



Urgensi Keberadaan Buku Panduan Penelitian Biologi Molekuler Menggunakan *Drosophila melanogaster*

Diani Fatmawati¹, Maryam Saleem², Iin Hindun¹, Indah Permatasari¹, Solikhah Solikhah¹, Diana Khoiroh¹, Ahmad Fauzi^{1*}

¹ Department of Biology Education, Faculty of Teacher and Training Education, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Tlogomas No. 246 Malang, East Java, 65144, Indonesia

² Department of Bioinformatics and Biotechnology, Government College University Faisalabad, Kotwali Rd, Gurunanakpura, Faisalabad, Punjab 38000, Pakistan

*Email: ahmad_fauzi@umm.ac.id

Info Artikel

Diterima: 16 Januari 2022

Direvisi: 17 April 2022

Diterbitkan: 28 Mei 2022

Keywords:

Drosophila melanogaster,
Genetika molekuler, Inkuiri,
Keterampilan meneliti, Lalat
buah

Abstrak

Kehadiran buku panduan praktikum memiliki urgensi yang tinggi pada perkuliahan biologi molekuler. *Drosophila melanogaster* merupakan organisme model paling populer di bidang biologi namun pemanfaatannya di Indonesia masih jauh dari optimal. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kebutuhan terkait pentingnya kehadiran buku panduan penelitian biologi molekuler berbasis pemanfaatan *D. melanogaster*. Mahasiswa Biologi dari universitas di Malang dilibatkan sebagai responden penelitian. Kuesioner digunakan sebagai instrumen pengumpulan data dalam penelitian ini. Analisis data menggunakan statistika deskriptif dan menggunakan *perform assessment chart*. Hasil penelitian menginformasikan mayoritas mahasiswa memiliki kompetensi meneliti yang rendah. Analisis *perform assessment chart* menghasilkan dua *purpose statement*, yaitu dibutuhkan buku panduan yang dapat melatih mahasiswa merancang hingga melaporkan penelitian dan dibutuhkan panduan penelitian genetika molekuler. Oleh karena itu, keberadaan buku panduan penelitian molekuler yang dapat memandu mahasiswa melakukan penelitian perlu dikembangkan.

© 2022 Diani Fatmawati. This is an open-access article under the CC BY-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

PENDAHULUAN

Dalam mempelajari berbagai fenomena biologi, para saintis sering kali menggunakan organisme model, seperti *Drosophila melanogaster*. Dibandingkan dengan organisme model lainnya, *D. melanogaster* termasuk organisme model yang paling populer di berbagai cabang biologi (Jennings, 2011). Keunggulan *D. melanogaster* yang memiliki waktu generasi cepat dan biaya kultur yang rendah memposisikan serangga ini sebagai subjek penelitian di berbagai penelitian dasar (Adedeji & Vicente-Crespo, 2017; Stephenson & Metcalfe, 2013; Tolwinski, 2017). Lebih lanjut,



tersedianya berbagai *molecular tools* serta memungkinkannya memodifikasi materi dan ekspresi genetik lalat buah telah memposisikan organisme ini sebagai sistem model yang selalu digunakan meski perkembangan ilmu dan teknologi dalam biologi melaju pesat (Tolwinski, 2017).

Berbagai publikasi telah membahas pemanfaatan *D. melanogaster* dan pengembangannya dalam mempelajari berbagai fenomena biologi. Pemanfaatan tersebut dari studi morfogenesis seluler (Vogler & Bodmer, 2015) hingga studi perilaku (Chen *et al.*, 2002; Hoyer *et al.*, 2018) dan penuaan (He & Jasper, 2014; Sun *et al.*, 2013). *D. melanogaster* juga telah dikembangkan sebagai organisme model dalam memahami mekanisme molekuler penyakit genetik manusia. Penggunaan *D. melanogaster* sebagai organisme model penyakit manusia tak terlepas dari kemiripan genetik kedua spesies ini. Hampir 75% gen yang berkaitan dengan penyakit manusia memiliki homologi fungsional dengan gen-gen yang ada pada *D. melanogaster* (Pandey & Nichols, 2011). Sistem organ internal lalat buah juga banyak yang analog secara fungsional dengan vertebrata (Ugur *et al.*, 2016). Selain itu, perkembangan berbagai analisis genetik pada *D. melanogaster* telah memudahkan para peneliti mempelajari kelainan genetik manusia di serang ini (Hales *et al.*, 2015).

Sayangnya, kepopuleran *D. melanogaster* di berbagai negara kurang tergambar di dunia pendidikan maupun penelitian di Indonesia. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara yang telah dilakukan sepanjang tahun 2016 hingga 2021, pemanfaatan *D. melanogaster* masih jarang ditemukan di Indonesia. Hanya beberapa institusi yang memiliki dan masih mempertahankan kultur *D. melanogaster* di Indonesia. Beberapa institusi tersebut antara lain Universitas Gadjah Mada, Universitas Negeri Jember, Universitas Jenderal Soedirman, Universitas Al-Azhar Jakarta, serta Universitas Negeri Malang. Selain terbatasnya institusi yang memiliki kultur *D. melanogaster*, pemanfaatan keberadaan organisme ini juga masih belum optimal. Pada umumnya, *D. melanogaster* hanya digunakan di bidang pendidikan sebagai organisme model dalam mempelajari berbagai fenomena yang berkaitan dengan Genetika Mendel (Fauzi & Ramadani, 2017). Di bidang penelitian, berbagai penelitian yang melibatkan organisme ini masih belum mengkaji hingga aspek molekuler (Fauzi *et al.*, 2016; Ramadani *et al.*, 2016; Sukmawati *et al.*, 2016). Padahal, kajian biologi molekuler telah menjadi *trend* penelitian di berbagai negara di saat ini (Kumar, 2016; Mohammad, 2017; Sangam *et al.*, 2014).

Sejalan dengan perkembangan biologi di skala global yang semakin familiar dengan aspek molekuler, tidak sedikit peneliti yang turut mengkaji fenomena biologi hingga aspek molekuler. Penelitian aspek molekuler tersebut telah dilakukan di berbagai bidang, dari bidang klinis hingga pertanian di Indonesia (Akihary & Kolondam, 2020). Penelitian di bidang molekuler akan mampu meningkatkan kesejahteraan di Indonesia (Ramadhan, 2014). Namun demikian, pemahaman aspek molekuler mahasiswa Indonesia masih belum optimal (Rusmana *et al.*, 2021). Oleh karena itu, pendidikan molekuler di Indonesia diharapkan dapat ditingkatkan (Nellen *et al.*, 2017; Rusmana *et al.*, 2021).

Permasalahannya, perkuliahan biologi molekuler di Indonesia memiliki hambatan dan tantangan yang perlu segera dicari alternatif pemecahannya. Biologi molekuler yang menjadi konsep dasar beberapa mata kuliah biologi seringkali menjadi penyebab kesulitan belajar mahasiswa. Alasannya, konsep-konsep biologi molekuler bersifat abstrak sehingga dalam menguasainya tidak cukup dilakukan melalui perkuliahan teori. Kehadiran aktivitas praktikum berbasis penelitian dilaporkan dan direkomendasikan berbagai penulis terdahulu sebagai alternatif terbaik dalam membelajarkan konsep-konsep abstrak. Sayangnya, panduan dan sumber belajar lain yang mengarahkan mahasiswa melakukan penelitian berbasis molekuler masih sulit untuk ditemukan di Indonesia. Oleh karena itu, keberadaan buku yang mampu memandu mahasiswa melakukan penelitian berbasis molekuler memiliki urgensi yang tinggi.

Mengingat prinsip berbagai penelitian di bidang biologi yang menggunakan organisme model, maka buku panduan yang dihadirkan sebaiknya juga melibatkan organisme model. *D. melanogaster* yang telah dianggap sebagai organisme model paling populer di bidang biologi memiliki peluang tinggi untuk diangkat di buku panduan tersebut. Melalui upaya ini, mahasiswa akan mulai mengenal dan membiasakan diri menangani dan meneliti *D. melanogaster* mengingat

kepopuleran organisme ini masih sangat rendah di Indonesia. Mengingat mudahnya penanganan *D. melanogaster* serta tingginya manfaat organisme model ini dalam penelitian, maka penyusunan buku panduan yang memanfaatkan *D. melanogaster* dianggap penting untuk diinisiasi.

Bagaimanapun, pengembangan buku panduan maupun bahan ajar lain yang berbasis *D. melanogaster* masih sulit ditemukan di Indonesia, khususnya yang mengarahkan mahasiswa melakukan kegiatan inkuiri. Menanggapi masih kurang optimalnya pembelajaran berbasis biologi molekuler di Indonesia, telah muncul sedikit penelitian pengembangan yang telah dilakukan oleh para peneliti. Terdapat penelitian yang mengembangkan modul biologi molekuler (Nugroho *et al.*, 2017). Selain itu, ada pula penelitian pengembangan nonbahan ajar, seperti lembar kerja mahasiswa (Bare *et al.*, 2021) dan media pembelajaran (Lestari, 2021) untuk memfasilitasi perkuliahan biologi molekuler. Selain masih sedikitnya pengembangan sumber dan media pembelajaran biologi molekuler, pemanfaatan *D. melanogaster* untuk mempelajari aspek molekuler juga belum dilakukan di Indonesia. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis kebutuhan terkait pentingnya keberadaan buku panduan berbasis biologi molekuler dengan mengangkat *D. melanogaster* sebagai organisme modelnya.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif eksploratif untuk mendapatkan informasi terkait urgensi dikembangkannya buku panduan penelitian biologi molekuler bagi mahasiswa biologi. Subjek penelitian ini adalah seluruh mahasiswa Biologi semester V di salah satu universitas di Malang. Melalui teknik pengambilan sampel dengan *total sampling*, tiga kelas program studi Pendidikan Biologi dan dua kelas Prodi Biologi dilibatkan sebagai sampel. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini berupa data kompetensi meneliti mahasiswa. Kuesioner digunakan sebagai instrumen pengumpulan data. Kompetensi meneliti yang diukur terdiri dari beberapa indikator, yaitu: 1) penyusunan ide penelitian, 2) penyusunan prosedur penelitian, 3) pelaksanaan penelitian, dan 4) pengaitan temuan penelitian dengan konsep biologi.

Setelah data kompetensi meneliti mahasiswa terkumpul, analisis statistika deskriptif pada data hasil pengisian kuesioner dilakukan. Setelah itu, analisis dilanjutkan untuk memetakan *actual performance*, *desired performance*, dan *primary cause*. Analisis tersebut menggunakan tabel bantu *performance assessment chart* yang dikembangkan oleh Branch (2009). Hasil akhir dari analisis adalah memunculkan *purpose statement* sebagai rekomendasi yang dihasilkan dari studi ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian berbasis Genetika Molekular harus diperkenalkan kepada mahasiswa Biologi, terlebih pada era saat ini. Alasannya, *trend* penelitian di dunia biologi saat ini adalah penelitian-penelitian berbasis molekular (Carvalho *et al.*, 2019; Sangam *et al.*, 2014; Vecchio, 2015). Meski sebagian mahasiswa Pendidikan Biologi merupakan mahasiswa calon guru, namun pengetahuan dan pengalaman terkait penelitian molekular perlu dimiliki sebelum mereka terjun sebagai pendidik di era penelitian molekular saat ini.

Berkaitan dengan pentingnya pengalaman meneliti pada aspek molekuler, kondisi yang diinginkan adalah “mahasiswa mampu menguasai ilmu pengetahuan biologi dari yang telah didapatkan pada perkuliahan teori dan memperdalam sekaligus menerapkan ilmu-ilmu tersebut pada penelitian dengan mengikuti kaidah metode ilmiah”. Namun, kondisi yang terjadi saat pembelajaran adalah sebagian mahasiswa kurang mampu mencapai kompetensi tersebut. Tabel 1 berikut memaparkan hasil penelitian serta hasil analisis data penelitian ini secara lengkap dan lebih terperinci.

Tabel 1Hasil analisis menggunakan *Performance Assessment Chart*

<i>Actual Performance</i>	<i>Desired Performance</i>	<i>Primary Cause</i>
1. Mahasiswa kurang mampu menentukan ide penelitian yang baik	Merancang ide penelitian proyek secara kreatif melalui kegiatan mengumpulkan dan membaca berbagai publikasi ilmiah yang terkait dengan topik proyeknya.	Mahasiswa kurang tertarik mencari dan membaca publikasi-publikasi penelitian.
2. Mahasiswa kurang mampu menyusun prosedur penelitian ke dalam kegiatan penelitian yang akan dilakukan	Mendesain rancangan penelitian proyek dengan cara mengadaptasi prosedur penelitian dari publikasi ilmiah yang telah dibaca	Mahasiswa kurang mampu memahami isi dari publikasi ilmiah yang mereka baca dan belum terbiasa melakukan penelitian.
3. Mahasiswa kurang mampu menyelesaikan kegiatan praktikum proyek selama satu semester.	Menerapkan prosedur penelitian proyek yang telah disusun mahasiswa sendiri dengan disiplin dan sesuai dengan rancangan jadwal di awal semester.	Mahasiswa kurang sabar dan kurang teliti dalam melakukan kegiatan proyek
4. Mahasiswa tidak dapat memahami konsep yang dipelajari dari penelitian proyek dan menuangkan temuan yang mereka dapatkan pada laporan penelitiannya.	Memahami dan menelaah temuan yang didapatkan dari kegiatan penelitian proyek yang telah dilakukan	Mahasiswa kurang dapat mengaitkan temuan yang mereka dapat dengan konsep biologi yang telah mereka pelajari.
<i>Purpose statement I</i>	Tujuan dari pengembangan produk adalah untuk menyediakan buku panduan penelitian yang dapat membantu mahasiswa Prodi Pendidikan Biologi dalam merencanakan, melakukan, dan melaporkan kegiatan penelitian.	
1. Mahasiswa belum pernah menyusun rancangan atau prosedur penelitian berbasis kegiatan molekular	Menyusun prosedur penelitian berbasis kegiatan molekular berdasarkan contoh penelitian dan publikasi ilmiah yang telah dibaca	Belum ada sumber belajar yang mendiskusikan kegiatan di dalam penelitian berbasis molekular
2. Mahasiswa belum pernah melakukan kegiatan molekular	Menerapkan prosedur penelitian berbasis kegiatan molekular yang telah disusun oleh mahasiswa sendiri	Belum ada kegiatan praktikum berbasis kegiatan molekular
3. Mahasiswa belum pernah menganalisis hasil penelitian berbasis kegiatan molekular	Menganalisis data yang diperoleh dari kegiatan penelitian berbasis molekular yang telah dilakukan	1. Belum ada kegiatan menganalisis dan mengkaji penelitian berbasis molekular 2. Belum diselenggarakan penelitian berbasis Genetika molekular
<i>Purpose statement</i>	Tujuan dari pengembangan produk adalah untuk menyediakan buku panduan penelitian yang dapat membantu mahasiswa Prodi Pendidikan Biologi dalam merencanakan, melakukan, dan melaporkan kegiatan penelitian klasikal berbasis Genetika Molekular.	

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa *purpose statement* yang dihasilkan berupa rekomendasi keberadaan buku panduan penelitian. Sesuai dengan hasil analisis yang diperoleh, buku panduan yang dikembangkan diharapkan tidak berupa buku praktikum konvensional. Buku panduan tersebut sebaiknya dirancang sebagai pegangan yang dapat digunakan dalam perkuliahan berbasis inkuiri. Spesifikasi buku tersebut tidak bersifat *recipe book* atau *cookbook* karena tidak memuat prosedur-prosedur penelitian seperti buku petunjuk praktikum yang dapat ditemukan di perkuliahan-perkuliahan. Isi materi yang didiskusikan pada buku yang dikembangkan berkaitan dengan bagaimana cara menyusun penelitian yang baik, dari tahapan awal hingga tahapan paling akhir. Berbagai contoh kasus juga ditampilkan dari beberapa tahap penelitian yang dijelaskan di dalam buku ini. Selain itu, pada bagian akhir buku ini, terdapat beberapa lampiran yang berisi informasi dan

contoh penelitian biologi molekuler yang dapat digunakan sebagai literatur dan panduan dalam melakukan berbagai penelitian.

Sejalan dengan rekomendasi tersebut, perkuliahan berbasis inkuiri seringkali diharapkan dapat diimplementasikan di pembelajaran sains (Bogar, 2019), termasuk biologi (Frisch *et al.*, 2018; Luckie *et al.*, 2004). Model inkuiri juga direkomendasikan diimplementasikan di perkuliahan yang melibatkan aktivitas di laboratorium (Beck *et al.*, 2014). Melalui perkuliahan berbasis inkuiri, mahasiswa dapat mempelajari sains dengan optimal dan memperoleh berbagai kompetensi yang dibutuhkan. Pengaruh positif pembelajaran inkuiri tidak hanya berdampak pada hasil belajar (Aditomo & Klieme, 2020; Koksall & Berberoglu, 2014b; Kusuma *et al.*, 2019), namun juga pada keterampilan berpikir kritis (Duran & Dökme, 2016) dan kreatif mereka (Sandika & Fitrihidajati, 2018). Penerapan pembelajaran inkuiri juga dapat meningkatkan kemampuan mahasiswa untuk menyelesaikan masalah di kondisi yang kompleks (Suárez *et al.*, 2018).

Berkaitan dengan rendahnya keterampilan penelitian para mahasiswa yang terungkap di penelitian ini, pembelajaran inkuiri juga dapat menjadi alternatif untuk memecahkan permasalahan tersebut. Keterampilan proses sains yang berkaitan erat dengan kemampuan meneliti seseorang dilaporkan dapat meningkat melalui pembelajaran inkuiri (Aktamiş *et al.*, 2016; Koksall & Berberoglu, 2014a). Lebih lanjut, sikap terhadap sains juga meningkat (Aktamiş *et al.*, 2016; Koksall & Berberoglu, 2014a). Dengan sikap yang baik, mahasiswa akan lebih termotivasi mempelajari sains, baik konsep maupun keterampilan yang menyertainya.

Pembelajaran inkuiri juga perlu diterapkan di pembelajaran biologi molekuler. Penerapan pembelajaran inkuiri dapat memfamiliarikan mahasiswa terhadap teknik biologi molekuler modern (Murthy *et al.*, 2014). Pembelajaran ini juga dapat mengarahkan mahasiswa ke penelitian ilmiah di bidang biologi molekuler secara langsung (Wang, 2017). Sejalan dengan itu semua, mahasiswa yang telah mengikuti praktikum berbasis inkuiri merasa lebih senang belajar biologi molekuler melalui inkuiri daripada praktikum konvensional (Hsu & Rowland-Goldsmith, 2021).

Berkaitan dengan mempelajari biologi molekuler, penggunaan organisme model sangat direkomendasikan. Hingga saat ini, *D. melanogaster* telah menjadi salah satu organisme model alternatif untuk mempelajari aspek molekuler (Jeibmann & Paulus, 2009; Song, 2005). *D. melanogaster* telah menjadi sistem yang dipilih peneliti dalam studi genomik fungsional (Mohr *et al.*, 2014). Selain di level genom, berbagai penelitian juga telah melakukan analisis di level transkriptom. Analisis tersebut meliputi analisis pada larva (Christesen *et al.*, 2017), testis (Vedelek *et al.*, 2018), hingga otak *Drosophila* (Pacifico *et al.*, 2018). Dengan membiasakan diri menggunakan *D. melanogaster*, mahasiswa akan familiar dengan pemanfaatan *D. melanogaster* dalam penelitian. Kondisi ini juga akan memfasilitasi mahasiswa untuk mudah menjadi peneliti di bidang biologi molekuler saat lulus kelak.

Pemilihan *D. melanogaster* sebagai organisme model yang diangkat di dalam buku panduan penelitian mahasiswa juga sejalan dengan potensi serangga ini sebagai sumber pembelajaran biologi. Bahkan, penggunaan *D. melanogaster* dianggap sebagai alat yang ampuh dalam mengajarkan sains (Pasini *et al.*, 2010). Penggunaan serangga ini juga dilaporkan mampu memfasilitasi mahasiswa dalam mempelajari berbagai konsep kompleks yang ada di Biologi (Banerjee *et al.*, 2020; Heil *et al.*, 2013; Rothhaas *et al.*, 2020) serta meningkatkan ketertarikan mereka untuk mendalami biologi (Heil *et al.*, 2013). Selain di bidang pembelajaran, pemanfaatan *D. melanogaster* dalam modul ini juga memiliki potensi di bidang penelitian. Melalui kehadiran buku ini, mahasiswa akan mengetahui keberadaan dan cara pemanfaatan *D. melanogaster* di bidang penelitian. Hal ini penting karena akan membuka peluang mereka menggunakan organisme ini ketika mereka kelak melakukan penelitian. Dengan semakin banyaknya mahasiswa yang familiar dengan *D. melanogaster* maka penggunaan organisme ini di penelitian-penelitian di Indonesia berpotensi akan meningkat.

Di Indonesia, pemanfaatan *D. melanogaster* masih belum terlalu gencar bila dibandingkan dengan berbagai negara lainnya. Banyak peneliti di bidang biologi yang belum pernah memanfaatkan keberadaan organisme model ini. Sebagian besar dari mereka bahkan belum pernah secara langsung melihat kultur dari *D. melanogaster*. Pemanfaatan *D. melanogaster* dalam kegiatan pendidikan juga

masih terbatas pada institusi-institusi tertentu serta hanya pada kajian konsep-konsep yang masih terlalu sempit. Oleh karena itu, keberadaan buku panduan penelitian biologi molekuler dengan memanfaatkan *D. melanogaster* sebagai organisme model direkomendasikan untuk dikembangkan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa biologi masih memiliki kompetensi meneliti yang rendah. Rendahnya kompetensi tersebut didukung oleh rendahnya motivasi mahasiswa untuk melakukan penelitian serta minimnya sumber belajar yang mendukung kegiatan penelitian. Hasil analisis menyimpulkan bahwa keberadaan buku panduan penelitian berbasis biologi molekuler yang memanfaatkan *D. melanogaster* perlu disusun untuk mengatasi berbagai permasalahan tersebut. Alasannya, keberadaan buku panduan penelitian akan mengarahkan mahasiswa untuk mengembangkan kompetensi penelitiannya. Mereka akan diarahkan melakukan kegiatan praktikum yang sejalan dengan prinsip inkuiri. Melalui perkuliahan semacam itu, pemahaman dan keterampilan mahasiswa pada konsep molekuler akan terberdayakan dengan optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Malang karena telah mendanai kegiatan penelitian internal yang dilakukan oleh tim penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adedeji, A. A., & Vicente-Crespo, M. (2017). Rejuvenating research and training in biomedical sciences in Nigeria: *Drosophila melanogaster* as a versatile alternative model. *Archives of Basic & Applied Medicine*, 5, 1–10. <http://archivesbamui.com/ojs/index.php/abam/article/download/3/1>
- Aditomo, A., & Klieme, E. (2020). Forms of inquiry-based science instruction and their relations with learning outcomes: evidence from high and low-performing education systems. *International Journal of Science Education*, 42(4), 504–525. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1716093>
- Akihary, C. V., & Kolondam, B. J. (2020). Pemanfaatan gen 16s rRNA sebagai perangkat identifikasi bakteri untuk penelitian-penelitian di Indonesia. *Pharmacon*, 9(1), 16–22. <https://doi.org/10.35799/pha.9.2020.27405>
- Aktamiş, H., Hiğde, E., & Özden, B. (2016). Effects of the inquiry-based learning method on students' achievement, science process skills and attitudes towards science: A meta-analysis science. *Journal of Turkish Science Education*, 13(4), 248–261. <https://doi.org/10.12973/tused.10183a>
- Banerjee, S., Benji, S., Liberow, S., & Steinhauer, J. (2020). Using *Drosophila melanogaster* to discover human disease genes: An educational primer for use with “amyotrophic lateral sclerosis modifiers in *drosophila* reveal the phospholipase d pathway as a potential therapeutic target.” *Genetics*, 216(3), 633–641. <https://doi.org/10.1534/genetics.120.303495>
- Bare, Y., Ratih, D., & Sari, T. (2021). Pengembangan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) berbasis inkuiri pada materi interaksi molekuler. *BieEDUIN: Jurnal Program Studi Pendidikan Biologi*, 11(1), 19–26. <https://doi.org/10.15575/bioeduin.v11i1.12077>
- Beck, C., Butler, A., & Burke da Silva, K. (2014). Promoting inquiry-based teaching in laboratory courses: Are we meeting the grade? *CBE—Life Sciences Education*, 13(3), 444–452. <https://doi.org/10.1187/cbe.13-12-0245>
- Bogar, Y. (2019). Literature review on inquiry-based learning in science education. *International Journal of Science and Education*, 1(2), 91–118. <https://academic.microsoft.com/paper/2946125952>
- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9780387095059>

- Carvalho, Y. G. S., Vitorino, L. C., de Souza, U. J. B., & Bessa, L. A. (2019). Recent trends in research on the genetic diversity of plants: Implications for conservation. *Diversity*, *11*(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/d11040062>
- Chen, S., Lee, A. Y., Bowens, N. M., Huber, R., & Kravitz, E. A. (2002). Fighting fruit flies: A model system for the study of aggression. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(8), 5664–5668. <https://doi.org/10.1073/pnas.082102599>
- Christesen, D., Yang, Y. T., Somers, J., Robin, C., Sztal, T., Batterham, P., & Perry, T. (2017). Transcriptome analysis of *Drosophila melanogaster* third instar larval ring glands points to novel functions and uncovers a cytochrome p450 required for development. *G3 & Genes/Genomes/Genetics*, *7*(2), 467–479. <https://doi.org/10.1534/g3.116.037333>
- Duran, M., & Dökme, İ. (2016). The effect of the inquiry-based learning approach on student's critical thinking skills. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *12*(12), 2887–2908. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.02311a>
- Fauzi, A., Corebima, A. D., & Zubaidah, S. (2016). The fluctuation of adult filial number and eclosion time of *Drosophila melanogaster* that exposed by mobile phone in multiple generations. *Proceeding of The 6th Annual Basic Science International Conference*, 124–128.
- Fauzi, A., & Ramadani, S. D. (2017). Learning the genetics concepts through project activities using *Drosophila melanogaster*: A qualitative descriptive study. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, *3*(3), 238–247. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v3i3.4540>
- Frisch, J. K., Jackson, P. C., & Murray, M. C. (2018). Transforming undergraduate biology learning with inquiry-based instruction. *Journal of Computing in Higher Education*, *30*(2), 211–236. <https://doi.org/10.1007/s12528-017-9155-z>
- Hales, K. G., Korey, C. A., Larracuenta, A. M., & Roberts, D. M. (2015). Genetics on the fly: A primer on the *Drosophila* model system. *Genetics*, *201*(3), 815–842. <https://doi.org/10.1534/genetics.115.183392>
- He, Y., & Jasper, H. (2014). Studying aging in *Drosophila*. *Methods*, *68*(1), 129–133. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2014.04.008>
- Heil, C. S. S., Manzano-Winkler, B., Hunter, M. J., Noor, J. K. F., & Noor, M. A. F. (2013). Witnessing evolution first hand: A K–12 laboratory exercise in genetics & evolution using *Drosophila*. *The American Biology Teacher*, *75*(2), 116–119. <https://doi.org/10.1525/abt.2013.75.2.8>
- Hoyer, N., Petersen, M., Tenedini, F., & Soba, P. (2018). Assaying mechanonociceptive behavior in *Drosophila* larvae. *Bio-Protocol*, *8*(4), 1–13. <https://doi.org/10.21769/bioprotoc.2736>
- Hsu, J. L., & Rowland-Goldsmith, M. (2021). Student perceptions of an inquiry-based molecular biology lecture and lab following a mid-semester transition to online teaching. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *49*(1), 15–25. <https://doi.org/10.1002/bmb.21478>
- Jeibmann, A., & Paulus, W. (2009). *Drosophila melanogaster* as a model organism of brain diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, *10*(2), 407–440. <https://doi.org/10.3390/ijms10020407>
- Jennings, B. H. (2011). *Drosophila*-a versatile model in biology & medicine. *Materials Today*, *14*(5), 190–195. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(11\)70113-4](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(11)70113-4)
- Koksal, E. A., & Berberoglu, G. (2014a). The effect of guided-inquiry instruction on 6th grade Turkish students' achievement, science process skills, and attitudes toward science. *International Journal of Science Education*, *36*(1), 66–78. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.721942>
- Koksal, E. A., & Berberoglu, G. (2014b). The effect of guided-inquiry instruction on 6th grade Turkish students' achievement, science process skills, and attitudes toward science. *International Journal of Science Education*, *36*(1), 66–78. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.721942>
- Kumar, R. S. (2016). Research trends in medical physics: A global perspective. *Library Philosophy & Practice*. <http://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/1362>

- Kusuma, R. T., Siahaan, S. M., & Andriani, N. (2019). Guided inquiry model effect on students learning outcomes in static fluid. *Journal of Physics: Conference Series*, 1166, 012011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1166/1/012011>
- Lestari, F. (2021). Pengembangan media interaktif Mata Kuliah Teknik Analisis Biologi Molekuler (TABM). *Jurnal Eksakta Pendidikan (JEP)*, 5(2), 190–196. <https://doi.org/10.24036/jep/vol5-iss2/609>
- Luckie, D. B., Maleszewski, J. J., Loznak, S. D., & Krha, M. (2004). Infusion of collaborative inquiry throughout a biology curriculum increases student learning: a four-year study of “Teams and Streams.” *Advances in Physiology Education*, 28(4), 199–209. <https://doi.org/10.1152/advan.00025.2004>
- Mohammad, O. (2017). Recent trends in biochemistry and biotechnology. *J Biochem Biotech*, 1(1), 6–7. <https://doi.org/10.35841/Biochemistry-Biotechnology.1000104>
- Mohr, S. E., Hu, Y., Kim, K., Housden, B. E., & Perrimon, N. (2014). Resources for functional genomics studies in drosophila melanogaster. *Genetics*, 197(1), 1–18. <https://doi.org/10.1534/genetics.113.154344>
- Murthy, P. P. N., Thompson, M., & Hungwe, K. (2014). Development of a semester-long, inquiry-based laboratory course in upper-level biochemistry and molecular biology. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1909–1917. <https://doi.org/10.1021/ed400119u>
- Nellen, W., Rahasta, A. H., Hermanto, F. E., & Lorenza, M. R. W. G. (2017). Molecular biology education in Indonesia - suggestions for improvement. *Berkala Penelitian Hayati*, 22(2), 50–55. <https://doi.org/10.23869/bphjbr.22.2.20173>
- Nugroho, A. A., Hanik, N. R., & Harsono, S. (2017). Pengembangan modul Biologi Molekuler berbasis Learning Cycle 7E untuk mahasiswa Pendidikan Biologi. *Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.25273/jems.v5i1.1780>
- Pacifico, R., MacMullen, C. M., Walkinshaw, E., Zhang, X., & Davis, R. L. (2018). Brain transcriptome changes in the aging *Drosophila melanogaster* accompany olfactory memory performance deficits. *PLOS ONE*, 13(12), e0209405. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209405>
- Pandey, U. B., & Nichols, C. D. (2011). Human disease models in *Drosophila melanogaster* and the role of the fly in therapeutic drug discovery. *Pharmacological Reviews*, 63(2), 411–436. <https://doi.org/10.1124/pr.110.003293>
- Pasini, M. E., Bertolotto, F., & Fasano, P. (2010). The role of models in science: an experience with *Drosophila*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 1164–1168. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.166>
- Ramadani, S. D., Corebima, A. D., & Zubaidah, S. (2016). The effect of dark condition on the fecundity and development time of *Drosophila melanogaster*, strains of wild type, white, and ebony for several generations. *Quest Journals Journal of Research in Agriculture and Animal Science*, 4(2), 1–10. <https://pdfs.semanticscholar.org/0277/9e4a09703941ed7747c9e86d4531d596291e.pdf>
- Ramdhan, D. H. (2014). Penelitian genom dan implikasinya dalam kesehatan masyarakat di Indonesia. *Kesmas: National Public Health Journal*, 9(1), 1–5. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v9i1.448>
- Rothhaas, S., Wright, M. C., & Swanson, C. (2020). Using *Drosophila* motor mutants to teach neurodevelopment in an undergraduate neurobiology lab. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 18(2), A93–A101. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32848517>
- Rusmana, A. N., Rachmatullah, A., Nuraeni, E., & Ha, M. (2021). The genetics conceptual understanding of Indonesian and United States undergraduate biology students. *Asia-Pacific Science Education*, 7(1), 197–225. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10024>
- Sandika, B., & Fitrihidajati, H. (2018). Improving creative thinking skills and scientific attitude through inquiry-based learning in basic biology lecture toward students of biology education. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 4(1), 23–28.

<https://doi.org/10.22219/jpbi.v4i1.5326>

- Sangam, S. L., Arali, U. B., Patil, C. G., & Gani, S. R. (2014). Research trends in genetics: Scientometric profile of selected Asian countries. *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, 34(3), 248–256. <https://doi.org/10.14429/djlit.34.5802>
- Song, Y.-H. (2005). A review of soil erodibility in water and wind erosion research. *Journal of Geographical Sciences*, 15(2), 167–179. <https://doi.org/10.1360/gso50205>
- Stephenson, R., & Metcalfe, N. (2013). *Drosophila melanogaster*: A fly through its history and current use. *The Journal of the Royal College of Physicians of Edinburgh*, 43(1), 70–75. <https://doi.org/10.4997/JRCPE.2013.116>
- Suárez, Á., Specht, M., Prinsen, F., Kalz, M., & Ternier, S. (2018). A review of the types of mobile activities in mobile inquiry-based learning. *Computers & Education*, 118, 38–55. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.11.004>
- Sukmawati, I., Corebima, A. D., & Zubaidah, S. (2016). Fecundity and the development time of *D. melanogaster* of wild-type, white, and ebony strains for several generations in high temperature environment. *Quest Journals Journal of Research in Agriculture and Animal Science*, 4(2), 2321–9459. https://www.researchgate.net/profile/Siti_Zubaidah5/publication/322314613_PENGARUH_S_UHU_LINGKUNGAN_DAN_MACAM_STRAIN_TERHADAP_JUMLAH_KETURUNAN_Drosophila_melanogaster/links/5a53716da6fdccf3e2df2c33/PENGARUH-SUHU-LINGKUNGAN-DAN-MACAM-STRAIN-TERHADAP-JUMLAH-
- Sun, Y., Yolitz, J., Wang, C., Spangler, E., Zhan, M., & Zou, S. (2013). Aging studies in *Drosophila melanogaster*. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 1048, 77–93. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-556-9_7
- Tolwinski, N. (2017). Introduction: *Drosophila*—A model system for developmental biology. *Journal of Developmental Biology*, 5(3), 9. <https://doi.org/10.3390/jdb5030009>
- Ugur, B., Chen, K., & Bellen, H. J. (2016). *Drosophila* tools and assays for the study of human diseases. *Disease Models & Mechanisms*, 9(3), 235–244. <https://doi.org/10.1242/dmm.023762>
- Vecchio, G. (2015). A fruit fly in the nanoworld: Once again *Drosophila* contributes to environment and human health. *Nanotoxicology*, 9(2), 135–137. <https://doi.org/10.3109/17435390.2014.911985>
- Vedelek, V., Bodai, L., Grézal, G., Kovács, B., Boros, I. M., Laurinyecz, B., & Sinka, R. (2018). Analysis of *Drosophila melanogaster* testis transcriptome. *BMC Genomics*, 19(1), 697. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5085-z>
- Vogler, G., & Bodmer, R. (2015). Cellular mechanisms of *drosophila* heart morphogenesis. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 2(1), 2–16. <https://doi.org/10.3390/jcdd2010002>
- Wang, J. T. H. (2017). Course-based undergraduate research experiences in molecular biosciences—patterns, trends, and faculty support. *FEMS Microbiology Letters*, 364(15). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx157>