

PEMANFAATAN *DROSOPHILA MELANOGASTER* SEBAGAI ORGANISME MODEL UNTUK MEMPELAJARI PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN TERHADAP EKSPRESI SIFAT MAKHLUK HIDUP PADA PERKULIAHAN GENETIKA

Shefa Dwijayanti Ramadani, Aloysius Duran Corebima, Siti Zubaidah
Pendidikan Biologi Pascasarjana-Universitas Negeri Malang
Jalan Semarang 5 Malang. E-mail: shefadwijayanti@gmail.com

Abstract: The interaction between genetic and environmental factors in determining the characters of living organism is one of the main concepts in biology nowadays, and it becomes one of the main topic that students learn in genetics lecture. However, the observation result showed that regulation of gene expression in eukaryotes was considered to be a quite difficult topic for the students. The utilization of *Drosophila melanogaster* through practical activities can be used as an instructional media to help students understand the effect of environmental factors on the characters of living organism. This research aims to prove that through the crossbreeding of *D. melanogaster* for several generations, the effect of environmental factors on the characters of living organism can be observed. In this research, three strains of *D. melanogaster* were used to reveal the effect of dark environment on fecundity, which is one of the determinant factors of fitness in insects. The results showed that *D. melanogaster* treated in dark condition had lower fecundity than that in the control condition. The results of the comparison among the strains also showed that the strains of wild-type had higher fecundity than the white eyed color and ebony strains. The interaction between light conditions and generation and the interaction between light, strains, and generation also had an effect on the fecundity.

Keywords: Dark condition, *Drosophila melanogaster*, fecundity, instructional media

Abstrak: Interaksi antara faktor genetik dan lingkungan dalam menentukan ekspresi sifat makhluk hidup merupakan salah satu konsep utama dalam ilmu Biologi saat ini, serta menjadi salah satu pokok bahasan yang dipelajari mahasiswa pada perkuliahan Genetika. Namun demikian, fakta di lapangan menunjukkan bahwa regulasi ekspresi gen pada eukariot merupakan pokok bahasan yang dirasa cukup sulit oleh mahasiswa. Pemanfaatan *Drosophila melanogaster* melalui kegiatan praktikum dapat dijadikan sebagai media untuk membantu mahasiswa memahami pengaruh faktor lingkungan dalam memengaruhi ekspresi sifat makhluk hidup. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa melalui persilangan *D. melanogaster* selama beberapa generasi, pengaruh lingkungan terhadap ekspresi sifat makhluk hidup dapat teramati. Pada penelitian ini, sebanyak tiga macam strain *D. melanogaster* digunakan untuk mengungkap pengaruh kondisi lingkungan gelap terhadap fekunditas yang merupakan salah satu sifat penentu *fitness* pada serangga. Hasil analisis menunjukkan bahwa *D. melanogaster* yang ditempatkan pada kondisi gelap memiliki fekunditas yang lebih rendah dibandingkan kondisi kontrol. Hasil perbandingan antar strain juga menunjukkan bahwa strain normal memiliki fekunditas yang lebih tinggi dibandingkan strain *white* dan *ebony*. Interaksi antara kondisi cahaya dan generasi; serta interaksi antara kondisi cahaya, strain, dan generasi juga berpengaruh terhadap fekunditas.

Kata kunci: *Drosophila melanogaster*, fekunditas, kondisi gelap, media pembelajaran

Keadaan genetik merupakan faktor yang tidak diragukan lagi berperan dalam menentukan ekspresi sifat makhluk hidup. Interaksi gen yang terjadi melalui pengendalian terhadap reaksi-reaksi biokimia yang menyusun suatu lintasan metabolisme adalah gambaran bagaimana faktor genetik menentukan ekspresi sifat makhluk hidup. Namun demikian, ekspresi sifat makhluk hidup tidak hanya ditentukan oleh faktor genetik berupa gen. Gottlieb (1998:2000) menjelaskan bahwa ekspresi sifat makhluk hidup juga sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan internal, misalnya sinyal yang berasal dari sitoplasma sel itu sendiri dan

hormon; maupun lingkungan eksternal, yakni sinyal yang berasal dari lingkungan di luar tubuh makhluk hidup. Dengan kata lain, suatu gen dapat diekspresikan secara tepat sebagai respon terhadap sinyal lingkungan yang diterima.

Kajian mengenai interaksi antara faktor genetik dan lingkungan dalam menentukan ekspresi sifat makhluk hidup bahkan telah disebut sebagai “*hot topic of research*” (Dick, 2011) serta menjadi salah satu kajian utama dalam ilmu Biologi saat ini (NSTA, 2009). Salah satu kompetensi yang harus dicapai oleh mahasiswa Biologi juga tidak terlepas dari penguasaan konsep atas tema kajian tersebut. Mengacu pada Silabus dan Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) pada perkuliahan Genetika di Universitas Negeri Malang, kompetensi dasar yang harus dicapai oleh mahasiswa setelah menempuh perkuliahan Genetika antara lain, yaitu (1) mahasiswa mampu memahami peristiwa regulasi ekspresi gen pada makhluk hidup eukariot, dan (2) mahasiswa mampu memahami beberapa teori genetis melalui aplikasi praktik penelitian proyek.

Pokok bahasan mengenai regulasi ekspresi gen pada eukariot merupakan materi yang cukup kompleks. Apabila diperbandingkan dengan regulasi ekspresi gen yang terjadi pada prokariot, regulasi ekspresi gen pada eukariot jauh lebih beragam baik bentuk maupun mekanismenya. Regulasi tersebut tidak hanya terjadi selama tahap transkripsi tetapi juga selama tahap pascatranskripsi dan tahap translasi. Proses tersebut di antaranya melibatkan peranan dari protein regulator, keterlibatan sekuen DNA tertentu (promoter dan enhancer), RNA *splicing*, modifikasi dan stabilitas mRNA di dalam sitoplasma, aktivitas RNA *interfering* (siRNA dan miRNA), modifikasi dan organisasi kromatin, serta stabilitas dari protein yang dihasilkan. Regulasi ekspresi dari suatu gen juga tidak hanya ditentukan oleh peranan dari faktor biologis seperti aktivitas hormon, tetapi juga ditentukan oleh peranan dari faktor lingkungan yang berasal dari luar tubuh makhluk hidup (Klug dkk., 2012; Snustad & Simmons, 2012).

Hasil survei yang dilakukan pada sejumlah perguruan tinggi di kota Malang yaitu Universitas Negeri Maulana Malik Ibrahim, Universitas Islam Malang, Universitas Muhammadiyah Malang, dan IKIP Budi Utomo Malang pada November 2015 menunjukkan bahwa regulasi ekspresi gen pada eukariot merupakan pokok bahasan yang dirasa cukup sulit oleh mahasiswa. Kegiatan pembelajaran yang dilaksanakan pada perkuliahan Genetika, khususnya pada materi regulasi ekspresi gen pada eukariot juga hanya dilakukan melalui kajian teoritis tanpa ada suatu kegiatan praktikum yang dilakukan. Padahal menurut Rustaman (2005) kegiatan praktikum yang dilaksanakan selama pembelajaran dapat memberikan sejumlah manfaat bagi peserta didik, seperti: (1) memotivasi peserta didik sebab kegiatan praktikum pada umumnya menarik sehingga memotivasi peserta didik untuk belajar, (2) mendorong peserta didik untuk memiliki keterampilan dasar ilmiah, (3) meningkatkan pemahaman konsep, (4) memahami dan menerapkan metode ilmiah, dan (5) mengembangkan sifat-sifat ilmiah. Berbeda halnya dengan pola pelaksanaan pembelajaran pada beberapa perguruan tinggi tersebut, kegiatan pembelajaran yang dilaksanakan pada perkuliahan Genetika di Universitas Negeri Malang telah dilakukan melalui kajian secara teoritis maupun aktivitas praktikum yang diaplikasikan dalam pola proyek penelitian.

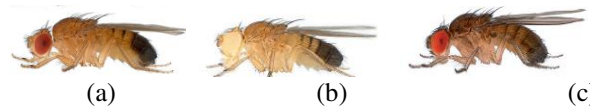
Untuk membantu mahasiswa mencapai tuntutan kompetensi, maka diperlukan suatu pengalaman belajar yang dilakukan secara langsung dalam bentuk kegiatan praktikum. Pemanfaatan *D. melanogaster* pada kegiatan praktikum dapat digunakan sebagai media pembelajaran yang tepat bagi mahasiswa untuk mempelajari pengaruh faktor lingkungan terhadap ekspresi sifat makhluk hidup. Hal ini dikarenakan *D. melanogaster* memiliki sejumlah keunikan dan karakteristik yang mendukung untuk digunakan sebagai organisme model pada banyak kajian Biologi, termasuk Genetika. Sejumlah karakteristik yang dimaksud antara lain organisme tersebut memiliki sejumlah karakter serta perilaku yang mudah diamati dalam kondisi laboratorium, mudah dalam pemeliharaan, memiliki waktu generasi yang pendek, menghasilkan banyak keturunan, serta memiliki ukuran genom yang kecil (Stocker & Gallant, tanpa tahun; Beckingham dkk., 2005; Burke & Rose, 2009; Hartwell dkk., 2011; Jennings, 2011). Deepa dkk. (2009) juga menambahkan bahwa sebagai organisme yang telah menjadi objek dalam banyak kajian genetika selama 50 tahun terakhir, berbagai pengetahuan mengenai keadaan genetik maupun kerja dari ratusan gen pada *D. melanogaster* telah dipahami secara mendalam, bahkan apabila diperbandingkan dengan organisme multiseluler lainnya.

METODE

Persilangan tiga macam strain *D. melanogaster* yakni strain normal (*wild-type*), *white*, dan *ebony* (Gambar 1) pada kondisi lingkungan gelap (*continuous dark/ 24h DD*) dan kondisi cahaya normal (*light-dark change/ 12:12h LD*) selama tiga generasi dilakukan untuk menunjukkan bahwa pengaruh faktor lingkungan terhadap ekspresi sifat makhluk hidup dapat dipelajari melalui persilangan *D. melanogaster*. Pengaturan kondisi DD dilakukan dengan menempatkan setiap botol persilangan pada kotak tertutup yang tidak tembus cahaya. Kotak persilangan tersebut kemudian dilapisi dengan kantong plastik hitam dan diletakkan pada ruangan yang juga tidak banyak terpapar oleh cahaya (Gambar 2a). Adapun persilangan pada kondisi LD dilakukan dengan menempatkan *D. melanogaster* pada kondisi cahaya normal, yakni 12 jam pada kondisi terang dan diikuti 12 jam pada kondisi gelap (Gambar 2b). Pembiakan serta persilangan dilakukan pada botol bekas selai berisi medium yang mengandung campuran pisang, tape singkong dan gula merah (7: 2: 1), serta 5-7 butir ragi/yeast. Sejumlah peralatan dan bahan yang diperlukan untuk persilangan dan pembiakan *D. melanogaster* dapat diamati pada Gambar 3.

Karakter yang diamati pada penelitian ini yaitu fekunditas atau kemampuan individu betina untuk menghasilkan keturunan. Fekunditas diukur dengan menghitung jumlah keturunan yang dihasilkan oleh individu betina sepanjang hidupnya (*life time fecundity*). Untuk mengetahui fekunditas betina, sepasang individu jantan dan betina virgin berusia ± 1 hari disilangkan selama 2 hari. Individu jantan selanjutnya dilepas, sementara individu betina dibiarkan melakukan ovoposisi dan

dipindahkan pada botol berisi medium baru saat terlihat ada larva. Individu dewasa yang muncul selanjutnya dihitung setiap hari sampai induk betina mati. Data yang terkumpul selanjutnya diuji statistik dengan menggunakan anava tiga jalur, serta dilakukan uji lanjut menggunakan BNT.



Gambar 1. Strain *D. melanogaster* yang digunakan dalam penelitian. (a) *D. melanogaster* strain normal (*wild-type*), (b) *white*, dan (c) *ebony* (Chyb & Gompel, 2013)



Gambar 2. Persilangan *D. melanogaster* pada kelompok perlakuan dan kontrol. (a) persilangan pada kondisi gelap dan (b) persilangan pada kondisi cahaya normal (Sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3. Peralatan dan bahan yang diperlukan untuk persilangan dan pembiakan *D. melanogaster*.

Alat serta bahan yang terlihat pada gambar antara lain yaitu biakan 3 macam strain *D. melanogaster*, selang penyedot, kasa, gunting, kuas gambar, selang ampul, spons penyumbat, dan mikroskop stereo untuk pengamatan karakter tertentu pada *D. melanogaster* (Sumber: Dokumen Pribadi)

HASIL

Hasil analisis yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh kondisi gelap terhadap fekunditas *D. melanogaster* strain normal, *white*, dan *ebony* dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil analisis menunjukkan bahwa fekunditas *D. melanogaster* berbeda secara signifikan pada kondisi cahaya yang berbeda ($F = 6.932$; $P = 0.012$) maupun pada strain yang berbeda ($F = 3.653$; $P = 0.036$). *D. melanogaster* yang ditempatkan pada kondisi LD memiliki rerata fekunditas yang lebih tinggi (136.22) dibandingkan pada kondisi DD (111.44). Dengan kata lain, *D. melanogaster* yang ditempatkan pada kondisi DD mengalami penurunan jumlah keturunan sebesar 18.19% dibandingkan pada kondisi LD. Rerata fekunditas strain normal juga diketahui lebih tinggi serta berbeda nyata dengan strain *white* dan *ebony* (Tabel 2). Hal tersebut terlihat dari penurunan jumlah keturunan sebesar 17.45% pada strain *white* dan sebesar 20.31% pada strain *ebony*. Di lain pihak, fekunditas antar generasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa interaksi antara kondisi cahaya dan generasi ($F = 17.466$; $P = 0.000$); serta interaksi antara cahaya, strain, dan generasi ($F = 3.603$; $P = 0.014$) berpengaruh signifikan terhadap fekunditas. Hasil uji lanjut untuk pengaruh interaksi antara kondisi cahaya dan generasi (Tabel 3) menunjukkan bahwa fekunditas lebih rendah pada kondisi DD di generasi 1 dan meningkat sebesar 67.34% pada generasi ke-2. Fekunditas selanjutnya menurun kembali pada generasi ke-3, tetapi tidak berbeda signifikan dengan fekunditas pada kondisi DD di generasi ke-1 maupun generasi ke-2. Mengenai pengaruh interaksi antara kondisi cahaya, strain, dan generasi (Tabel 4), hasil uji lanjut menunjukkan bahwa fekunditas strain *white* dan *ebony* lebih rendah pada kondisi DD di generasi ke-1 dan meningkat drastis pada kondisi DD di generasi ke-2. Peningkatan fekunditas strain *white* dan *ebony* pada kondisi DD di generasi ke-2 yaitu masing-masing sebesar 226% dan 112%; sementara fekunditas strain tersebut pada kondisi DD di generasi ke-3 tidak berbeda signifikan dengan

fekunditas pada kondisi DD di generasi ke-1 dan generasi ke-2. Di lain pihak, fekunditas strain normal tidak berbeda signifikan, baik pada kondisi cahaya maupun antar generasi yang berbeda. Lebih lanjut, hasil analisis menunjukkan bahwa interaksi antara kondisi cahaya dan macam strain; serta interaksi antara macam strain dan generasi tidak berpengaruh signifikan (seluruhnya $P > 0.05$).

Tabel 1. Ringkasan Hasil Anava untuk Fekunditas *D. melanogaster* strain Normal, white, dan ebony pada Kondisi Cahaya yang Berbeda selama 3 Generasi

	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P
Kondisi cahaya	8288.167	1	8288.167	6.932	.012
Strain	8734.778	2	4367.389	3.653	.036
Generasi	3219.111	2	1609.556	1.346	.273
Kondisi cahaya*strain	5293.000	2	2646.500	2.213	.124
Kondisi cahaya*generasi	41769.333	2	20884.667	17.466	.000
Strain*generasi	10179.444	4	2544.861	2.128	.097
Kondisi cahaya*strain*generasi	17230.333	4	4307.583	3.603	.014

Tabel 2. Ringkasan hasil uji lanjut untuk perbedaan fekunditas *D. melanogaster* pada strain Normal, white, dan ebony

Macam strain	Rerata jumlah keturunan	Notasi BNT
<i>Ebony</i>	112.889	a
<i>White</i>	116.944	a
Normal	141.667	b

Tabel 3. Ringkasan hasil uji lanjut untuk interaksi antara kondisi cahaya dan generasi terhadap fekunditas *D. melanogaster*

Perlakuan (Kondisi cahaya*generasi)	Rerata jumlah keturunan	Notasi BNT
DD-1	82.000	a
LD-2	89.778	a b
DD-3	115.111	a b
DD-2	137.222	b c
LD-3	149.000	b c
LD-1	169.889	c

Tabel 4. Ringkasan hasil uji lanjut untuk interaksi antara kondisi cahaya, macam strain, dan generasi terhadap fekunditas *D. melanogaster*

Perlakuan (Kondisi cahaya*strain*generasi)	Rerata Jumlah Keturunan	Notasi BNT
DD <i>white</i> 1	42.000	a
LD <i>ebony</i> 2	52.000	a b
DD <i>ebony</i> 1	73.333	a b
DD <i>white</i> 3	96.667	a b
LD <i>white</i> 2	106.333	b c
DD <i>ebony</i> 3	106.667	b c
LD Normal 2	111.000	b c
LD <i>white</i> 3	113.333	b c
DD Normal 2	118.667	b c
LD <i>ebony</i> 1	121.000	b c
DD Normal 1	130.667	b c
DD <i>white</i> 2	137.000	b c
DD Normal 3	142.000	b c
DD <i>ebony</i> 2	156.000	c d
LD Normal 3	165.333	c d
LD <i>ebony</i> 3	168.333	c d
LD Normal 1	182.333	c d
LD <i>white</i> 1	206.333	d

PEMBAHASAN

Pembahasan dilakukan untuk mengulas hasil pengujian hipotesis mengenai pengaruh kondisi gelap terhadap fekunditas *D. melanogaster* strain normal, *white*, dan *ebony* serta implikasinya pada pembelajaran Genetika. Dengan demikian, informasi yang disampaikan diharapkan dapat memberikan contoh serta pemahaman yang utuh mengenai bagaimana faktor lingkungan dapat memengaruhi ekspresi sifat makhluk hidup, serta bagaimana pokok bahasan tersebut dapat dikaji melalui pemanfaatan *D. melanogaster* dalam kegiatan praktikum.

Pengaruh Kondisi Lingkungan Gelap terhadap Fekunditas *D. melanogaster* strain Normal, *white*, dan *ebony*

Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi cahaya berpengaruh terhadap fekunditas *D. melanogaster*. *Drosophila melanogaster* yang ditempatkan pada kondisi LD memiliki fekunditas yang lebih tinggi dan menurun sebesar 18.19% pada kondisi DD. Penurunan jumlah keturunan pada kondisi DD menunjukkan bahwa ketidakhadiran stimulus berupa cahaya dapat mengganggu proses fisiologis yang mendukung keberhasilan reproduktif dari *D. melanogaster*. Sweat dkk. (2013) menjelaskan bahwa cahaya digunakan organisme untuk menginduksi terjadinya perubahan transkripsi pada beberapa gen yang terlibat dalam pengaturan waktu *circadian*. Regulasi tersebut diketahui melibatkan mekanisme epigenetik yang diperantarai oleh cahaya dalam menginduksi peningkatan asetilasi histon H3 dan H4 pada bagian promoter dari gen *mPer1* dan *mPer2*. Ekspresi dari kedua gen tersebut diperlukan untuk menjamin bahwa proses fisiologis yang berlangsung di dalam tubuh dapat terjadi secara teratur.

Pada kondisi gelap, yaitu ketika tidak ada stimulus berupa cahaya yang diterima oleh fotoreseptor, banyak proses fisiologis tetap dapat berlangsung (Bjorn, 2002; Zheng & Sehgal, 2008), sekalipun panjang periode waktu *circadian* yang terjadi tidak sama persis selama 24 jam. Cahaya yang hadir selama periode gelap terang harian (LD cycle) diperlukan untuk melakukan sinkronisasi terhadap pengaturan waktu internal (Bjorn, 2002). Kegagalan dalam melakukan sinkronisasi pada kondisi lingkungan tersebut dapat menyebabkan gangguan pada berbagai proses fisiologis maupun perilaku, sehingga berdampak pada penurunan *fitness* dari organisme yang bersangkutan (Palaksha, dkk., 2014).

Hasil kajian sebelumnya memberikan dukungan atas temuan dalam penelitian ini. Beberapa peneliti seperti Kouser (2014), Harini (2010), dan Palaksha dkk. (2014) melaporkan bahwa fekunditas beberapa spesies *Drosophila* menjadi lebih rendah pada kondisi DD dibandingkan LD. Perubahan kondisi cahaya juga dilaporkan menyebabkan gangguan fisiologis maupun perilaku pada sejumlah organisme multiseluler lainnya. Kajian yang dilakukan menggunakan hewan coba tikus menunjukkan bahwa perubahan kondisi cahaya tidak hanya berdampak pada penurunan lama hidup, tetapi juga mendorong pertumbuhan tumor dan berdampak pada timbulnya berbagai kelainan metabolik (Vinogradova dkk., 2009). Demikian pula, perubahan gaya hidup modern yang menyebabkan manusia lebih lama terpapar pada kondisi terang bahkan telah disangkut-pautkan dengan begitu banyak permasalahan kesehatan dan perilaku yang serius, seperti obesitas, penyakit kardiovaskuler, diabetes, dan kanker (Harrington, 2001; Spiegel, 2002; Anisimov, 2002; 2006; Erren dkk., 2003).

Perbedaan fekunditas betina yang tampak pada kondisi LD dan DD juga dapat dipengaruhi oleh faktor lainnya yaitu perbedaan keberhasilan kawin *D. melanogaster* pada kedua kondisi tersebut. Keberhasilan kawin pada *D. melanogaster* sangat dipengaruhi oleh perilaku kawin yang ditampilkan. Sinyal kimia berupa feromon yang dihasilkan pada bagian permukaan tubuh *D. melanogaster* (*cuticular hydrocarbons*) merupakan stimulus penting yang diperlukan untuk mendukung terjadinya perilaku kawin pada *Drosophila* (Cobb & Jallon, 1990; Foley dkk., 2007). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Kent, dkk. (2007) menunjukkan bahwa variasi senyawa *cuticular hydrocarbon* yang dihasilkan *D. melanogaster* dipengaruhi oleh waktu harian maupun kondisi cahaya di lingkungan (LL vs DD). Pola variasi dari senyawa *cuticular hydrocarbon* tersebut juga bersifat spesifik pada kelompok senyawa hidrokarbon yang berbeda. Diantara kelompok senyawa tersebut, rerata senyawa n-alkana berantai panjang dan *monoene* yang dihasilkan lebih tinggi pada malam hari, sementara kelompok senyawa methyl-alkana lebih tinggi pada siang hari. Dinyatakan pula bahwa fluktuasi dari senyawa-senyawa tersebut terjadi selama pagi dan siang hari, serta sangat ditentukan oleh adanya stimulus cahaya dari lingkungan.

Sejalan dengan pemaparan di atas, hasil-hasil kajian sebelumnya juga menunjukkan bahwa kondisi cahaya memang memengaruhi perilaku serta keberhasilan kawin *Drosophila*. Kondisi DD diketahui dapat meningkatkan lama waktu pacaran serta menurunkan lama waktu kopulasi pada beberapa spesies *Drosophila* (Harini, 2010). Kondisi DD juga menyebabkan individu jantan menjadi kurang atraktif; sementara individu betina menjadi kurang responsif, sehingga berdampak pada penurunan frekuensi kawin serta peningkatan waktu laten kopulasi pada lalat buah *Anastrepha ludent* (Diaz-Fleischer & Arredondo, 2011). Menurunnya lama waktu kopulasi dan frekuensi kawin, serta waktu laten kawin yang lebih lama pada kondisi gelap adalah penjelasan lain atas menurunnya fekunditas *D. melanogaster* pada kondisi DD dibandingkan pada kondisi LD. Hal ini sejalan dengan laporan Harini (2010) bahwa lama waktu kopulasi berkorelasi secara positif terhadap fertilitas. Singh & Singh (2014) juga menambahkan bahwa *mating latency* merupakan perilaku kawin yang penting pada *Drosophila*, serta berkorelasi secara langsung dengan komponen lainnya seperti fekunditas, fertilitas, dan lama hidup.

Hasil pengujian menggunakan anava juga menunjukkan bahwa fekunditas pada ketiga macam strain yang diuji berbeda secara signifikan. Strain normal memiliki fekunditas yang lebih tinggi dibandingkan strain *white* dan *ebony*. Hal tersebut tampak dari penurunan jumlah keturunan sebesar 17.45% pada strain *white* dan sebesar 20.31% pada strain *ebony*. Adapun jumlah keturunan antara strain *white* dan *ebony* tidak berbeda nyata. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat keuntungan

fisiologis yang berdampak pada perolehan *fitness* yang lebih baik pada strain *wild-type* dibandingkan kedua strain mutan tersebut.

Drapeau (dkk., 2003) menjelaskan bahwa mutan pada sifat yang berkenaan dengan pigmentasi pada *D. melanogaster* menunjukkan efek pleiotropi. Analisis terhadap mutasi pada gen yang berperan dalam proses pigmentasi diketahui tidak hanya berperan selama pembentukan pigmentasi kutikula atau warna mata, tetapi juga berperan pada proses neurobiological/ perilaku. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa *D. melanogaster* yang membawa mutasi pada lokus *ebony* memiliki keberhasilan kawin yang lebih rendah, serta gangguan perilaku kawin lainnya yang disebabkan oleh *visual defects* (Kyriacou, dkk., 1978; Takahashi, 2013). Beberapa sumber lainnya bahkan mengungkapkan bahwa gangguan perilaku kawin pada strain *ebony* juga bersangkut-paut dengan aspek lainnya seperti frekuensi *wing-extension* yang kurang, frekuensi terputusnya tahapan perkawinan, serta perubahan pada parameter akustik dari 'nyanyian' yang ditampilkan selama tahapan perkawinan (Takahashi, 2013). Kondisi yang serupa juga terjadi pada *D. melanogaster* strain *white*. Hasil kajian yang dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa mutasi yang dibawa oleh strain *white* tidak hanya menyebabkan kebutaan, tetapi juga mengakibatkan proses kawin oleh individu jantan menjadi tidak efisien (Singh, dkk., 1985), serta perkembangan menjadi lambat (Wang, 2008).

Hasil pengujian lainnya menunjukkan bahwa interaksi antara kondisi cahaya dan generasi berpengaruh signifikan terhadap fekunditas. Fekunditas yang paling rendah terjadi selama pemaparan pada kondisi DD di generasi 1 dan meningkat sebesar 67.34% di generasi ke-2. Penurunan jumlah keturunan pada kondisi DD secara drastis pada generasi 1 menunjukkan bahwa kondisi gelap memberikan tekanan lingkungan yang begitu besar bagi *D. melanogaster* yang secara alami hidup pada kondisi cahaya normal. Di lain pihak, upaya adaptasi mulai ditunjukkan pada generasi ke-2 sehingga terjadi peningkatan fekunditas dibandingkan generasi sebelumnya. Fekunditas *D. melanogaster* pada kondisi DD di generasi ke-3 selanjutnya menurun sekalipun tidak berbeda signifikan dengan fekunditas di generasi ke-1 maupun generasi ke-2.

Interaksi antara kondisi cahaya, macam strain, dan generasi juga diketahui berpengaruh signifikan terhadap fekunditas. *Drosophila melanogaster* strain *white* dan *ebony* memiliki fekunditas yang lebih rendah pada kondisi DD di generasi 1 dan masing-masing meningkat drastis sebesar 226% pada strain *white* dan sebesar 112% pada strain *ebony* pada kondisi DD di generasi ke-2. Fekunditas strain tersebut selanjutnya menurun di generasi ke-3 namun tidak berbeda signifikan dengan fekunditas pada kondisi DD di generasi ke-1 dan generasi ke-2. Di lain pihak, fekunditas strain normal tidak berbeda signifikan, baik pada kondisi cahaya maupun antar generasi yang berbeda. Dengan demikian, faktor berupa kondisi cahaya maupun generasi tidak banyak memengaruhi strain normal, tetapi justru berdampak pada kemampuan kedua strain mutan untuk menghasilkan keturunan.

Implikasi Hasil Penelitian terhadap Pemanfaatan *D. melanogaster* sebagai Organisme Model untuk Mempelajari Pengaruh Faktor Lingkungan dalam Memengaruhi Regulasi Ekspresi Gen Pada Eukariot

Hasil penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya menunjukkan bahwa faktor lingkungan berupa kondisi lingkungan gelap memengaruhi fekunditas yang merupakan salah satu sifat penentu *fitness* bagi *D. melanogaster*. Bagaimana faktor lingkungan tersebut berperan dalam memengaruhi ekspresi sifat tersebut juga telah dikemukakan. Berkenaan dengan hal ini, Dick (2011) menjelaskan bahwa epigenetik merupakan mekanisme biologis yang penting dalam menjelaskan bagaimana lingkungan dapat memengaruhi regulasi ekspresi gen, sehingga dapat memengaruhi ekspresi dari suatu sifat atau perilaku makhluk hidup.

Regulasi ekspresi dari suatu gen dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor. Dick (2007) menjelaskan bahwa beberapa mekanisme yang berperan dalam proses regulasi tersebut antara lain yaitu aktivitas faktor transkripsi, metilasi DNA, dan organisasi kromatin. Faktor transkripsi bekerja dengan mengikat urutan DNA yang spesifik dari suatu gen sehingga gen tersebut dapat ditranskripsikan. Mekanisme epigenetik terhadap faktor transkripsi melibatkan perubahan pada faktor transkripsi, sehingga faktor transkripsi tersebut tidak dapat berinteraksi dengan DNA. Mekanisme epigenetik lainnya yaitu berhubungan dengan terjadinya perubahan kimia (modifikasi) DNA yang disebabkan oleh metilasi DNA. Metilasi DNA terjadi melalui penambahan gugus methyl (CH₃) pada basa sitosin. Proses modifikasi semacam itu menyebabkan terjadinya inaktivasi gen (*gene silencing*) karena DNA yang termetilasi tidak dapat diikat oleh protein faktor. Oleh karenanya, produk dari gen tersebut tidak dapat dihasilkan. Selanjutnya, organisasi kromatin merupakan faktor lainnya yang dapat memengaruhi ekspresi gen. DNA eukariot diketahui berasosiasi dengan sekelompok protein histon membentuk nukleosom yang selanjutnya terorganisasi membentuk kromatin. Ketika kromatin terkondensasi menjadi sangat padat, maka gen-gen yang berada diantara urutan DNA tersebut mengalami inaktivasi karena tidak dapat dijangkau oleh faktor transkripsi. Demikian pula sebaliknya, apabila kromatin terbuka maka gen dapat diaktifkan dan diekspresikan.

Pokok bahasan mengenai regulasi ekspresi gen pada eukariot tersebut tidak hanya dapat dipelajari mahasiswa melalui proses membaca atau berdiskusi. Pemahaman mengenai konsep tersebut dapat diperkaya serta dipelajari mahasiswa melalui suatu kegiatan praktikum. Hal ini dikarenakan kegiatan praktikum yang dilaksanakan selama pembelajaran dapat memberikan sejumlah manfaat bagi peserta didik, seperti (1) memotivasi peserta didik sebab kegiatan praktikum pada umumnya menarik sehingga memotivasi peserta didik untuk belajar, (2) mendorong peserta didik untuk memiliki keterampilan dasar ilmiah, (3) meningkatkan pemahaman konsep, (4) memahami dan menerapkan metode ilmiah, dan (5) mengembangkan sifat-sifat ilmiah (Rustaman, 2005).

Kegiatan praktikum yang dilakukan mahasiswa dengan memanfaatkan *D. melanogaster* dapat diwujudkan melalui suatu proyek penelitian. Melalui pola semacam itu, mahasiswa didorong untuk merancang dan melaksanakan proyek penelitian yang bertujuan untuk mengungkap pengaruh faktor lingkungan tertentu terhadap suatu sifat maupun perilaku. Pada contoh penelitian yang telah dipaparkan pada bagian sebelumnya, faktor lingkungan yang dipilih yaitu kondisi lingkungan gelap; sementara karakter yang diamati yaitu kemampuan menghasilkan keturunan atau disebut sebagai fekunditas. Mahasiswa dapat menggunakan jenis perlakuan maupun karakter yang sama atau berbeda karena selama proyek penelitian tersebut dirancang, mahasiswa harus memerhatikan alasan dari pemilihan jenis faktor lingkungan maupun karakter yang akan dikaji. Mahasiswa juga perlu merancang prosedur penelitian yang terkait dengan jenis perlakuan yang dipilih, menentukan teknik analisis data sampai dengan mengulas hasil penelitian yang didapatkan.

Pada saat *D. melanoaster* digunakan untuk kegiatan praktikum, mahasiswa juga tidak perlu dikhawatirkan dengan pemeliharaan biakan *D. melanogaster*. Pemanfaatan organisme tersebut pada banyak kajian biologi, termasuk genetika antara lain dikarenakan organisme tersebut lebih mudah dipelihara dan relatif terjangkau bila dibandingkan dengan pemanfaatan organisme multiselular lainnya. *D. melanogaster* juga memiliki beberapa karakteristik lainnya yaitu mempunyai sejumlah karakter maupun perilaku yang mudah diamati dalam kondisi laboratorium, memiliki waktu generasi yang pendek, mampu menghasilkan banyak keturunan, memiliki ukuran genom yang kecil, serta memiliki sekian banyak jumlah mutan yang menggambarkan berbagai aspek biologis dari organisme tersebut (Stocker & Gallant, tanpa tahun; Beckingham dkk., 2005; Burke & Rose, 2009; Deepa dkk., 2009; Hartwell dkk., 2011; Jennings, 2011).

Penjelasan di atas sekaligus menunjukkan bahwa *D. melanogaster* merupakan media yang tepat untuk digunakan mahasiswa dalam mempelajari pengaruh faktor lingkungan terhadap ekspresi sifat makhluk hidup. Hal ini sejalan dengan pernyataan Munadi (2010: 187) bahwa pemilihan media hendaknya didasarkan pada beberapa kriteria yang meliputi karakteristik peserta didik, tujuan pembelajaran, aktivitas yang dituntut selama pembelajaran, kemampuan biaya, ketersediaan waktu, tenaga, dan peralatan pendukung. Ketepatan pemilihan media merupakan hal yang penting karena berpotensi menghasilkan pemahaman yang baik mengenai pokok bahasan yang dipelajari serta meningkatkan mutu proses belajar mengajar di kelas. Oleh karenanya, sebagai salah satu komponen pembelajaran yang penting dalam kegiatan pembelajaran, pemanfaatan media hendaknya perlu mendapatkan perhatian dari para pendidik.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil penelitian mengenai pengaruh kondisi gelap terhadap fekunditas *D. melanogaster* strain Normal, *white*, dan *ebony* menunjukkan bahwa faktor lingkungan berupa kondisi cahaya berpengaruh signifikan terhadap fekunditas *D. melanogaster*. *D. melanogaster* yang ditempatkan pada kondisi DD memiliki fekunditas yang lebih rendah sebesar 18.19% dibandingkan pada kondisi LD. Hasil perbandingan antar strain juga menunjukkan bahwa strain normal memiliki fekunditas yang tinggi dan masing-masing menurun sebesar 17.45% dan 20.31% pada strain *white* dan *ebony*. Interaksi antara kondisi cahaya dan generasi; serta interaksi antara kondisi cahaya, strain, dan generasi juga berpengaruh signifikan terhadap fekunditas. Fekunditas strain *white* dan *ebony* paling rendah terjadi pada generasi ke-1 dan masing-masing meningkat sebesar 226% dan 112% pada generasi ke-2. Fekunditas strain tersebut pada generasi ke-3 tidak berbeda signifikan, sementara fekunditas strain normal tidak berbeda signifikan baik pada kondisi cahaya maupun generasi yang berbeda. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa *D. melanogaster* dapat dimanfaatkan sebagai organisme model untuk mempelajari pengaruh lingkungan terhadap ekspresi sifat makhluk hidup. Terlebih lagi, *D. melanogaster* memiliki sejumlah karakteristik yang mendukung serta berpotensi besar untuk dimanfaatkan selama kegiatan praktikum pada perkuliahan Genetika.

Saran

Pemanfaatan *D. melanogaster* sebagai organisme model untuk mempelajari pengaruh faktor lingkungan dalam memengaruhi ekspresi sifat makhluk hidup dapat dilakukan melalui kegiatan praktikum. Namun demikian, proses persilangan serta pengumpulan data yang dilakukan akan membutuhkan waktu yang tidak singkat. Oleh karenanya, disarankan agar kegiatan praktikum tersebut dilaksanakan dalam pola proyek penelitian. Dalam melaksanakan kegiatan tersebut, mahasiswa diarahkan untuk merancang kegiatan praktikum yang akan dilakukan mulai dari menetapkan judul, merancang prosedur, menentukan teknik analisis data, mengolah data, mengulas hasil penelitian, sampai dengan menyusun laporan hasil penelitian. Apabila kegiatan semacam itu belum pernah dilakukan atau cukup sulit dilakukan tanpa ketersediaan petunjuk praktikum, pengajar dapat memberikan petunjuk praktikum secara sederhana untuk membantu mahasiswa melaksanakan kegiatan praktikum tersebut.

DAFTAR RUJUKAN

- Anisimov, V. N. 2002. The Light-Dark Regimen and Cancer Development. *Neuroendocrinology Letters*, 23 (2): 28—36.
- Beckingham, K. M., Armstrong, J. D., Texada, M. J., Munjaal, R., & Baker, D. A. 2005. *Drosophila melanogaster*: the model organism of choice for the complex biology of multicellular organisms. *Gravit Space Biol Bull*, Vol. 18, (12): 1—29.
- Burke, M. K. & Rose, M. R. 2009. Experimental Evolution with *Drosophila*. *Am J Physiol Regul Integr Physiol*, 296: R1847-R1854.
- Bjorn, L. O. 2002. *Photobiology: The Science of Light and Life*. Sweden: Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Chyb, S. & Gompel, N. 2013. *Atlas of Drosophila Morphology: Wild-type and classical mutants*. USA: Elsevier Inc.
- Deepa, P.i V., Akshaya A. S., & Solomon, F. D. P. 2009. Wonder Animal Model for Genetic Studies - *Drosophila melanogaster* –Its Life Cycle and Breeding Methods: A Review. *Sri Ramachandra Journal of Medicine*, Vol. 2, Issue 2.
- Díaz-Fleischer, F. & Arredondo, J. 2011. Light conditions affect sexual performance in a lekking tephritid fruit fly. *The Journal of Experimental Biology*, 214, 2595—2602.
- Dick, D. M. 2011. Gene-Environment Interaction in Psychological Traits and Disorders. *Annu Rev Clin Psychol*, (7): 383—409.
- Drapeau, M. D., Radovic, A., Wittkopp, P. J., & Long, A. D. 2003. A Gene Necessary for Normal Male Courtship, yellow, Acts Downstream of fruitless in the *Drosophila melanogaster* Larval Brain. Wiley Periodicals, Inc.
- Erren, T. C., Reiter, R. J., & Piekarski, C. 2003. Light, timing of biological rhythms, and chronodisruption in man. *Naturwissenschaften*, 90: 485—494.
- Foley, B., Chenoweth, S. F., Nuzhdin, S. V., & Blows, M. W. 2007. Natural Genetic Variation in Cuticular Hydrocarbon Expression in Male and Female *Drosophila melanogaster*. *Genetics*, 175: 1465—1477.
- Gottlieb, G. 1998. Normally occurring environmental and behavioral influences on gene activity: from central dogma to probabilistic epigenesis. *Psychological Review*, Vol. 105, No. 4, Pg. 792-802.
- Gottlieb, G. 2000. Environmental and behavioral influences on gene activity. *American Psychological society*, Vol. 9, No. 3, Pg. 93—97.
- Harini B P. 2010. Corelation Between Mating Propensity and Productivity in Few Species of *Drosophila* Exposed to Light and Dark Cycle under Laboratory Enronments. *World Journal of Zoology*, 5 (4): 306—313.
- Harrington, J. M. 2001. Health effect of shift work and extended hours of work. *Occup Environ Med*, 58: 68—72.
- Hartwell, L. H., Hood, L., Goldberg, M. L., Reynolds, A. E., & Silver, L. M. 2011. *Genetics: from Genes to Genome, Fourth Edition*. McGraw-Hill Higher Education.
- Jennings, B. H. 2011. *Drosophila*- a versatile model in biology & medicine. *Materialstoday*, Vol. 14, No. 5.
- Kent, C., Azanchi, R., Smith, B., & Levine, J. 2007. A Model-Based Analysis of Chemical and Temporal Patterns of Cuticular Hydrocarbons in Male *Drosophila melanogaster*. *PLoS ONE*, 2 (9).
- Klug, W. S., Cummings, M. S., Spencer, C. A., & Palladino, M. A. 2012. *Concepts of Genetic, Tenth Edition*. California: Pearson Education, Inc.
- Kouser, S., Palaksha, & Shakuntala, V. 2014. Study on fitness of *Drosophila melanogaster* in different light regimes. *Biological Rhythm Research*, Vol. 45, No. 2, pp. 293—300.
- Kyriacou, C.P., Burnet, B., Connolly, K. 1978. Behavioral basis of overdominance in competitive mating success at the ebony locus of *Drosophila melanogaster*. *Animal Behav.*, 26: 1195—1206.
- NSTA. 2009. *The biology teacher handbook*. Virginia: NSTA Press.
- Palaksha, S. G. & Shakunthala, V. 2014. Effect of different light regimes on fitness of *Drosophila agumbensis* and *Drosophila nagarholensis*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol. 3, No. 10, pages: 32-335.
- Rustaman, N. 2005. *Strategi Belajar Mengajar Biologi*. Malang: UM Press.
- Singh, B. N., Chatterjee, S. & Roy, S. 1985. Behavioural analysis of mating between white eyed and wild type *Drosophila ananassae*. *Ind. J. Exp. Biol.*, 23: pp. 661—662.
- Takahashi, A. 2013. Pigmentation and behavior: potential association through pleiotropic genes in *Drosophila*. *Genes Genet. Syst.*, 88: pp. 165—174.
- Singh, A. & Singh, B. N. 2014. Mating Latency, duration of copulation, and fertility in four species of the *Drosophila bipectinata* complex. *Indian Journal of Experimental Biology*, Vol. 52, pp. 175—180.
- Snustad, D. P. & Simmons, M. J. 2012. *Principles of Genetics, Sixth Edition*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Stocker, H. & Gallant, P. Tanpa tahun. Getting started: An overview on raising and handling *Drosophila*. Switzerland: Institute for Molecular Systems Biology, ETH Zurich.
- Sweat, J. D., Nestler, E. J., Meaney, M. J., & Akbarian, S. 2013. *Epigenetic Regulation in the Nervous System*. Elsevier Inc.
- Zheng, X. & Sehgal, A. 2008. Probing the Relative Importance of Molecular Oscillations in the Circadian Clock. *Genetics*, 178: 1147—1155.
- Wang, S., Tan, X. L., Michaud, J. P., Zhang, F., & Guo, X. 2013. Light intensity and wavelength influence development, reproduction and locomotor activity in the predatory flower bug *Orius sauteri* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae). *BioControl*, 58: 667—674.