

Variasi Diet Menginduksi Perubahan BMI dan Hipertrofi Lemak Viseral Ikan Zebra Betina (*Danio rerio*)

Firda Aizzaturrochma¹, Noer Aini², Dini Sri Damayanti³

^{1,2,3} Program Studi Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Islam Malang
e-mail: 09062003firda@gmail.com

Abstrak

Introduksi : Obesitas merupakan kondisi metabolik yang ditandai dengan penumpukan lemak berlebih dan dapat dimodelkan menggunakan hewan coba ikan zebra betina (*Danio rerio*). Penelitian bertujuan membandingkan pengaruh berbagai variasi induksi diet terhadap perubahan *Body Mass Index* (BMI) dan hipertrofi lemak viseral pada ikan zebra betina (*Danio rerio*).

Metode : Penelitian eksperimental ini menggunakan ikan zebra betina (*Danio rerio*) jumlah sample (n = 6) dan terdapat empat kelompok perlakuan, yaitu (P) pelet (3,5% berat badan), (KP) kolesterol + pelet (5% berat badan), (KTP) kuning telur + pelet (5% berat badan), dan (A) artemia (6-7% berat badan). Pemeliharaan ikan dilakukan selama 28 hari dengan pemberian pakan tiga kali sehari, pergantian air satu jam setelah pemberian pakan. Penimbangan berat badan dilakukan menggunakan timbangan analitik dengan satuan gram, sedangkan pengukuran panjang badan dilakukan menggunakan kertas milimeter dengan ukuran 1 kotak besar setara 1 cm. Pengukuran dilakukan pada awal penelitian (minggu ke-0) dan akhir penelitian (28 hari) untuk menentukan nilai *Body Mass Index* (BMI), sedangkan pengamatan histologis dilakukan untuk menganalisis hipertrofi lemak viseral.

Hasil dan diskusi : Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi diet mampu meningkatkan nilai *Body Mass Index* (BMI) ikan zebra betina (*Danio rerio*) hingga mencapai kategori obesitas ($BMI \geq 0,05$). Namun, peningkatan *Body Mass Index* (BMI) antar kelompok perlakuan (P:0,08; KTP:0,07; KP:0,07, A:0,07) ($p > 0,05$). Hipertrofi lemak viseral pada seluruh kelompok perlakuan (P:220; KTP:220; KP:214; A:218) tidak signifikan.

Kesimpulan : Perlakuan diet pelet dan kuning telur + pelet menunjukkan pengaruh yang lebih besar terhadap peningkatan *Body Mass Index* (BMI) dan hipertrofi lemak viseral dibandingkan perlakuan lainnya, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai induksi untuk membuat model obesitas pada ikan zebra betina (*Danio rerio*).

Kata Kunci: *Danio Rerio*, *Body Mass Index* (BMI), Hipertrofi Lemak Viseral, Diet Lemak.

Abstract

Introduction : Obesity is a metabolic condition characterised by excess fat accumulation and can be modelled using female zebra fish (*Danio rerio*) as experimental animals. The

study aims to compare the effects of various diet induction variations on changes in *Body Mass Index* (BMI) and visceral fat hypertrophy in female zebra fish (*Danio rerio*).

Methods : This experimental study used female zebra fish (*Danio rerio*) with a sample size ($n = 6$) and four treatment groups, namely (P) pellet (3.5% of body weight), (KP) cholesterol + pellet (5% of body weight), (KTP) egg yolk + pellet (5% of body weight), and (A) Artemia (6-7% of body weight). Fish were maintained for 28 days with feeding three times daily, and water was changed one hour after feeding. Body weight was measured using an analytical scale in grams, while body length was measured using millimetre paper with each large square equivalent to 1 cm. Measurements were taken at the start of the study (week 0) and at the end (28 days) to determine BMI, while histological observations were conducted to analyse visceral fat hypertrophy.

Results and discussion : The results showed that all diet variations could increase the BMI of female zebra fish (*Danio rerio*) to the obesity category ($BMI \geq 0.05$). However, the increase in BMI between treatment groups (P: 0.08; KTP: 0.07; KP: 0.07; A: 0.07) ($p > 0.05$) was not statistically significant. Visceral fat hypertrophy in all treatment groups (P: 220; KTP: 220; KP: 214; A: 218) was also not significant.

Conclusion : Pellet diet and egg yolk + pellet treatments showed a greater effect on increasing BMI and visceral fat hypertrophy compared to other treatments, thus potentially serving as induction methods for creating an obesity model in female zebra fish (*Danio rerio*).

Keywords : *Danio Rerio*, *Body Mass Index* (BMI), Visceral Fat Hypertrophy, Diet Variations

LATAR BELAKANG

Obesitas merupakan masalah kesehatan global yang ditandai oleh ketidakseimbangan antara asupan energi dan pengeluaran energi sehingga terjadi akumulasi lemak dalam tubuh, khususnya lemak visceral (M, Aulia Rachma R, et al., 2023). Di Indonesia, prevalensi obesitas terus meningkat, di mana berdasarkan data Survei Kesehatan Indonesia tahun 2023 terjadi kenaikan dari 21,8% pada tahun 2018 menjadi 23,4% pada orang dewasa, serta menempatkan Indonesia sebagai salah satu negara dengan prevalensi obesitas tertinggi di Asia Tenggara. Peningkatan konsumsi makanan tinggi lemak berperan dalam penimbunan trigliserida di jaringan adiposa visceral yang berdampak pada kenaikan berat badan dan *Body Mass Index* (BMI) (Kemenkes et al., 2025).

Model hewan coba seperti ikan zebra (*Danio rerio*) banyak digunakan dalam penelitian obesitas karena memiliki kesamaan metabolik dengan manusia, termasuk kemampuan mengakumulasi lemak visceral dan menunjukkan perubahan metabolik yang serupa (Huang et al., 2025). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemberian diet tinggi lemak atau overfeeding dalam jangka waktu tertentu dapat menyebabkan peningkatan BMI, hipertrofi adiposit, serta gangguan metabolik (Silva et al., 2024). Namun, penelitian yang secara khusus meneliti ikan zebra betina masih terbatas, padahal betina memiliki ukuran abdomen yang lebih besar sehingga lebih mudah diamati perubahan lemak visceralnya secara histologis.

Secara biologis, pembentukan lemak dalam tubuh terjadi melalui proses lipogenesis dan adipogenesis. Lipogenesis merupakan proses sintesis asam lemak dari substrat seperti glukosa yang kemudian diubah menjadi trigliserida dan disimpan dalam adiposit sebagai cadangan energi. Proses ini dipengaruhi oleh hormon seperti insulin serta berbagai enzim kunci, seperti acetyl-CoA carboxylase (ACC) dan fatty acid synthase (FASN) (Das et al., 2025). Sementara itu, adipogenesis adalah proses diferensiasi sel prekursor menjadi adiposit matang yang mampu menyimpan lipid dalam jumlah besar. Ketika terjadi kelebihan asupan energi secara kronis, kedua proses ini akan meningkat sehingga mendorong akumulasi lemak dalam jaringan adiposa (Gudasi & Patil et al., 2025).

Pada kondisi obesitas, kelebihan energi akan disimpan terutama dalam jaringan adiposa visceral yang terletak di rongga abdomen dan mengelilingi organ-organ internal seperti hepar, pankreas, dan intestinal (Potter & Friedl et al., 2025). Penimbunan lemak visceral ini umumnya terjadi melalui mekanisme hipertrofi adiposit, yaitu pembesaran ukuran sel droplet lipid dalam adiposit akibat akumulasi trigliserida (TG) yang berlebihan (Li & Spalding, 2022). Akumulasi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan berat badan dan perubahan komposisi tubuh, yang secara klinis dapat dinilai menggunakan indikator antropometrik seperti *Body Mass Index* (BMI) (Saraswati et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi diet selama 4 minggu terhadap perubahan BMI dan hipertrofi lemak visceral pada ikan zebra betina (*Danio rerio*). Penelitian sebelumnya menggunakan model obesitas pada hewan coba ikan zebra (*Danio rerio*) menggunakan hewan uji dewasa berusia ± 3 bulan yang terdiri dari kedua jenis kelamin (jantan dan betina). Ikan dibagi menjadi beberapa kelompok dengan dua metode utama induksi obesitas, yaitu diet tinggi lemak berupa campuran kuning telur bubuk dan minyak kedelai, serta *overfeeding Artemia sp.* sebagai model kelebihan asupan energi. Perlakuan diberikan selama 8 minggu, dengan pola pemberian pakan tiga kali sehari dengan interval sekitar 3 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua metode induksi tersebut mampu meningkatkan *Body Mass Index* (BMI) secara signifikan serta menyebabkan hipertrofi adiposit pada jaringan lemak visceral, yang ditandai dengan pembesaran ukuran sel lemak. Perubahan ini mencerminkan terjadinya obesitas yang disertai dengan perubahan morfologis dan metabolik yang menyerupai kondisi obesitas pada mamalia (Silva et al., 2024).

Penelitian lain menggunakan model obesitas pada hewan coba ikan zebra (*Danio rerio*) dengan jenis kelamin jantan. Induksi obesitas dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu *overfeeding* dengan diet normal (normal-fat diet, NFD) dan *overfeeding* dengan diet tinggi lemak (high-fat diet, HFD) yang dikombinasikan dengan sumber lemak tambahan seperti kuning telur. Perlakuan diberikan selama 8 minggu, dengan pola pemberian pakan 1 kali sehari dalam jumlah yang ditingkatkan (*overfeeding*) untuk menciptakan kondisi surplus energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan ini secara signifikan menyebabkan peningkatan *Body Mass Index* (BMI), berat badan, dan persentase lemak tubuh. Selain itu, terjadi hipertrofi jaringan adiposa, yang ditandai dengan pembesaran ukuran adiposit dan disertai perubahan metabolik seperti peningkatan kadar trigliserida (Jin et al., 2023).

METODE

Desain, kode etik, waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini memanfaatkan sebuah desain laboratorium eksperimen in vivo. Induksi diet lemak menggunakan hewan uji coba ikan zebra betina (*Danio rerio*) dewasa yang berusia antara 3 bulan yang hanya digunakan sebagai Posttest-Only Control Group Design. Penelitian yang dilakukan ini telah mendapatkan persetujuan dari komite etika penelitian Kesehatan Rumah Sakit Islam Malang dengan nomor Keterangan Layak Etik No. 43/KEPK/RSI-U/VII/2025. Penelitian ini akan dimulai pada bulan November 2025 hingga bulan Maret 2026. Proses perawatan diawali dengan penyesuaian (aklimatisasi), dan penerapan perlakuan terhadap ikan zebra betina (*Danio rerio*) akan dilaksanakan di Laboratorium Riset Fakultas Kedokteran Universitas Islam Malang. Kemudian untuk pembuatan preparat histologi dari jaringan lemak visceral akan dilakukan di Laboratorium Budidaya Ikan, Divisi Reproduksi Ikan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) Universitas Brawijaya, Malang. Ikan zebra betina (*Danio rerio*) yang akan digunakan untuk penelitian telah diidentifikasi di Fakultas Perikanan Ilmu Kelautan Universitas Airlangga dengan No. 13/UP-FISH/UA.FPK/02/2026.

Perlakuan pada hewan coba (*Danio rerio*).

Pada penelitian ini ikan zebra betina (*Danio rerio*) yang digunakan berusia 3 bulan, diberi induksi variasi diet yang terdiri dari 4 kelompok yang berbeda. Pelet ikan 3,5% BB ikan (mg/ekor/kali), kolesterol murni 4%+pelet 5% BB ikan (mg/ekor/kali), kuning telur ayam ras+pelet (5:1) 5% BB ikan (mg/ekor/kali), dan Decapsulated Artemia Cysts (DAC) 6-7% BB ikan.

Kegiatan Pra Penelitian

Sampel ikan zebra betina (*Danio rerio*) diperoleh dari Ikan Zebra Indonesia yang berlokasi di Kota Kediri. Sebelum penelitian dimulai, hewan coba dipilih yang terbaik sesuai dengan kriteria inklusi, berusia 3 bulan dengan berat tubuh normal (0,3-0,5 gram), pilih ikan zebra betina (memiliki garis biru yang lebih pudar dan memiliki bentuk perut lebih bulat), kondisi sehat, aktif bergerak, dan tidak menunjukkan kelainan fisik (Dewantari et al., 2023).. Selanjutnya masuk ke fase adaptasi terlebih dahulu dengan kondisi akuarium yang konstan, meliputi siklus pencahayaan selama 14 jam terang dan 10 jam gelap, suhu air berkisar antara 27–30°C, pH air 7–8 (Pardon et al., 2022). Kadar dissolved oxygen (DO) dipertahankan >5 mg/L untuk menjaga kondisi fisiologis ikan zebra (*Danio rerio*) tetap optimal (Fasciolo et al., 2026). Selama masa adaptasi, ikan diberikan pakan berupa pelet dua kali sehari (pagi dan sore hari) serta dilakukan pemeliharaan kualitas air tawar secara rutin. Proses adaptasi ini berlangsung selama 7 hari, hewan coba yang tidak dapat beradaptasi (menunjukkan perilaku abnormal) maka akan dieliminasi. Setelah melewati fase adaptasi, dilakukan penimbangan berat badan awal dan pengukuran panjang tubuh ikan.

Kegiatan Saat Penelitian

Ikan zebra betina (*Danio rerio*) memasuki fase perlakuan berupa pemberian variasi diet yang dilakukan setiap hari selama 28 hari. Pemberian pakan dilakukan tiga kali sehari secara teratur, dengan pergantian air dilakukan satu jam setelah pemberian pakan.

Kegiatan Akhir Penelitian

Setelah periode pemberian variasi diet selama 28 hari, dilakukan kembali penimbangan berat badan dan pengukuran panjang tubuh sebagai data akhir. Sebelum memasuki tahap pembuatan preparat, ikan zebra betina (*Danio rerio*) dipuasakan selama 24 jam (Du et al., 2024). Selanjutnya, ikan zebra dianestesi menggunakan metode *gradual cooling* dengan perendaman pada air es bersuhu sekitar 10°C selama ± 5 menit hingga kehilangan keseimbangan dan respons terhadap rangsangan (Weaver et al., 2024). Tahap akhir adalah pembuatan preparat histologi.

Kegiatan Pembuatan Preparat Menggunakan Pewarnaan HE

Tubuh ikan zebra disayat secara sagital sehingga sebaran lemak visceral dalam rongga abdomen (*abdominal cavity*) dapat diamati. Jaringan lemak visceral difiksasi dalam larutan Neutral Buffered Formalin (NBF) 10% selama 24 jam. Sampel kemudian diproses melalui tahap dehidrasi menggunakan alkohol bertingkat (70%, 80%, 85%, dan 100%), dilanjutkan dengan proses clearing menggunakan xylene serta impregnasi dan embedding dalam parafin. Blok parafin yang terbentuk dipotong menggunakan mikrotom dengan ketebalan 3–5 μm , kemudian ditempelkan pada gelas objek dan diwarnai menggunakan metode Hematoxylin-Eosin (HE). Preparat yang telah selesai diamati secara mikroskopis untuk mengevaluasi hipertrofi adiposit dan perubahan histologis jaringan lemak visceral.

Perhitungan jumlah sel droplet hipertrofi lemak visceral

Analisis dilakukan pada preparate jaringan adiposity visceral dengan perbesaran 400x, dihitung 5 jaringan menggunakan *software ImageJ* oleh 3 pengamat berbeda. Kriteria yang digunakan adalah sel dengan luas $> 1000 \mu\text{m}^2$ dikategorikan mengalami hipertrofi (Wafer et al., 2026). Proses pembacaan preparat histologi dilakukan secara sistematis, dimulai dari bagian tepi kiri, kemudian bergerak ke bawah dan dilanjutkan dengan pola zig-zag. Pemberian skor hipertrofi di tentukan menggunakan rumus berikut ini:

$$\% \text{ Hipertrofi} = \frac{\text{Luas area sel hipertrofi}}{\text{Luas area total}} \times 100\%$$

Perhitungan BMI pada ikan zebra betina (*Danio rerio*) diperoleh berdasarkan data berat badan (BB) dan panjang badan (PB) yang diukur terlebih dahulu. Data berat badan dan 2526panjang badan di ambil sebelum di beri perlakuan (minggu-0) dan setelah di beri perlakuan (minggu-4). Perhitungan BMI menggunakan rumus berikut ini :

$$BMI = \frac{\text{Berat badan (g)}}{\text{Panjang badan (cm)}^2}$$

Analisa Data

Data penelitian dianalisis menggunakan SPSS. Uji asumsi dilakukan melalui uji normalitas (Shapiro-Wilk) dan homogenitas (Levene). Jika data berdistribusi normal dan homogen ($p > 0,05$), analisis dilanjutkan dengan One-Way ANOVA, kemudian uji lanjut Tukey apabila hasil signifikan ($p < 0,05$). Jika asumsi tidak terpenuhi ($p < 0,05$), digunakan uji non-parametrik.

HASIL DAN ANALISIS DATA

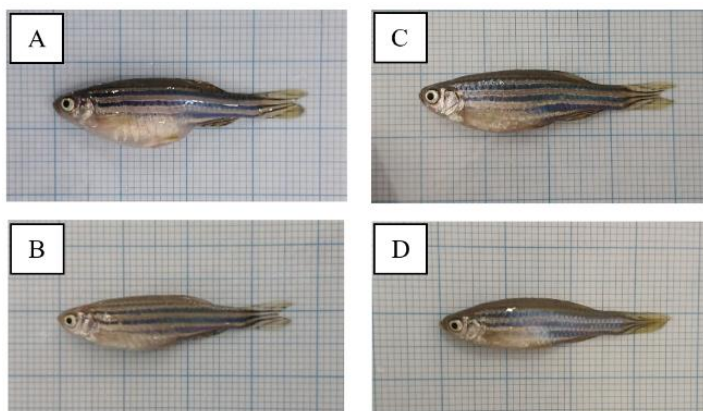
Karakteristik sampel ikan zebra betina (*Danio rerio*) dalam penelitian ini disajikan secara rinci pada tabel berikut ini :

Tabel 1. Karakteristik sampel

Keterangan	P	KP	KTP	A
Sampel penelitian	Ikan zebra	Ikan zebra	Ikan zebra	Ikan zebra
Jenis kelamin	Betina	Betina	Betina	Betina
Usia	3 bulan	3 bulan	3 bulan	3 bulan
Jumlah sampel	6	6	6	6
Berat badan	0,3 gram	0,3 gram	0,3 gram	0,3 gram
Panjang badan	2,8 cm	2,8 cm	2,8 cm	2,8 cm
Durasi perlakuan	28 hari	28 hari	28 hari	28 hari
Jenis Induksi diet lemak	Pelet Prima Feed 500	Kolesterol 4% + pelet	Kuning telur ayam ras + pelet	Decapsulated Artemia Cysts (DAC)
Dosis	Pelet ikan 3,5% BB ikan (mg/ekor/kali).	Kolesterol murni 4% + pelet 5% BB ikan (mg/ekor/kali).	Kuning telur ayam ras + pelet (5:1) 5% BB ikan (mg/ekor/kali).	6-7% BB ikan.

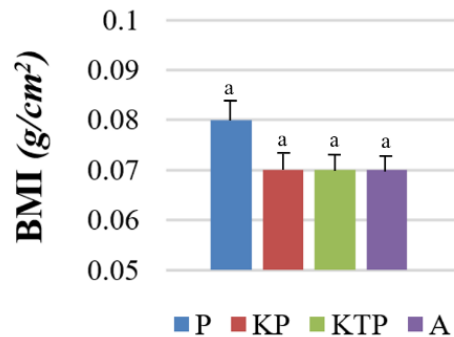
Keterangan : Perlakuan diet terdiri atas empat variasi, P (Pelet), KP (Kolesterol Pelet), KTP (Kuning Telur Pelet), dan A (Artemia). Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah ikan zebra betina (*Danio rerio*) berusia 3 bulan dengan berat badan 0,3 gram dan panjang tubuh 2,8 cm. Perlakuan induksi diberikan selama 28 hari dengan enam kali pengulangan.

Pengaruh variasi diet terhadap peningkatan BMI ikan zebra betina (*Danio rerio*).



Gambar 1 Panjang Badan (cm) Ikan Zebra Betina (*Danio rerio*) Setiap Kelompok Perlakuan

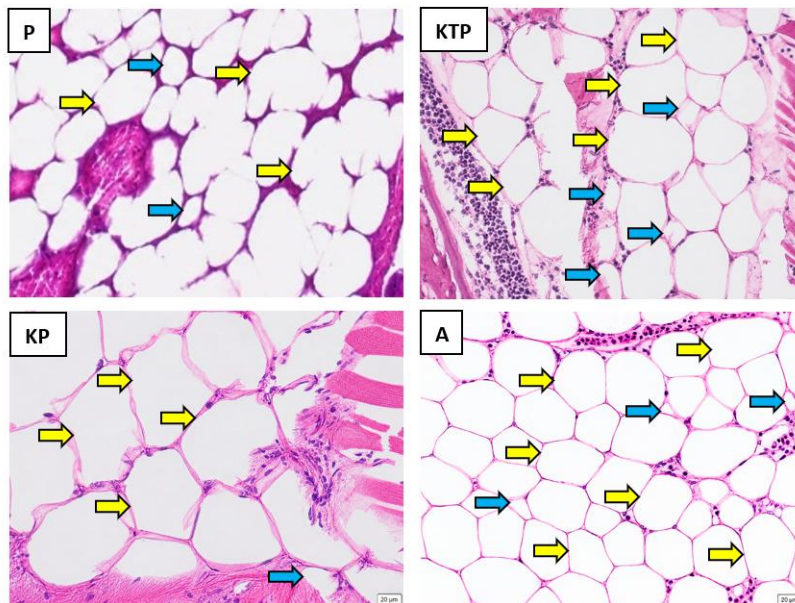
Keterangan : Pelet (Gambar A), kolesterol+pelet (Gambar B), kuning telur+pelet (Gambar C), artemia (Gambar D). Secara morfologi, terlihat adanya perbedaan panjang dan ketebalan tubuh ikan zebra betina, pada gambar A (pelet) tubuh ikan tampak lebih lebar dibandingkan dengan gambar B, C, dan D.



Gambar 2 Histogram BMI ikan zebra betina (*Danio rerio*) setelah pemberian variasi diet selama 28 hari.

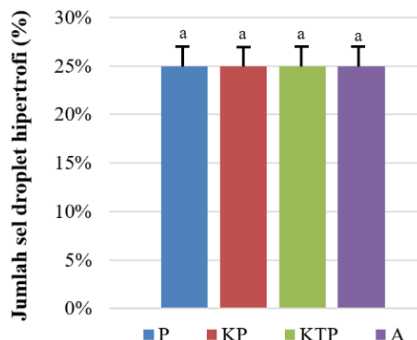
Keterangan : Nilai *Body Mass Index* (BMI) pada ikan zebra betina (*Danio rerio*) di akhir penelitian menunjukkan bahwa kelompok P (pelet) memiliki rata-rata BMI tertinggi yaitu $0,08 \pm 0,005$ g/cm², sedangkan kelompok kolesterol+pelet, kuning telur+pelet, dan artemia masing-masing memiliki nilai rata-rata BMI yang sama yaitu 0,07 g/cm² dengan variasi standar deviasi yang berbeda. Data analisis dengan One Way ANOVA menunjukkan nilai signifikansi $p > 0,05$. Notasi huruf sama menunjukkan tidak perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan.

Pengaruh variasi diet terhadap hipertrofi lemak visceral ikan zebra betina (*Danio rerio*).



Gambar 3 Histopatologi sel droplet hipertrofi lemak visceral setiap kelompok perlakuan.

Keterangan : Panah berwarna biru menunjukkan ukuran luas sel droplet lemak visceral $<1000\mu\text{m}^2$ (normal) sedangkan panah berwarna kuning menunjukkan ukuran luas sel droplet lemak visceral $>1000\mu\text{m}^2$ (hipertrofi). Metode untuk pengukuran luas sel droplet lemak visceral yang mengalami hipertrofi menggunakan *software imageJ*.



Gambar 4 Histogram sel droplet hipertrofi lemak visceral

Keterangan : Tabel rata-rata $\pm$ sd dan histogram sel droplet hipertrofi lemak visceral pada ikan zebra betina (*Danio rerio*) yang diinduksi (P) pelet, (KP) kolesterol dan pelet, (KTP) kuning telur dan pelet, (A) artemia. Analisa data menggunakan Kruskal-Wallis dengan $p \geq 0,05$. Notasi yang sama pada histogram menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan.

PEMBAHASAN

Karakteristik Sampel Penelitian.

Sampel pada penelitian ini menggunakan ikan zebra betina (*Danio rerio*) dewasa usia 3 bulan karena pada usia tersebut ikan zebra betina (*Danio rerio*) telah memasuki fase dewasa (adult stage), yang ditandai dengan perkembangan anatomi tubuh dan sistem organ yang telah terbentuk secara optimal (Schiavone et al., 2024). Penelitian ini menggunakan ikan zebra (*Danio rerio*) sebagai hewan coba karena memiliki sekitar 70% kesamaan gen dengan manusia (Siddiqui et al., 2025). Ikan zebra betina (*Danio rerio*) dipilih karena cenderung memiliki ukuran abdomen dan deposisi jaringan adiposa yang lebih besar dibandingkan jantan, sehingga akumulasi lemak visceral lebih mudah diamati secara morfologis maupun histologis. Selain itu, ikan zebra betina (*Danio rerio*) responsif terhadap pemberian variasi diet sehingga sering digunakan sebagai model penelitian obesitas dan penyakit metabolik (Ghaddar & Diotel et al., 2022). Pada penelitian ini, induksi yang digunakan adalah variasi diet selama 28 hari dengan tujuan untuk membuktikan bahwa pengaruh berbagai variasi diet terhadap peningkatan *Body Mass Index* (BMI) dan hipertrofi lemak visceral pada *D. rerio* betina sebagai indikator terjadinya obesitas.

Peningkatan *Body Mass Index* (BMI) Ikan Zebra Betina (*Danio rerio*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh kelompok perlakuan mengalami peningkatan nilai *Body Mass Index* (BMI), yaitu kelompok pelet (P) sebesar 0,08, kelompok kuning telur dan pelet (KTP) sebesar 0,07, kelompok kolesterol dan pelet (KP) sebesar 0,07, serta kelompok *Decapsulated Artemia Cysts* (DAC) sebesar 0,07. Meskipun demikian,

analisis statistik menunjukkan bahwa peningkatan *Body Mass Index* (BMI) antar kelompok perlakuan tidak berbeda secara signifikan ($p > 0,05$).

Kelompok diet pelet (P) memiliki nilai *Body Mass Index* (BMI) lebih tinggi dibandingkan kelompok kuning telur + pelet (KTP), kolesterol + pelet (KP), dan decapsulated artemia cysts (DAC). Hal ini diduga berkaitan dengan kandungan karbohidrat (30%) pada pelet yang lebih tinggi (Febriyanti & Wijayanti et al., 2023). Karbohidrat yang dikonsumsi oleh ikan zebra (*Danio rerio*) akan dicerna di saluran pencernaan menjadi glukosa, kemudian glukosa hasil pencernaan karbohidrat akan diabsorpsi melalui dinding usus dan masuk ke dalam aliran darah sehingga kadar glukosa darah akan meningkat. Peningkatan kadar glukosa darah tersebut dapat merangsang pankreas untuk mensekresikan hormon insulin. Hormon insulin berperan membantu masuknya glukosa ke dalam sel untuk digunakan sebagai sumber energi atau disimpan dalam bentuk glikogen di hepar dan otot (SyLOW et al., 2021). Apabila asupan glukosa dikonsumsi secara berlebih, kelebihan glukosa dapat diubah menjadi trigliserida (TG) melalui proses lipogenesis dan disimpan di jaringan adiposa sebagai cadangan lemak (Dakanalis et al., 2023). Selanjutnya, konsumsi makanan tinggi karbohidrat dapat menyebabkan peningkatan hormon ghrelin dan terjadinya gangguan sensitivitas dari hormon leptin, sehingga rasa lapar lebih cepat muncul dan nafsu makanan akan meningkat yang pada akhirnya dapat menyebabkan obesitas pada ikan zebra betina (*Danio rerio*) (Norton et al., 2022).

Sementara itu, ikan zebra betina (*Danio rerio*) mengkonsumsi kuning telur dan pelet lebih rendah dibandingkan kelompok pelet hal ini terjadi karena diet kuning telur dan pelet memiliki persentase lemak kasar sekitar 50% sehingga membutuhkan waktu lebih lama untuk dicerna dan diabsorpsi di saluran pencernaan sehingga proses pengosongan lambung berlangsung lebih lambat dan memberikan sensasi rasa kenyang yang bertahan lebih lama (Maher & Clegg et al., 2021).

Selain itu, kandungan protein pada DAC (*decapsulated Artemia cyst*) merupakan yang paling tinggi dibandingkan kandungan karbohidrat dan lemak. Kandungan protein pada DAC sebesar 45% memiliki efek termogenik lebih tinggi sehingga protein cenderung lebih banyak digunakan dalam proses metabolisme dan produksi energi dibandingkan disimpan sebagai cadangan lemak. Protein juga dapat meningkatkan rasa kenyang pada ikan zebra betina (*Danio rerio*) sehingga asupan makanan menjadi lebih rendah (Basto-Silva et al., 2021).

Oleh karena itu, meskipun diet kuning telur + pelet (KTP), kolesterol + pelet (KP), dan *decapsulated Artemia cyst* (A) memiliki kandungan lemak lebih tinggi, diet pelet tetap menunjukkan peningkatan BMI paling tinggi pada ikan zebra betina (*Danio rerio*).

Peningkatan Luas Sel Droplet Hipertrofi Lemak Viseral Ikan Zebra Betina (*Danio rerio*).

Hasil uji analisis statistik penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan ukuran sel lipid (hipertrofi lemak visceral) pada seluruh kelompok perlakuan, perbedaan antar kelompok tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$). Kelompok kolesterol + pelet (KP) menunjukkan hipertrofi lemak visceral yang paling rendah dibandingkan kelompok pelet (P), Kuning telur + pelet (KTP), dan Artemia (A). Pada kelompok kolesterol dan pelet (KP), lipid yang terakumulasi kemungkinan tidak hanya tersimpan pada jaringan adiposa

viseral, tetapi juga pada jaringan atau organ lain seperti hati, sehingga peningkatan BMI tetap terjadi meskipun hipertrofi adiposit visceral relatif lebih rendah (Jin et al., 2024)

Secara patomekanisme, kadar lemak yang terdapat pada variasi diet (pelet, kuning telur dan pelet, kolesterol dan pelet, dan artemia) yang dikonsumsi ikan zebra betina (*Danio rerio*) akan meningkatkan kadar *free fatty acids* (FFA) dan trigliserida (TG) di dalam sirkulasi. Insulin kemudian merangsang proses lipogenesis dan meningkatkan penyimpanan trigliserida di jaringan adiposa. Akumulasi dari trigliserida (TG) yang berlangsung secara terus-menerus bisa menyebabkan pembesaran ukuran dari jaringan adiposit (hipertrofi adiposit). Selain itu, kelebihan asupan energi juga meningkatkan deposisi lemak pada jaringan subkutan sehingga terjadi peningkatan ukuran sel lemak (Jeon et al., 2023). Tanda terjadinya hipertrofi lemak visceral ditunjukkan oleh membesarnya ukuran adiposit akibat penimbunan trigliserida di dalam sel lemak. Secara histologis, hipertrofi ditandai dengan adiposit unilokular yang berukuran lebih besar, dan penumpukan jaringan adiposa pada rongga abdomen (Yao et al., 2022).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pemberian variasi diet selama 28 hari pada ikan zebra betina (*Danio rerio*) mampu menyebabkan obesitas dan hipertrofi lemak visceral. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai *Body Mass Index* (BMI) yang berada pada kategori obesitas serta adanya hipertrofi lemak visceral berdasarkan hasil pemeriksaan histologi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian hingga penyusunan jurnal. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen penguji yang telah memberikan masukan dan evaluasi sebagai *peer reviewer*. Penelitian ini memperoleh dukungan pendanaan dari Ikatan Orang Tua Mahasiswa (IOM) dan Fakultas Kedokteran Universitas Islam Malang. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh teman-teman pohon penelitian yang telah berkontribusi dan membantu dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Basto-Silva, C., Enes, P., Oliva-Teles, A., Balbuena-Pecino, S., Navarro, I., Capilla, E., & Guerreiro, I. (2021). Dietary Protein Source And Protein/Carbohydrate Ratio Affects Appetite Regulation-Related Genes Expression In Gilthead Seabream (*Sparus Aurata*). *Aquaculture*, 533, 736142. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736142>
- Dakanalis, A., Mentzelou, M., Papadopoulou, S. K., Papandreou, D., Spanoudaki, M., Vasios, G. K., Pavlidou, E., Mantzourou, M., & Giaginis, C. (2023). The Association Of Emotional Eating With Overweight/Obesity, Depression, Anxiety/Stress, And Dietary Patterns: A Review Of The Current Clinical Evidence. *Nutrients* 2023, Vol. 15, Page 1173, 15(5), 1173. <https://doi.org/10.3390/nu15051173>

- Das, M., Yagnik, U., Raninga, I., & Banerjee, D. (2025). Metabolic Regulation Of Obesity By Naturally Occurring Compounds: Mechanisms And Therapeutic Potential. *Frontiers In Endocrinology*, 16, 1655875. <https://doi.org/10.3389/Fendo.2025.1655875>
- Dewantari, F. M., Chilmawati, D., & Subandiyono, S. (2023). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis Ed* (Number 2).
- Du, Q., Shao, R., Wang, W., Zhang, H., Liao, X., Wang, Z., Yin, Z., Ai, Q., Mai, K., Tang, X., & Wan, M. (2024). Vitamin D3 Regulates Energy Homeostasis Under Short-Term Fasting Condition In Zebrafish (Danio Rerio). *Nutrients*, 16(9), 1271. <https://doi.org/10.3390/NU16091271/S1>
- Fasciolo, G., Geremia, E., Gravato, C., Petito, A., Muscari Tomajoli, M. T., Agnisola, C., Venditti, P., & Napolitano, G. (2026). Sublethal Nitrite Exposure Alters Redox Status And Metabolic Functions In Adult Zebrafish. *Environments*, 13(1), 49. <https://doi.org/10.3390/ENVIRONMENTS13010049/S1>
- Febriyanti, T. L., & Wijayanti, A. (2023). Identifikasi Potensi Pemanfaatan Daun Talas Beneng (Xanthosoma Undipesi K. Koch) Sebagai Substitusi Protein Nabati Pada Pakan Ikan. *Jurnal Ilmiah Agrisains*, 24(3), 170–180. <https://doi.org/10.22487/Jiagrisains.V24i3.2023.170-180>
- Ghaddar, B., & Diotel, N. (2022). Zebrafish: A New Promise To Study The Impact Of Metabolic Disorders On The Brain. *International Journal Of Molecular Sciences* 2022, Vol. 23, Page 5372, 23(10), 5372. <https://doi.org/10.3390/IJMS23105372>
- Gizi Kesmas, M., Aulia Rachma, R., & Mahmudiono, T. (2023). *Rachma And Mahmudiono 1002 The Relationship Between Genetic ... Hubungan Faktor Genetik Dan Asupan Energi Dengan Kejadian Obesitas The Relationship Between Genetic Factors And Energy Intake With Obesity*. <https://doi.org/10.20473/Mgk.V12i2.2023.1002-1006>
- Gudasi, S., & Patil, M. B. (2025). Comprehensive Review On Anti-Obesity Effects Of Plant-Derived Compounds: Evidence From 3T3-L1 Adipocytes And High-Fat Diet Models. *Aspects Of Molecular Medicine*, 5(9), 100089. <https://doi.org/10.1016/J.Amolm.2025.100089>
- Huang, S., Chen, Z., Li, H., Zou, Y., Wang, B., Zhao, W., Zheng, L., Zhou, Z., Peng, X., & Tang, C. (2025). High-Fat Diet-Induced Diabetic Cardiomyopathy In Female Zebrafish: Cardiac Pathology And Functional Decline Mediated By Type 2 Diabetes. *Nutrients*, 17(13). <https://doi.org/10.3390/Nu17132209>
- Jeon, Y. G., Kim, Y. Y., Lee, G., & Kim, J. B. (2023). Physiological And Pathological Roles Of Lipogenesis. *Nature Metabolism* 2023 5:5, 5(5), 735–759. <https://doi.org/10.1038/S42255-023-00786-Y>
- Jin, Y., Kozan, D., Anderson, J. L., Hensley, M., Shen, M.-C., Wen, J., Moll, T., Kozan, H., Rawls, J. F., & Farber, S. A. (2023). A High-Cholesterol Zebrafish Diet Promotes Hypercholesterolemia And Fasting-Associated Liver Triglycerides Accumulation. *Biorxiv*, 2023.11.01.565134. <https://doi.org/10.1101/2023.11.01.565134>
- Jin, Y., Kozan, D., Young, E. D., Hensley, M. R., Shen, M. C., Wen, J., Moll, T., Anderson, J. L., Kozan, H., Rawls, J. F., & Farber, S. A. (2024). A High-Cholesterol Zebrafish Diet Promotes Hypercholesterolemia And Fasting-Associated Liver Steatosis. *Journal Of Lipid Research*, 65(10), 100637. <https://doi.org/10.1016/J.JLR.2024.100637>

KEPUTUSAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA. (2025).

- Li, Q., & Spalding, K. L. (2022). The Regulation Of Adipocyte Growth In White Adipose Tissue. *Frontiers In Cell And Developmental Biology*, 10, 1003219. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.1003219/full>
- Maher, T., & Clegg, M. E. (2021). A Systematic Review And Meta-Analysis Of Medium-Chain Triglycerides Effects On Acute Satiety And Food Intake. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 61(4), 636–648. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1742654>
- Norton, L., Shannon, C., Gastaldelli, A., & Defronzo, R. A. (2022). Insulin: The Master Regulator Of Glucose Metabolism. *Metabolism*, 129, 155142. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2022.155142>
- Pardon, M., Claes, P., Druwé, S., Martini, M., Siekierska, A., Menet, C., De Witte, P. A. M., & Copmans, D. (2022). Modulation Of Sleep Behavior In Zebrafish Larvae By Pharmacological Targeting Of The Orexin Receptor. *Frontiers In Pharmacology*, 13, 1012622. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1012622/text>
- Schiavone, M. G., Facchinello, N., Vettori, A., Mastrogiovanni, M., Juan Martínez-Navarro, F., Bowman, T. V., & Cayuela, M. L. (2024). Inflammation In Development And Aging: Insights From The Zebrafish Model. *International Journal Of Molecular Sciences* 2024, Vol. 25, Page 2145, 25(4), 2145. <https://doi.org/10.3390/ijms25042145>
- Siddiqui, S., Siddiqui, H., Riguene, E., & Nomikos, M. (2025). Zebrafish: A Versatile And Powerful Model For Biomedical Research. *Bioessays*, 47(12), E70080. <https://doi.org/10.1002/bies.70080>
- Sylow, L., Tokarz, V. L., Richter, E. A., & Klip, A. (2021). The Many Actions Of Insulin In Skeletal Muscle, The Paramount Tissue Determining Glycemia. *Cell Metabolism*, 33(4), 758–780. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2021.03.020>
- Wafer, R., Tandon, P., & Minchin, J. (2026). A Quantitative In Vivo CRISPR-Imaging Platform Identifies Regulators Of Hyperplastic And Hypertrophic Adipose Morphology In Zebrafish. *Elife*, 14, RP107327. <https://doi.org/10.7554/ELIFE.107327>
- Weaver, H. L., Carbaugh, C. M., Madejczyk, M. S., Raiciulescu, S., Martin, M. L., & Widder, M. W. (2024). Comparison Of Tricaine Methanesulfonate (MS-222) And Alfaxalone Anesthesia In Zebrafish (Danio Rerio). *Journal Of The American Association For Laboratory Animal Science*, 63(1), 74–80. <https://doi.org/10.30802/AALAS-JAALAS-23-000058>
- Yao, J., Wu, D., & Qiu, Y. (2022). Adipose Tissue Macrophage In Obesity-Associated Metabolic Diseases. *Frontiers In Immunology*, 13, 977485. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.977485/full>