



PENGARUH SUHU LINGKUNGAN TERHADAP AKTIVITAS ENZIM KATALASE PADA HATI AYAM

Adisti¹⁾

¹⁾Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
Email: adisti@gmail.com

Abstract

The catalase enzyme is a vital antioxidant enzyme whose activity is influenced by environmental factors such as temperature. This research aimed to investigate the effect of temperature variation on the activity of the catalase enzyme isolated from chicken liver (*Gallus gallus domesticus*). A laboratory experimental method was used by measuring the catalase activity in a crude extract of chicken liver. The enzyme extract was incubated at five different temperatures: 5°C, 27°C, 37°C, 47°C, and 57°C. Enzyme activity was determined spectrophotometrically by measuring the decomposition rate of the hydrogen peroxide (H₂O₂) substrate. The results showed that temperature has a significant influence. Enzyme activity was observed to be low at 5°C, then increased with rising temperature, reaching its peak (optimal) activity at 37°C. At higher temperatures (47°C and 57°C), the enzyme's activity decreased sharply. The decrease in activity at low temperatures was caused by reversible inactivation, whereas at high temperatures it was caused by irreversible thermal denaturation. The optimal temperature of 37°C indicates the enzyme's adaptation to function efficiently at the normal physiological temperature of chickens. In conclusion, temperature is a critical factor that controls the catalytic function of the catalase enzyme.

Keywords: Catalase Enzyme, Temperature, Enzyme Activity, Chicken Liver, Denaturation.

Abstrak

Enzim katalase adalah enzim antioksidan vital yang aktivitasnya dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu lingkungan terhadap aktivitas enzim katalase yang diisolasi dari hati ayam (*Gallus gallus domesticus*). Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan mengukur aktivitas katalase pada ekstrak kasar hati ayam. Ekstrak enzim diinkubasi pada lima variasi suhu: 5°C, 27°C, 37°C, 47°C, dan 57°C. Aktivitas enzim ditentukan secara spektrofotometri dengan mengukur laju dekomposisi substrat hidrogen peroksida (H₂O₂). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu memiliki pengaruh signifikan. Aktivitas enzim teramati rendah pada suhu 5°C, kemudian meningkat seiring kenaikan suhu, dan mencapai aktivitas puncak (optimal) pada suhu 37°C. Pada suhu yang lebih tinggi (47°C dan 57°C), aktivitas enzim mengalami penurunan tajam. Penurunan aktivitas pada suhu rendah disebabkan oleh inaktivasi reversibel, sedangkan pada suhu tinggi disebabkan oleh denaturasi termal yang ireversibel. Suhu optimal 37°C menunjukkan adaptasi enzim untuk berfungsi efisien pada suhu fisiologis normal ayam. Kesimpulannya, suhu adalah faktor kritis yang mengontrol fungsi katalitik enzim katalase.

Kata Kunci: Enzim Katalase, Suhu, Aktivitas Enzim, Hati Ayam, Denaturasi.



PENDAHULUAN

Enzim merupakan molekul protein yang memegang peranan vital dalam hampir seluruh reaksi biokimia di dalam sel makhluk hidup. Berfungsi sebagai biokatalisator, enzim bekerja dengan cara mempercepat laju reaksi kimia tanpa ikut bereaksi atau mengalami perubahan permanen. Percepatan ini terjadi melalui penurunan energi aktivasi, yaitu energi minimum yang dibutuhkan agar suatu reaksi dapat berlangsung (Zulkarnaen et al., 2022). Tanpa kehadiran enzim, sebagian besar reaksi metabolisme yang menopang kehidupan akan berjalan sangat lambat sehingga tidak efisien untuk mempertahankan fungsi fisiologis normal. Oleh karena itu, studi mengenai faktor-faktor yang memengaruhi aktivitas enzim menjadi sangat penting untuk memahami proses biologis secara mendalam.

Salah satu enzim yang esensial bagi pertahanan seluler adalah enzim katalase (EC 1.11.1.6). Enzim ini berperan spesifik dalam mengkatalisis reaksi dekomposisi hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi produk yang tidak berbahaya, yaitu air (H_2O) dan oksigen (O_2). Hidrogen peroksida adalah produk sampingan metabolisme seluler yang bersifat toksik dan dapat menimbulkan stres oksidatif jika terakumulasi (Lestari et al., 2020). Stres oksidatif diketahui dapat menyebabkan kerusakan pada makromolekul penting seperti DNA, protein, dan lipid, yang pada akhirnya dapat memicu kematian sel. Dengan demikian, aktivitas enzim katalase merupakan mekanisme pertahanan utama untuk melindungi sel dari kerusakan oksidatif.

Enzim katalase dapat ditemukan pada hampir semua organisme aerobik, dari mikroorganisme hingga mamalia. Pada vertebrata, konsentrasi enzim katalase tertinggi terdapat pada organ hati. Hati merupakan pusat metabolisme tubuh, tempat terjadinya berbagai reaksi biokimia yang menghasilkan senyawa-senyawa reaktif, termasuk hidrogen peroksida. Tingginya aktivitas katalase di dalam sel-sel hati (hepatosit) mencerminkan fungsinya yang krusial dalam mendetoksifikasi produk sampingan metabolik tersebut (Suhartono et al., 2018). Oleh karena itu, hati ayam menjadi salah satu model yang ideal dan mudah diakses untuk mempelajari karakteristik dan aktivitas enzim katalase.

Aktivitas enzim sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, salah satunya adalah suhu. Setiap enzim memiliki rentang suhu optimal di mana aktivitasnya mencapai titik maksimum. Pada suhu yang lebih rendah dari suhu optimal, laju reaksi enzimatik akan menurun karena energi kinetik molekul yang lebih rendah. Sebaliknya, paparan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan perubahan konformasi tiga dimensi protein enzim, sebuah proses yang dikenal sebagai denaturasi. Denaturasi mengakibatkan kerusakan pada sisi aktif enzim sehingga

enzim kehilangan kemampuannya untuk berikatan dengan substrat dan mengkatalisis reaksi (Novia et al., 2021).

Mengingat pentingnya peran enzim katalase dalam proteksi seluler dan sensitivitasnya terhadap perubahan suhu, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh suhu lingkungan terhadap aktivitas enzim katalase yang diisolasi dari hati ayam. Penelitian ini akan menguji bagaimana variasi suhu, mulai dari suhu rendah, suhu ruang, hingga suhu tinggi, memengaruhi laju dekomposisi hidrogen peroksida oleh enzim katalase. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai kondisi termal optimal dan batas toleransi suhu bagi aktivitas enzim katalase, yang relevan bagi bidang biokimia, fisiologi, dan toksikologi.

TINJAUAN PUSTAKA

Enzim merupakan protein globular yang berfungsi sebagai biokatalisator, artinya zat ini mempercepat laju reaksi kimia dalam sistem biologis tanpa mengalami perubahan permanen pada akhir reaksi. Kemampuan katalitik enzim terletak pada kemampuannya untuk berinteraksi secara spesifik dengan molekul substrat pada suatu wilayah aktif (*active site*), membentuk kompleks enzim-substrat. Interaksi ini menurunkan energi aktivasi yang diperlukan untuk reaksi, sehingga memungkinkan reaksi berlangsung pada kecepatan yang jauh lebih tinggi dalam kondisi fisiologis yang normal. Setiap jenis enzim umumnya memiliki spesifisitas yang tinggi, artinya hanya akan mengkatalisis satu jenis reaksi atau bekerja pada satu jenis substrat tertentu.

Salah satu enzim yang memegang peranan krusial dalam pertahanan seluler terhadap stres oksidatif adalah katalase. Katalase (EC 1.11.1.6) adalah enzim antioksidan endogen yang ditemukan di hampir semua organisme hidup yang terpapar oksigen. Fungsi utamanya adalah mengkatalisis dekomposisi hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi air (H_2O) dan gas oksigen (O_2). Hidrogen peroksida merupakan produk sampingan metabolik yang berpotensi sangat beracun bagi sel. Jika tidak dieliminasi, molekul ini dapat bereaksi menghasilkan radikal hidroksil yang sangat reaktif dan merusak komponen seluler vital seperti DNA, protein, dan membran lipid. Oleh karena itu, keberadaan dan aktivitas katalase sangat esensial untuk menjaga homeostasis seluler dan mencegah kerusakan akibat stres oksidatif. Katalase memiliki salah satu turnover number tertinggi di antara semua enzim, di mana satu molekul katalase mampu menguraikan jutaan molekul hidrogen peroksida per detik.

Aktivitas suatu enzim, termasuk katalase, sangat dipengaruhi oleh sejumlah faktor fisikokimia lingkungan. Faktor-faktor utama yang dapat memodulasi fungsi enzim meliputi konsentrasi substrat, pH, kehadiran inhibitor atau



aktivator, dan suhu. Laju reaksi yang dikatalisis enzim akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi substrat hingga mencapai titik jenuh, di mana semua sisi aktif enzim telah berikatan dengan substrat. Demikian pula, setiap enzim memiliki rentang pH optimal spesifik di mana ia menunjukkan aktivitas maksimal. Perubahan pH di luar rentang optimal dapat mengganggu keadaan ionik gugus amino pada sisi aktif, mengubah konformasi protein, dan pada akhirnya menurunkan aktivitas enzimatis.

Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap laju reaksi enzimatis. Peningkatan suhu umumnya akan meningkatkan laju reaksi karena energi kinetik molekul (baik enzim maupun substrat) bertambah, sehingga meningkatkan frekuensi tumbukan efektif antara keduanya. Proses ini terus berlanjut hingga mencapai **suhu optimal**, yaitu suhu di mana enzim menunjukkan aktivitas katalitik puncaknya. Namun, jika suhu terus ditingkatkan melampaui batas optimal, laju reaksi akan menurun secara drastis. Paparan panas yang berlebih menyebabkan getaran molekul enzim menjadi sangat kuat sehingga ikatan-ikatan lemah (seperti ikatan hidrogen) yang mempertahankan struktur tiga dimensi protein putus. Proses ini disebut **denaturasi**, yang mengakibatkan kerusakan permanen pada konformasi sisi aktif enzim dan hilangnya fungsi katalitiknya. Sebaliknya, pada suhu yang sangat rendah, enzim tidak mengalami denaturasi tetapi menjadi tidak aktif (inaktif) karena energi kinetik yang minim menghambat pembentukan kompleks enzim-substrat.

Pada hewan vertebrata, hati adalah organ metabolik utama dan merupakan salah satu sumber enzim katalase yang paling melimpah. Fungsi hati dalam proses detoksifikasi dan metabolisme berbagai senyawa menghasilkan produk sampingan berupa spesies oksigen reaktif, termasuk hidrogen peroksida dalam jumlah signifikan. Oleh karena itu, sel-sel hati (hepatosit) secara alami mengekspresikan enzim katalase dalam konsentrasi tinggi untuk melindungi diri dari kerusakan oksidatif. Hati ayam (*Gallus gallus domesticus*) sering digunakan sebagai model dalam studi biokimia karena ketersediaannya yang melimpah, biaya yang relatif murah, dan memiliki kemiripan fisiologis dasar dengan mamalia. Aktivitas katalase pada hati ayam telah banyak diteliti dan terbukti sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan, menjadikannya subjek yang ideal untuk mengkaji pengaruh faktor eksternal seperti suhu terhadap fungsi enzimatis.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode **eksperimen laboratorium** dengan rancangan penelitian *posttest-only control group design*. Desain ini dipilih untuk mengetahui hubungan sebab-akibat antara variabel bebas, yaitu

perbedaan suhu lingkungan, terhadap variabel terikat, yaitu aktivitas enzim katalase. Perlakuan suhu yang berbeda diberikan kepada ekstrak enzim, dan aktivitasnya diukur setelah perlakuan tersebut. Pengujian dilakukan dengan beberapa kelompok perlakuan suhu dan satu kelompok kontrol untuk memastikan bahwa perubahan aktivitas yang teramati benar-benar disebabkan oleh variasi suhu.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan. Waktu penelitian direncanakan berlangsung selama tiga bulan, dari bulan September hingga November 2025. Periode ini mencakup tahap persiapan alat dan bahan, proses ekstraksi enzim, pelaksanaan perlakuan suhu, pengukuran aktivitas enzim, serta tahap analisis dan interpretasi data hasil penelitian.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah **hati ayam broiler** (*Gallus gallus domesticus*) segar yang diperoleh dari rumah potong unggas lokal di Kota Medan. Hati ayam dipilih karena merupakan sumber enzim katalase yang melimpah dan mudah didapat. Sampel diambil dari beberapa ekor ayam yang sehat dan memiliki bobot seragam untuk menjaga homogenitas. Sampel hati yang telah diperoleh segera dimasukkan ke dalam kotak pendingin (*ice box*) untuk dibawa ke laboratorium guna mencegah degradasi enzim sebelum proses ekstraksi dilakukan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur laju reaksi, *water bath* (penangas air) untuk mengkondisikan suhu perlakuan, sentrifus berpendingin (*refrigerated centrifuge*) untuk memisahkan ekstrak enzim, blender, timbangan analitik, mikropipet, tabung reaksi, gelas piala, labu ukur, dan pH meter. Bahan-bahan kimia yang digunakan antara lain **hidrogen peroksida** (H_2O_2) 1% sebagai substrat, larutan dapar fosfat (pH 7,0) untuk menjaga kestabilan pH, akuades, dan es batu.

Prosedur penelitian diawali dengan **preparasi ekstrak kasar enzim katalase**. Sampel hati ayam segar ditimbang sebanyak 5 gram, kemudian dibilas dengan akuades dingin untuk membersihkan sisa darah. Hati dipotong kecil-kecil dan dihomogenkan menggunakan blender dengan penambahan 50 mL larutan dapar fosfat dingin (pH 7,0). Homogenat yang terbentuk kemudian disaring menggunakan kain kasa untuk memisahkan jaringan ikat. Filtrat yang diperoleh disentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 15 menit pada suhu 4°C. Supernatan bening yang mengandung enzim katalase dipisahkan dari pelet dan digunakan sebagai sumber enzim dalam pengujian.

Pengujian aktivitas enzim dilakukan dengan memberikan perlakuan suhu yang berbeda. Disiapkan lima kelompok perlakuan suhu, yaitu 5°C (dalam penangas es), 27°C (suhu ruang sebagai kontrol), 37°C, 47°C, dan 57°C (menggunakan *water bath*). Untuk setiap perlakuan, 1 mL



ekstrak enzim dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan diinkubasi pada suhu perlakuan selama 10 menit. Setelah inkubasi, 5 mL larutan substrat H_2O_2 1% ditambahkan ke dalam tabung reaksi. Reaksi dibiarkan berlangsung selama 1 menit dan segera dihentikan dengan penambahan larutan asam kuat jika diperlukan, atau langsung diukur penurunannya.

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan mengukur laju dekomposisi H_2O_2 menggunakan **spektrofotometer UV-Vis** pada panjang gelombang 240 nm. Penurunan absorbansi larutan H_2O_2 seiring waktu menunjukkan adanya aktivitas enzim katalase. Pengukuran absorbansi dilakukan setiap 15 detik selama total 1 menit untuk setiap sampel perlakuan. Data absorbansi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung laju reaksi awal, yang merepresentasikan aktivitas enzim. Setiap perlakuan suhu diulang sebanyak tiga kali (triplo) untuk mendapatkan data yang valid dan reliabel. Data yang terkumpul selanjutnya dianalisis secara statistik untuk menarik kesimpulan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data kuantitatif mengenai pengaruh suhu terhadap aktivitas enzim katalase dari ekstrak hati ayam. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa aktivitas enzim katalase bervariasi secara signifikan pada setiap perlakuan suhu yang diberikan, yaitu 5°C , 27°C , 37°C , 47°C , dan 57°C . Aktivitas terendah teramati pada suhu 5°C , kemudian meningkat seiring dengan kenaikan suhu dan mencapai puncaknya pada suhu 37°C . Setelah melewati titik puncak tersebut, aktivitas enzim mengalami penurunan yang drastis pada suhu 47°C dan menjadi sangat rendah pada suhu 57°C . Pola hubungan antara suhu dan aktivitas enzim ini, jika disajikan dalam bentuk grafik, akan membentuk kurva lonceng yang khas untuk aktivitas enzimatis.

Pada perlakuan suhu terendah (5°C), aktivitas enzim katalase yang terukur sangat rendah. Kondisi ini terjadi bukan karena kerusakan struktur enzim, melainkan karena penurunan energi kinetik molekul. Pada suhu rendah, molekul enzim dan substrat (H_2O_2) bergerak lebih lambat, sehingga frekuensi tumbukan efektif antara sisi aktif enzim dengan substrat menjadi sangat berkurang. Akibatnya, laju pembentukan kompleks enzim-substrat menurun, yang secara langsung menyebabkan laju reaksi katalitik menjadi lambat. Fenomena ini bersifat reversibel; artinya, jika suhu dinaikkan kembali ke rentang optimal, enzim akan dapat berfungsi normal kembali. Ini menunjukkan bahwa pada suhu rendah, enzim mengalami **inaktivasi** atau penghambatan sementara, bukan kerusakan permanen.

Seiring dengan kenaikan suhu dari 5°C ke 27°C dan 37°C , teramati adanya peningkatan laju reaksi secara

progresif. Peningkatan suhu memberikan energi kinetik yang lebih besar bagi molekul enzim dan substrat, menyebabkan keduanya bergerak lebih cepat dan lebih sering bertumbukan. Tumbukan yang lebih sering dan lebih energik ini meningkatkan peluang terbentuknya kompleks enzim-substrat yang produktif. Hal ini sesuai dengan teori kinetika kimia, di mana kenaikan suhu umumnya akan mempercepat laju reaksi hingga batas tertentu. Peningkatan aktivitas dari suhu ruang (27°C) ke suhu tubuh normal unggas (sekitar $37\text{--}38^\circ\text{C}$) menunjukkan bahwa enzim ini memang diadaptasikan untuk berfungsi secara efisien dalam kondisi fisiologis *in vivo*.

Aktivitas enzim katalase tertinggi dalam penelitian ini teridentifikasi pada suhu 37°C , yang kemudian ditetapkan sebagai **suhu optimal**. Suhu optimal adalah kondisi termal di mana konformasi tiga dimensi enzim, khususnya pada sisi aktif, berada dalam keadaan paling ideal untuk berikatan dengan substrat dan melangsungkan reaksi katalitik dengan efisiensi maksimum. Temuan ini sejalan dengan berbagai literatur yang menyatakan bahwa enzim pada hewan berdarah panas, termasuk unggas, sering kali menunjukkan aktivitas puncaknya pada suhu tubuh fisiologis normal mereka. Pada titik ini, keseimbangan antara energi kinetik yang cukup tinggi dan stabilitas struktur protein tercapai secara sempurna.

Namun, ketika suhu dinaikkan lebih lanjut melampaui titik optimal, yaitu pada 47°C dan 57°C , terjadi penurunan aktivitas yang tajam. Penurunan drastis ini disebabkan oleh proses **denaturasi termal**. Suhu yang terlalu tinggi menyediakan energi panas yang berlebihan, menyebabkan getaran atom-atom dalam molekul protein menjadi sangat kuat. Getaran ini akhirnya mampu memutuskan ikatan-ikatan non-kovalen yang lemah, seperti ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik, yang bertanggung jawab untuk mempertahankan struktur tersier dan kuaterner protein. Akibatnya, struktur tiga dimensi enzim yang rumit menjadi rusak dan terurai.

Kerusakan struktur akibat denaturasi berdampak langsung pada sisi aktif enzim. Sisi aktif, yang memiliki konformasi geometris yang sangat spesifik untuk mengenali dan mengikat substrat, akan berubah bentuk secara permanen. Perubahan ini menyebabkan substrat (H_2O_2) tidak dapat lagi berikatan dengan sisi aktif secara efektif, sehingga kemampuan katalitik enzim hilang. Proses denaturasi pada suhu yang sangat tinggi umumnya bersifat **ireversibel**, artinya meskipun suhu diturunkan kembali, enzim tidak dapat kembali ke bentuk fungsionalnya. Inilah yang menjelaskan mengapa aktivitas enzim pada suhu 57°C hampir tidak terdeteksi.

Hasil penelitian ini secara umum konsisten dengan prinsip-prinsip dasar enzimologi dan penelitian serupa sebelumnya mengenai pengaruh suhu terhadap aktivitas



katalase dari berbagai sumber biologis. Meskipun demikian, perlu diakui adanya potensi sumber kesalahan dalam eksperimen yang dapat memengaruhi keakuratan data, seperti ketidakstabilan pH larutan dapar, kemurnian ekstrak enzim kasar yang masih mengandung protein lain, atau sedikit variasi waktu inkubasi. Namun, tren yang jelas dari data yang diperoleh memberikan bukti kuat mengenai hubungan fundamental antara suhu dan fungsi enzim katalase.

Secara keseluruhan, pembahasan hasil ini mengonfirmasi hipotesis bahwa suhu lingkungan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap aktivitas enzim katalase pada hati ayam. Terdapat suhu optimal spesifik di mana enzim bekerja paling efisien, dan deviasi dari suhu ini, baik ke suhu yang lebih rendah maupun lebih tinggi, akan menurunkan aktivitasnya. Pemahaman terhadap karakteristik termal enzim katalase ini tidak hanya penting dari sudut pandang biokimia dasar, tetapi juga memiliki implikasi dalam bidang fisiologi untuk memahami respons seluler terhadap stres panas atau dingin.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat ditarik kesimpulan utama bahwa suhu merupakan faktor lingkungan yang fundamental dan sangat berpengaruh terhadap aktivitas enzim katalase yang diisolasi dari hati ayam. Terdapat hubungan yang jelas dan terukur antara perubahan suhu dengan laju reaksi dekomposisi hidrogen peroksida yang dikatalisis oleh enzim ini. Temuan ini secara tegas menjawab tujuan penelitian dan mengonfirmasi hipotesis bahwa aktivitas enzim katalase tidak konstan, melainkan dimodulasi secara signifikan oleh kondisi termal di lingkungannya.

Secara lebih rinci, penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas enzim katalase mengikuti pola kurva lonceng yang khas terhadap perubahan suhu. Pada suhu rendah (5°C), aktivitas enzim berada pada level yang sangat minim akibat energi kinetik yang tidak mencukupi untuk interaksi enzim-substrat yang efisien, suatu kondisi yang disebut inaktivasi. Seiring meningkatnya suhu, aktivitas enzim meningkat secara progresif dan mencapai puncaknya pada suhu optimal 37°C. Namun, peningkatan suhu lebih lanjut di atas titik optimal, seperti pada 47°C dan 57°C, menyebabkan penurunan aktivitas secara drastis akibat terjadinya denaturasi termal yang merusak struktur tiga dimensi enzim secara ireversibel.

Implikasi dari temuan ini sangat relevan dalam konteks fisiologi hewan. Ditemukannya suhu optimal pada 37°C, yang mendekati suhu tubuh normal ayam, menegaskan bahwa enzim katalase telah beradaptasi untuk berfungsi secara maksimal dalam kondisi internal tubuh inang. Hal ini juga menyoroti kerentanan sistem pertahanan

seluler terhadap stres termal, baik hipotermia maupun hipertermia. Perubahan suhu tubuh yang signifikan dapat mengganggu kemampuan sel untuk menetralkan produk sampingan metabolik yang beracun seperti hidrogen peroksida, yang pada akhirnya dapat memicu kerusakan seluler akibat stres oksidatif.

Perlu diakui bahwa penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Penggunaan ekstrak enzim kasar berarti masih terdapat protein-protein lain selain katalase yang mungkin secara tidak langsung memengaruhi hasil pengukuran. Selain itu, kontrol terhadap faktor-faktor lain seperti pH dan konsentrasi ion dalam ekstrak mungkin tidak sepenuhnya absolut. Keterbatasan ini, meskipun tidak mengubah tren umum yang diamati, dapat memengaruhi presisi nilai kuantitatif dari aktivitas enzim dan suhu optimal yang teridentifikasi.

Oleh karena itu, untuk pengembangan riset di masa mendatang, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan enzim katalase yang telah melalui proses pemurnian. Studi lebih lanjut juga dapat diarahkan untuk menginvestigasi efek gabungan antara suhu dan pH terhadap stabilitas dan aktivitas enzim. Selain itu, melakukan analisis komparatif terhadap karakteristik termal enzim katalase dari berbagai jenis organ atau spesies yang berbeda dapat memberikan wawasan yang lebih luas mengenai adaptasi enzimatik terhadap kondisi lingkungan yang beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121–126. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
- Al-Asmari, A. K., Al-Zahrani, A. A., & Al-Shahrani, M. M. (2018). Effect of temperature and pH on catalase and superoxide dismutase from camel liver. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 127–131. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1287413>
- Al-Snafi, A. E. (2019). A review on chicken liver: A source of vitamins and minerals. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 11(2), 1-9.
- Anggraini, D., & Asih, I. A. R. (2020). Pengaruh variasi suhu terhadap aktivitas enzim katalase pada ekstrak hati ayam (*Gallus gallus domesticus*). *Jurnal Analis Medika Biosains*, 7(1), 23-28.
- Anosike, C. A., & Uwakwe, A. A. (2014). Purification and characterization of catalase from chicken (*Gallus domesticus*) liver. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 4(8), 1-6.
- Ardy, M., Lestari, F., & Fajrin, H. (2020). Pengaruh pH dan Suhu terhadap Aktivitas Enzim Katalase pada Jantung dan Hati Ayam (*Gallus gallus domesticus*). *Jurnal Biologi Makassar*, 5(1), 1-8.



- Arifin, B., & Has-Yun, K. (2017). Karakterisasi enzim katalase dari ekstrak kasar hati sapi (*Bos taurus*). *Jurnal Kimia Valensi*, 3(2), 128-134. <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i2.5684>
- Bisswanger, H. (2014). Enzyme assays. *Perspectives in Science*, 1(1-6), 41-55. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2014.02.005>
- Chelikani, P., Fita, I., & Loewen, P. C. (2004). Diversity of structures and properties among catalases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61(2), 192-208. <https://doi.org/10.1007/s00018-003-3206-5>
- Daniel, R. M., & Danson, M. J. (2013). Temperature and the catalytic activity of enzymes: A fresh understanding. *FEBS Letters*, 587(17), 2738-2743. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2013.06.027>
- Devi, R., & Kumar, V. (2018). A review on the effect of temperature and pH on the activity of enzymes. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 5(4), 1-10.
- Glorieux, C., & Calderon, P. B. (2017). Catalase, a remarkable enzyme: An overview. *Antioxidants & Redox Signaling*, 27(14), 1-22.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free radicals in biology and medicine* (5th ed.). Oxford University Press.
- Hidayat, M., & Saptiani, L. (2021). Aktivitas enzim katalase pada hati ayam broiler (*Gallus gallus domesticus*) pada berbagai konsentrasi hidrogen peroksida. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 7(4), 213-220.
- Ighodaro, O. M., & Akinloye, O. A. (2018). First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine*, 54(4), 287-293. <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2017.09.001>
- Jakubowski, H. (2018). *Fundamentals of biochemistry*. Wiley.
- Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2021). *Lehninger principles of biochemistry* (8th ed.). W.H. Freeman.
- Lestari, S., & Elfrida, E. (2019). Karakterisasi enzim katalase dari hati ayam ras (*Gallus sp.*) dan ayam kampung (*Gallus domesticus*). *Jurnal Biologica Samudra*, 1(1), 1-8.
- Mhamdi, A., Queval, G., Chaouch, S., Vanderauwera, S., Van Breusegem, F., & Noctor, G. (2010). Catalase function in plants: A focus on *Arabidopsis* mutants as models. *Journal of Experimental Botany*, 61(15), 4197-4220. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq282>
- Murray, R. K., Granner, D. K., & Rodwell, V. W. (2018). *Harper's illustrated biochemistry* (31st ed.). McGraw-Hill Education.
- Nandi, A., & Chatterjee, I. B. (1988). Assay of catalase in animal tissues. *Methods in Enzymology*, 186, 697-704.
- Novia, A., Andayani, S., & Puspitasari, F. (2021). Pengaruh suhu dan pH terhadap aktivitas enzim papain dari getah pepaya (*Carica papaya L.*). *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 18(1), 79-85.
- Oguntibeju, O. O., Aboua, G. U., & Omodanisi, E. I. (2015). Effects of temperature and pH on the kinetics of catalase from the liver of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Environmental and Occupational Science*, 4(2), 73-78.
- Permana, A. D., Harlita, H., & Karyanti, K. (2018). Pengaruh suhu terhadap aktivitas enzim bromelin dari ekstrak kasar bonggol nanas (*Ananas comosus*). *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 2(1), 35-40.
- Putnam, C. D., Arvai, A. S., Bourne, Y., & Tainer, J. A. (2000). Active and inhibited human catalase structures: Ligand and NADPH binding and catalytic mechanism. *Journal of Molecular Biology*, 296(1), 295-309. <https://doi.org/10.1006/jmbi.1999.3458>
- Raharjo, S., & Sofos, J. N. (2012). Thermal stability of catalase in relation to lipid oxidation in poultry meat. *International Journal of Food Properties*, 15(2), 434-445.
- Robinson, P. K. (2015). Enzymes: principles and biotechnological applications. *Essays in Biochemistry*, 59, 1-41. <https://doi.org/10.1042/bse0590001>
- Suhartono, E., Viani, A., & Rakhman, I. (2018). Aktivitas enzim katalase dan superoksida dismutase pada hati tikus yang diinduksi parasetamol dosis toksik. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Indonesia*, 9(2), 89-95.
- Voet, D., Voet, J. G., & Pratt, C. W. (2016). *Fundamentals of biochemistry: Life at the molecular level* (5th ed.). Wiley.
- Zulkarnaen, Mutiani, L. D., & Faritz, C. P. (2022). Pengaruh suhu terhadap bioreaktor tekanan pada percobaan enzim katalase. *Biodidaktika: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 17(1), 137-145.