satu sama lain. Pola ini mengindikasikan adanya ambang dosis: dosis 200 mg/kgBB belum cukup menurunkan leptin secara bermakna, sementara mulai dosis 400 mg/kgBB efeknya sudah terdeteksi secara statistik, dan penambahan dosis di atas 400 mg/kgBB tidak memberikan tambahan penurunan yang berarti (selisih dosis 400 vs 600 hanya 0,815 ng/mL; $p = 0,950$).

Untuk berat badan, pola ambang yang serupa terlihat: kontrol berbeda bermakna dengan dosis 400 mg/kgBB (selisih -23,000 gram; $p = 0,001$) dan dosis 600 mg/kgBB (selisih -18,800 gram; $p = 0,007$), namun tidak dengan dosis 200 mg/kgBB ($p = 0,115$). Ketiga kelompok perlakuan juga tidak saling berbeda bermakna. Tanda negatif pada selisih menunjukkan berat badan kontrol lebih rendah dibandingkan kelompok pembandingan, memperkuat interpretasi bahwa ekstrak daun kelor mempertahankan berat badan tikus diabetes, bukan menurunkannya.

Pembahasan

Secara keseluruhan, ketiga variabel yang diteliti menunjukkan tiga pola respons yang berbeda terhadap peningkatan dosis ekstrak daun kelor. Kadar gula darah merespons secara bertingkat pada seluruh tingkat dosis dengan ukuran efek sangat besar ($\eta^2 = 0,996$) dan pola dosis-respons yang menjenuh – penurunan terbesar terjadi pada dosis terendah, dengan tambahan manfaat yang semakin mengecil pada dosis yang lebih tinggi. Sebaliknya, kadar leptin ($\eta^2 = 0,521$) dan berat badan ($\eta^2 = 0,613$) baru merespons secara bermakna mulai dosis 400 mg/kgBB, dengan pola ambang yang jelas, bukan pola bertingkat seperti gula darah.

Temuan penurunan kadar gula darah ini sejalan dengan literatur yang menunjukkan bahwa pemberian ekstrak daun kelor dosis 200–600 mg/kgBB pada tikus diabetes induksi aloksan menurunkan kadar glukosa darah secara signifikan, dan konsisten dengan mekanisme kandungan alkaloid dan saponin daun kelor yang meningkatkan pelepasan insulin, memperbaiki sensitivitas insulin, dan menghambat penyerapan glukosa di saluran cerna, serta peran flavonoid dan polifenol sebagai antioksidan yang melindungi sel β pankreas dari kerusakan akibat stres oksidatif yang ditimbulkan hiperglikemia kronis. Pola dosis-respons yang menjenuh pada penelitian ini mengindikasikan bahwa mekanisme antidiabetik daun kelor kemungkinan mencapai titik saturasi reseptor atau jalur metabolik tertentu pada rentang dosis menengah hingga tinggi.

Efek terhadap kadar leptin yang baru bermakna mulai dosis 400 mg/kgBB memperkuat temuan penelitian terdahulu yang menunjukkan ekstrak air daun kelor dapat menurunkan kadar leptin pada tikus yang mengalami peningkatan adipogenesis. Ambang dosis ini juga sejalan dengan pemahaman bahwa leptin erat kaitannya dengan massa jaringan adiposa dan inflamasi sistemik, sehingga penurunannya kemungkinan memerlukan efek antiinflamasi dan antioksidan yang lebih kuat dibandingkan efek langsung terhadap sekresi insulin. Keragaman data leptin yang tinggi di dalam kelompok (CV hingga 106,7%) turut menjelaskan mengapa efek terhadap leptin memerlukan dosis lebih tinggi untuk terdeteksi secara statistik dibandingkan efek terhadap gula darah.

Pola berat badan yang lebih tinggi pada kelompok perlakuan dibandingkan kontrol sejalan dengan pemahaman bahwa diabetes tidak terkontrol menimbulkan keadaan katabolik yang menyebabkan penurunan berat badan, dan perbaikan kontrol glikemik oleh ekstrak daun kelor tampak menahan proses katabolik tersebut. Hal ini berbeda dengan temuan pada model dislipidemia yang melaporkan ekstrak etanol daun kelor tidak berpengaruh signifikan terhadap berat badan, sebuah perbedaan yang masuk akal mengingat konteks metabolik kedua model tersebut berbeda—dislipidemia tanpa hiperglikemia berat tidak menimbulkan keadaan katabolik yang sama beratnya dengan diabetes tidak terkontrol pada penelitian ini.

Dengan mempertimbangkan pola respons ketiga variabel secara bersamaan, dosis 400 mg/kgBB tampak sebagai dosis terendah yang memberikan perbaikan bermakna pada ketiga variabel sekaligus—gula darah, leptin, maupun berat badan—sehingga dapat dipertimbangkan sebagai dosis kandidat yang paling efisien secara terapeutik dalam konteks model penelitian ini.

SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera* Lam.) berpengaruh bermakna terhadap kadar gula darah, berat badan, dan kadar leptin pada tikus model diabetes melitus yang diinduksi aloksan. Kadar gula darah menurun secara bertingkat dan konsisten pada seluruh tingkat dosis dengan ukuran efek yang sangat besar ($\eta^2=0,996$), di mana kelompok dosis 400 dan 600 mg/kgBB berhasil menurunkan seluruh sampel (100,0%) di bawah ambang diabetes 200 mg/dL. Berat badan tikus yang diberikan ekstrak lebih tinggi dibandingkan kontrol, dengan perbedaan bermakna pada dosis 400 dan 600 mg/kgBB, yang mengindikasikan bahwa ekstrak daun kelor menahan penurunan berat badan akibat keadaan katabolik diabetes, bukan menambah berat badan. Kadar leptin tikus yang diberikan ekstrak lebih rendah dibandingkan kontrol, dengan perbedaan bermakna hanya pada dosis 400 dan 600 mg/kgBB.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El Latif, A. et al. (2014) 'Moringa oleifera leaf extract ameliorates alloxan-induced diabetes in rats by regeneration of β cells and reduction of pyruvate carboxylase expression', *Biochemistry and Cell Biology*, 92(5), pp. 413–419. Available at: <https://doi.org/10.1139/bcb-2014-0081>.
- Ahmad, J., Khan, I. and Blundell, R. (2019) 'Moringa oleifera and glycemic control: A review of current evidence and possible mechanisms', *Phytotherapy Research*, 33(11), pp. 2841–2848. Available at: <https://doi.org/10.1002/ptr.6473>.
- Antar, S.A. et al. (2023) 'Diabetes mellitus: Classification, mediators, and complications; A gate to identify potential targets for the development of new effective treatments', *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 168, p. 115734. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115734>.
- Chairul, M.A. et al. (2024) 'Pengaruh Pemberian Ekstrak Daun Kelor (Moringa Oleifera) terhadap Glukosa Darah Puasa Mencit dengan Hiperglikemia', *Fakumi Medical Journal: Jurnal Mahasiswa Kedokteran*, 4(1), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.33096/fmj.v4i1.300>.
- Cohen, J. (1988) *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd edn. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ezzat, S.M. et al. (2020) 'Upregulation of MC4R and PPAR- α expression mediates the anti-obesity activity of Moringa oleifera Lam. in high-fat diet-induced obesity in rats', *Journal of Ethnopharmacology*, 251, p. 112541. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112541>.
- Hastuti, N.A.R., Winarsih, S. and Dwijayasa, P.M. (2018) 'Pengaruh Ekstrak Air Daun Kelor Terhadap Kadar Leptin dan Malondialdehyde Lemak Visceral Tikus Wistar yang Dipapar Depo Medroxyprogesterone Acetate', *Journal Of Issues In Midwifery*, 2(1), pp. 38–46. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.joim.2018.002.01.4>.
- International Diabetes Federation (2025) *IDF Diabetes Atlas 11th Edition 2025*. Brussels: International Diabetes Federation. Available at: <https://doi.org/10.1111/1753-0407.12644>.

- Julian, L., Budiani, D.R. and Jarot Subandono (2023) 'Pengaruh Ekstrak Etanolik Daun Kelor (*Moringa oleifera*, Lam.) Terhadap Ekspresi Reseptor ACE2 Pankreas Tikus Wistar (*Rattus Norvegicus*) Model Sindrom Metabolik', *Plexus Medical Journal*, 2(3), pp. 122–130. Available at: <https://doi.org/10.20961/plexus.v2i3.695>.
- Lenzen, S. (2008) 'The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes', *Diabetologia*, 51(2), pp. 216–226. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00125-007-0886-7>.
- Manglani, K. et al. (2024) 'Correlation of Leptin in Patients With Type 2 Diabetes Mellitus', *Cureus*, 16(4), p. e57667. Available at: <https://doi.org/10.7759/cureus.57667>.
- Mendila, N.G., Martioso, P.S. and Puradisastra, S. (2025) 'Efek Ekstrak Etanol Daun Kelor (*Moringa Oleifera* L.) Terhadap Penurunan Kadar Kolesterol Total dan Berat Badan Tikus Wistar Jantan Model Dislipidemia', *Sound of Health Journal*, 1(1), pp. 20–28. Available at: <https://doi.org/10.28932/shj.v1i1.10857>.
- Mthiyane, F.T. et al. (2022) 'A Review on the Antidiabetic Properties of *Moringa oleifera* Extracts: Focusing on Oxidative Stress and Inflammation as Main Therapeutic Targets', *Frontiers in Pharmacology*, 13, p. 940572. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.940572>.
- Nikmah, U.A. and Dany, F. (2017) 'Kadar Leptin sebagai Petanda Diabetes pada Individu dengan Diabetes dan Toleransi Glukosa Terganggu', *Buletin Penelitian Kesehatan*, 45(3), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.22435/bpk.v45i3.6508.145-152>.
- Olayaki, L.A. et al. (2015) 'Methanolic extract of *Moringa oleifera* leaves improves glucose tolerance, glycogen synthesis and lipid metabolism in alloxan-induced diabetic rats', *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 26(6), pp. 585–593. Available at: <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2014-0129>.
- Omodanisi, E.I., Aboua, Y.G. and Oguntibeju, O.O. (2017) 'Assessment of the Anti-Hyperglycaemic, Anti-Inflammatory and Antioxidant Activities of the Methanol Extract of *Moringa oleifera* in Diabetes-Induced Nephrotoxic Male Wistar Rats', *Molecules*, 22(4), p. 439. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules22040439>.
- Wati, C.A. (2020) 'Role of Leptin on Oral Glucose Tolerance Test in Type 2 DM Patients', *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*, 9, pp. 753–761. Available at: <https://doi.org/10.35816/jiskh.v10i2.392>.
- Yameny, A.A. (2024) 'Diabetes Mellitus Overview 2024', *Journal of Bioscience and Applied Research*, 10(3), pp. 641–645. Available at: <https://doi.org/10.21608/jbaar.2024.382794>.
- Yasaroh, S. et al. (2021) 'Efek Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*) terhadap Kadar Glukosa Darah Tikus Diabetes Induksi Aloksan', *Prosiding Semnas Biologi ke-9 Tahun 2021 FMIPA*, pp. 224–229.