

Dampak Iradiasi Sinar Gamma Pada Produktivitas *Aedes aegypti* Jantan

Effect of Gamma-Ray Irradiation on the Productivity of Male *Aedes aegypti*

Mirnawati Dewi ^{*a}, Susi Soviana ^b, Umi Cahyaningsih ^b, Ali Rahayu ^c

^a Program Studi Parasitologi dan Entomologi Kesehatan, Pascasarjana IPB

Jl. Agatis Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680.

^b Laboratorium Entomologi, Bagian Parasitologi dan Entomologi Kesehatan, FKH-IPB

Jl. Agatis Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680

^c Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12440

INFO ARTIKEL

Article History:

Received: 12 Dec. 2018

Revised: 26 Jan. 2019

Accepted: 30 Jan. 2019

Kontribusi:

Kontributor Utama dalam artikel ini adalah Mirnawati Dewi dan Susi Soviana. Sedangkan Umi Cahyaningsih dan Ali Rahayu berperan sebagai Kontributor Anggota.

Keywords:

Radiation

Aedes aegypti

SIT

Dengue

Kata kunci:

Radiasi

Aedes aegypti

TSM

Dengue

ABSTRACT / ABSTRAK

Dengue fever is a vector-borne disease with *Aedes aegypti* as the main vector. Vector controls currently depended on insecticide. Considering the negative effect of insecticide, Sterile Insect Technique (SIT) was developed. This study was conducted to evaluate the effect of gamma-ray irradiation on the productivity of male *Ae. aegypti*. Male pupae age less than 15 hours were irradiated with 60 Gy and 70 Gy gamma-ray. When the pupae became adult, the sterile males mated with the same age females *Aedes aegypti*. Observation on fecundity, hatchability, and age was carried out until the second generation. Gamma-ray irradiation with the dose of 60 Gy and 70 Gy showed different effects on fecundity, egg hatchability, the emergence of the adult, and age of *Aedes aegypti* compared to control.

Demam berdarah merupakan penyakit tular vektor yang sampai saat ini masih menjadi masalah kesehatan secara global. Vektor utama yang berperan pada penyebaran penyakit DBD yaitu nyamuk *Aedes aegypti*. Pengendalian vektor saat ini sangat bergantung pada penggunaan insektisida. Dampak negatif penggunaan insektisida menyebabkan pengembangan pengendalian vektor yang lain diantaranya yaitu Teknik Serangga Mandul (TSM). Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis produktivitas *Ae. aegypti* jantan iradiasi hingga generasi kedua. Pupa jantan umur <15 jam diradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy. Setelah menjadi nyamuk jantan dewasa segera dikawinkan dengan nyamuk betina tidak iradiasi dengan umur yang sama. Pengamatan dilakukan terutama terhadap fekunditas, daya tetas, kemunculan nyamuk, dan umur nyamuk hingga generasi kedua. Iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy menghasilkan dampak yang berbeda terhadap fekunditas, daya tetas telur, kemunculan nyamuk dan umur nyamuk bila dibandingkan dengan kontrol.

© 2019 Jurnal Vektor Penyakit. All rights reserved

*Alamat Korespondensi : email : mirnawatidewi88@gmail.com

PENDAHULUAN

Demam Berdarah *Dengue* (DBD) merupakan penyakit yang membahayakan manusia secara global. DBD masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia karena peningkatan dan penyebaran jumlah kasus DBD hampir di setiap provinsi.¹ Vektor utama yang berperan dalam penyebaran DBD adalah nyamuk betina *Ae. aegypti*. Nyamuk tersebut memiliki kemampuan adaptasi terhadap lingkungan dan tersebar luas di wilayah Indonesia, kecuali di daerah dengan

ketinggian lebih dari 1000 meter di atas permukaan air laut (mdpl).² Penularan virus DBD terjadi melalui dua cara, yaitu secara horizontal dari nyamuk ke manusia melalui gigitan, dan secara vertikal diturunkan oleh induk nyamuk tertular.^{2,3} Hal ini menunjukkan bahwa nyamuk tersebut di alam memegang peranan penting dalam mempertahankan virus *dengue*.

Upaya pengendalian vektor khususnya *Ae. aegypti* telah lama dilakukan untuk

memutuskan rantai penularan. Saat ini upaya pengendalian sangat tergantung pada penggunaan insektisida kimia. Penggunaan insektisida kimia dapat mencemari lingkungan, menyebabkan masalah kesehatan dan terbunuhnya organisme bukan sasaran. Selain itu, penggunaan insektisida kimia secara terus-menerus dalam waktu yang lama dapat menyebabkan resistensi serangga. Hal ini disebabkan karena *Ae. aegypti* mempunyai kemampuan untuk mengembangkan sistem kekebalan dan juga diturunkan pada generasi selanjutnya.⁴ Dampak negatif penggunaan insektisida menyebabkan pengembangan strategi lain diantaranya yaitu dengan Teknik Serangga Mandul (TSM).

TSM merupakan metode pengendalian vektor secara genetik dengan cara mensterilkan nyamuk jantan melalui iradiasi pada stadium tertentu. Kemudian, nyamuk jantan steril dilepas ke alam dengan tujuan terjadi perkawinan antara nyamuk jantan steril dengan nyamuk betina di alam. Perkawinan tersebut diharapkan menghasilkan keturunan yang steril sehingga pelepasan secara bertahap dapat menurunkan populasi nyamuk di wilayah pelepasan. Secara umum, iradiasi dapat menimbulkan berbagai akibat terhadap nyamuk, baik kelainan morfologis maupun kerusakan genetik. Menurut Ayvas,⁵ dan Shetty *et al*,⁶ bahwa dosis iradiasi sinar gamma akan memberikan dampak terhadap fekunditas, fertilitas, kemunculan dewasa, umur dan jenis kelamin serangga hingga generasi selanjutnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis produktivitas *Ae. aegypti* jantan iradiasi hingga generasi kedua (F2).

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan September – Desember 2017 di Laboratorium pemeliharaan nyamuk, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), BATAN, Jakarta Selatan.

Penelitian ini termasuk *true eksperimental*, menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Perlakuan penelitian berupa pengelompokan pupa *Ae. aegypti* jantan menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama diiradiasi sinar gamma dosis 60 Gy,

dosis 70 Gy sebagai kelompok kedua dan tanpa iradiasi pada kelompok ketiga sebagai kontrol. Setiap kelompok terdiri atas 20 pupa *Ae. aegypti* jantan dengan lima ulangan. *Ae. aegypti* jantan iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dinyatakan sebagai parental (P) 60, dan dosis 70 Gy dalam P(70). Keturunan dari perkawinan antara jantan iradiasi dan betina tidak iradiasi (normal) ditetapkan sebagai F1(60) dan F1(70). Keturunan yang dihasilkan dari perkawinan antara jantan F1 dan betina normal ditetapkan sebagai F2 (60) dan F2 (70).⁶

Ae. aegypti yang digunakan adalah isolat yang telah ada di Laboratorium Entomologi Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi-Badan Tenaga Nuklir Nasional (PAIR-BATAN). Koloni telur *Ae. aegypti* direndam air dalam nampan (*tray*) berukuran (36x28x7cm). Larva dipelihara dalam nampan berisi ± 1,5 l air dan diberi pelet (makanan kucing) sebagai pakan. Pupa dimasukkan ke dalam wadah plastik berisi ± 200 ml air. Pupa jantan dan betina dipisahkan menggunakan alat pemisah pupa yaitu *plate separator*. Pemeliharaan tersebut dilakukan di laboratorium dengan parameter iklim yang terkontrol, antara lain temperatur $26 \pm 1^\circ\text{C}$, kelembaban relatif $70 \pm 10\%$ dan periode penyinaran gelap terang (12:12 jam).

Pupa *Ae. aegypti* jantan (n= 100) berumur kurang dari 15 jam dimasukkan ke dalam vial plastik transparan (diameter 3 cm; tinggi 4 cm) yang berisi air ± 10 ml dengan kepadatan 50 pupa/ vial plastik. Selanjutnya, diiradiasi dengan cara memasukkan vial plastik tersebut ke dalam irradiator *Gamma Cell 220*. Radioisotop yang digunakan sebagai sumber iradiasi sinar gamma adalah *Co-60*. Kontrol adalah pupa *Ae. aegypti* jantan (n= 100) yang tidak diiradiasi dengan umur yang sama dengan pupa jantan iradiasi yang telah disiapkan di laboratorium.

Pupa *Ae. aegypti* jantan iradiasi (n= 100) dipindahkan ke dalam Bugdorm-1® (kandang). *Ae. aegypti* jantan yang muncul dari pupa tersebut selanjutnya dipindahkan ke dalam kandang yang berbeda yang dianggap sebagai ulangan. Masing-masing kandang di tempatkan 20 *Ae. aegypti* jantan iradiasi dan 20 *Ae. aegypti* betina normal.⁶

Fekunditas merupakan jumlah telur yang dihasilkan *Ae. aegypti* betina. Fekunditas

dihitung dari jumlah telur yang diletakkan *Ae. aegypti* perbetina dalam satu siklus gonotrofik. Daya tetas telur *Ae. aegypti* merupakan jumlah telur yang menetas dari total jumlah telur yang dihasilkan nyamuk *Ae. aegypti* betina. Perhitungan daya tetas telur berdasarkan persentase jumlah telur yang menetas menjadi larva dari total jumlah telur yang dihasilkan *Ae. aegypti* betina.

Kemunculan nyamuk merupakan pupa yang berhasil eklosi menjadi nyamuk dewasa. Perhitungan kemunculan nyamuk berdasarkan jumlah nyamuk dewasa dari total jumlah telur yang menetas menjadi larva.

Umur nyamuk merupakan kemampuan *Ae. aegypti* jantan bertahan hidup. Umur nyamuk (*longevity*) ditentukan dengan menghitung jumlah nyamuk yang mati dan dikeluarkan dari kandang setiap interval 24 jam sampai semua nyamuk dalam kandang habis. Selama penelitian, ke dalam kandang nyamuk jantan tetap disuplai dengan larutan gula 10% sebagai pakan.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan *One way-analysis of variance* (ANOVA) untuk mengetahui perbedaan nilai parameter penelitian dari iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy berupa produktivitas keturunan *Ae. aegypti* jantan iradiasi dengan nilai *p* value < 0.05. Jika hasil analisis berbeda nyata, dilanjutkan dengan uji *Duncan*.

HASIL

Fekunditas *Ae. aegypti* betina hasil perkawinan jantan iradiasi, keturunan jantan iradiasi disajikan pada Tabel 1. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa fekunditas pada P(60), P(70) dan kontrol berbeda nyata (*p* < 0.05). Namun, tidak pada F1 dan F2.

Daya tetas telur *Ae. aegypti* hasil perkawinan jantan iradiasi, keturunan jantan iradiasi disajikan pada Tabel 2. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa daya tetas telur pada F1(60), F1(70), dan kontrol berbeda nyata (*p* < 0.05). Daya tetas telur juga berbeda nyata pada F2(60), F2(70), dan kontrol.

Kemunculan *Ae. aegypti* hasil perkawinan jantan iradiasi, keturunan jantan iradiasi disajikan pada Tabel 2. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa persentase kemunculan nyamuk pada F1(60), F1(70) dan kontrol menunjukkan perbedaan nyata (*p* < 0.05). Sedangkan persentase kemunculan nyamuk *Ae. aegypti* pada F2(60), F2(70), tidak berbeda nyata.

Dampak iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy terhadap umur nyamuk tidak menunjukkan perbedaan yang nyata (*p* > 0.05) sebagaimana disajikan pada Tabel 3. Rataan umur nyamuk jantan parental iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy lebih pendek dibanding dengan kontrol. Namun, rentang hidup *Ae. aegypti* jantan pada F1 dan F2 tidak berbeda dengan kontrol.

Tabel 1. Rata-rata Fekunditas *Ae. aegypti* sebagai Respon terhadap Paparan Iradiasi Sinar Gamma Dosis 60 Gy & 70 Gy

Generasi	Dosis (Gy)	Fekunditas
P	0 (Kontrol)	86.22±0.17 ^A
	60	60.69±6.61 ^B
	70	43.74±12.56 ^C
F1	0 (Kontrol)	86.65±2.96 ^A
	60	85.16±3.06 ^A
	70	83.67±2.98 ^A
F2	0 (Kontrol)	87.82±0.03 ^A
	60	86.19±0.89 ^A
	70	85.27±2.38 ^A

Keterangan: Huruf superskrip yang sama pada setiap baris dari generasi yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada *p*<0,05.

Tabel 2 Rata-rata Daya Tetas Telur dan Kemunculan Nyamuk *Ae. aegypti* sebagai Respon terhadap Paparan Iradiasi Sinar Gamma Dosis 60 Gy & 70 Gy

Generasi	Dosis (Gy)	Daya tetas	Kemunculan nyamuk
F1	0 (Kontrol)	90.49±0.22 ^a	91.09±3.53 ^a
	60	6.89±0.68 ^b	62.40±5.42 ^b
	70	3.07±0.85 ^c	54.71±2.22 ^c
F2	0 (Kontrol)	93.88±0.75 ^a	90.63±1.63 ^a
	60	59.13±1.16 ^b	71.71±3.87 ^b
	70	48.80±2.63 ^c	68.45±8.11 ^b

Keterangan: Huruf superskrip yang sama pada setiap baris dari generasi yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada $p < 0,05$.

Tabel 3. Rata-rata Umur (hari) *Ae. aegypti* Jantan Iradiasi (n= 100) dalam Dua Generasi sebagai Respon terhadap Paparan Iradiasi Sinar Gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy

Doses (Gy)	P0 jantan	F1 jantan	F2 jantan
0 (kontrol)	21.15±1.48 ^a	20.95±1.41 ^a	21.85±0.77 ^a
60	15.27±1.19 ^b	21.72±1.26 ^a	20.71±1.62 ^a
70	14.91±0.86 ^b	20.41±0.96 ^a	20.97±1.69 ^a

Keterangan: Huruf superskrip yang sama pada setiap baris dari generasi yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada $p < 0,05$.

PEMBAHASAN

Penurunan fekunditas pada P(60) dan P(70) kemungkinan disebabkan oleh ketidakmampuan nyamuk jantan menghasilkan sperma (aspermia) atau sperma yang dihasilkan nonfungsional akibat paparan iradiasi sinar gamma. Iradiasi sinar gamma akan menyebabkan dampak, baik pada testis maupun sperma serangga. Pengamatan sitologi, pupa *Ae. aegypti* jantan iradiasi akan menyebabkan testis menjadi abnormal dan berukuran kecil serta produksi sperma yang berkurang.⁸ Hassan *et al.*⁹ juga melaporkan bahwa berdasarkan pengamatan histopatologi, testis nyamuk *Culex pipiens* yang diiradiasi sinar gamma mengalami perubahan. Perubahan tersebut, berupa: (a) pecahnya dinding testis yang diikuti dengan nekrosis dan degenerasi vakuola, (b)

distribusi abnormal dari spermatogonia dan spermatosit yang menyebabkan penurunan laju spermatogenesis, dan (c) perubahan bentuk sperma yang menghambat gerakan dan fertilitas sperma. Dampaknya yaitu terjadi penurunan fekunditas *Cx. pipiens* betina setelah dikawinkan dengan jantan iradiasi sinar gamma dosis 23 Gy, 41 Gy, 75 Gy, dan 128 Gy. Dosis 128 Gy menyebabkan nyamuk *Cx. pipiens* betina tidak meletakkan telur.

Tingginya fekunditas F1 dan F2 pada penelitian ini mengasumsikan bahwa paparan iradiasi sinar gamma pada pupa *Ae. aegypti* jantan parental tidak berdampak terhadap kemampuan bertelur nyamuk *Ae. aegypti* betina. Penelitian serupa oleh Shetty *et al.*⁶ juga melaporkan bahwa fekunditas *Ae. aegypti* pada F1 dan F2 tidak berbeda bila dibandingkan dengan kontrol.

Penurunan daya tetas telur *Ae. aegypti* pada penelitian ini menunjukkan bahwa sperma nyamuk jantan membawa sifat mutasi letal dominan sehingga embrio yang terbentuk tidak dapat bertahan.¹⁰ Penelitian serupa yang dilakukan oleh Hassan *et al.*⁹ bahwa terjadi penurunan daya tetas telur hasil perkawinan nyamuk *Cx. pipiens* betina normal dengan nyamuk jantan iradiasi. Hasil penelitian tersebut melaporkan bahwa pada dosis 23 Gy, 41 Gy, 74 Gy kemampuan daya tetas telur *Cx. pipiens* menjadi 72,6%, 51,5%, dan 23% bila dibandingkan dengan kontrol yaitu 94%. Setiyaningsih,¹¹ juga melaporkan bahwa dosis 70 Gy menyebabkan semua telur dari hasil perkawinan nyamuk *Cx. quinquefasciatus* jantan iradiasi dengan nyamuk betina normal tidak menetas. Hal ini diakibatkan karena pembuahan oleh sperma tidak normal sehingga menghasilkan telur steril.¹¹ Sperma tidak normal pada nyamuk akan menghasilkan nyamuk jantan steril, namun tetap berperilaku normal saat kawin dan dapat menyebabkan kemandulan nyamuk betina seumur hidupnya.¹²

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa daya tetas telur pada F2(60), F2(70), dan kontrol berbeda nyata ($p < 0.05$). Pengamatan pada tingkat sitologi, sterilitas atau kemandulan adalah hasil dari fragmentasi kromosom (mutasi letal dominan, translokasi, dan penyimpangan kromosom). Hal ini menyebabkan produksi gamet yang tidak seimbang, dan selanjutnya menghambat mitosis dan kematian embrio yang telah dibuahi.¹³ Nguyen Thi dan Nguyen Thanh,¹⁴ membuktikan bahwa penyimpangan kromosom adalah penyebab utama kemandulan yang diwariskan pada ngengat kubis (*Plutella xylostella*).

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa kemunculan nyamuk pada F1(60), F1(70), dan kontrol berbeda nyata ($p < 0.05$). Kematian pada tahap larva, pupa dan dewasa dapat terjadi karena penyimpangan struktural kromosom akibat hilangnya kromosom atau bagian kromosom. Sehingga individu yang terbentuk tidak mampu berkembang dewasa.¹³ Hassan, *et al* melaporkan bahwa iradiasi sinar gamma dosis 23 Gy, 41 Gy, 74 Gy and 128 Gy mempengaruhi kemunculan nyamuk *Cx. pipiens*.⁹ Penurunan keberhasilan menjadi serangga pada Diptera juga teramati

pada lalat buah persik (*Bactrocera zonata* Saunders).¹⁵

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa kemunculan nyamuk pada F2 (60) dan F2 (70) tidak berbeda tetapi bila dibandingkan dengan kontrol terdapat perbedaan. Penelitian ini menunjukkan bahwa dosis iradiasi sinar gamma yang dipaparkan pada pupa *Ae. aegypti* jantan parental mempengaruhi kemunculan nyamuk pada F1 dan F2. Ayvas,⁵ melaporkan bahwa dosis iradiasi sinar gamma memiliki pengaruh yang signifikan pada waktu sejak oviposisi sampai kemunculan serangga dewasa pada P, F1 dan F2 ngengat *Ephestia kuehniella*.

Dampak iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy terhadap umur nyamuk tidak menunjukkan perbedaan yang nyata ($p > 0.05$). Rataan umur nyamuk jantan parental iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy lebih pendek dibanding dengan kontrol. Hal ini dikarenakan dampak iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy. Dosis iradiasi sinar gamma yang tinggi menyebabkan kerusakan sel-sel somatik. Semakin banyak sel-sel yang rusak mengakibatkan terganggunya kebugaran dan umur nyamuk menjadi lebih pendek.¹⁶

Nyamuk *Cx. quinquefasciatus* jantan iradiasi sinar gamma pada stadium pupa menunjukkan adanya kecenderungan penurunan umur dengan bertambahnya dosis iradiasi sinar gamma bila dibandingkan dengan kontrol.¹¹

Rentang hidup *Ae. aegypti* jantan pada F1 dan F2 tidak berbeda dengan kontrol. Hal ini mengasumsikan bahwa kerusakan sel-sel somatik akibat paparan iradiasi sinar gamma tidak diwariskan ke nyamuk jantan keturunannya.

KESIMPULAN

Iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy berdampak pada fekunditas, daya tetas telur, kemunculan nyamuk, dan umur nyamuk. Penurunan fekunditas dan umur nyamuk teramati secara signifikan pada parental (P). Adapun penurunan daya tetas telur, dan kemunculan nyamuk pada F2 tidak menunjukkan penurunan yang signifikan bila dibandingkan dengan F1.

SARAN

Iradiasi sinar gamma dosis 60 Gy dan 70 Gy pada parental *Ae. aegypti* menurunkan daya tetas telur *Ae. aegypti* F2, sehingga penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas sperma parental *Ae. aegypti* iradiasi, F1, F2 dan dibandingkan dengan kontrol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Rasa hormat dan terimakasih disampaikan kepada kantor Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), BATAN, Jakarta Selatan atas kesempatan yang diberikan untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kementerian Kesehatan [Kemenkes]. Situasi Terkini Perkembangan Program Pengendalian Malaria di Indonesia. Jakarta: Kementerian Kesehatan Press; 2016.
2. Hadi UK. Pentingnya pemahaman bioekologi vektor demam berdarah dengue dan tantangan dalam upaya pengendaliannya. 2016, Orasi Ilmiah Guru besar IPB, Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
3. Seran MD & Prasetyowati H. Transmisi ransovarial virus dengue pada telur nyamuk *Aedes aegypti* (L.). *Aspirator*. 2012; 4(2): 53-58.
4. Pradani FY, Ipa M, Marina R, Yuliasih Y. Status resistensi *Aedes aegypti* dengan metode susceptibility di kota Cimahi terhadap cypermethrin. *Journal Aspirator*. 2011; 3(1): 18-24.
5. Ayzav A, Albayrak S, Tunc-bilek SA. Inherited sterility in Mediterranean flour moth *Ephesia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae): Effect of gamma radiation on insect fecundity, fertility and developmental period. *Journal of Stored Products Research*. 2007; 43:234-239.
6. Shetty V, Shetty NJ, Harini PB, Ananthanarayana RS, Jha KS, Chaubey CR. Effect of gamma radiation on life history traits of *Aedes aegypti* (L.). *Parasite Epidemiology and Control*. 2016; 1:26-35.
7. Ernawan B, Tambunan USF, Sugoro I, Sasmita HI. Effects of Gamma Irradiation Dose-Rate on Sterile Male *Aedes aegypti*. 2017. *American Institute of Physics*. 1854, 020010.doi.org/10.1063/1.4985401
8. Asman MS, Rai KS. Development effect of ionizing radiation in *Aedes aegypti*, *Journal Medical Entomology*, 1972; 9(5) 468-478.
9. Hassan MI, Amer MS, Hammad KM, Gabarty A, Selim TA. Latent effect of gamma irradiation on reproductive potential and ultrastructure of males testes of *Culex pipiens* (Diptera; Culicidae). *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2016; 3: 1-9.
10. Nurhayati S, Yuniato B, Ramadhani T, Ikawati B, Santoso B, Rahayu A.. Controlling *Aedes aegypti* population as DHF vector with radiation based sterile insect technique in Banjarnegara regency, Central Java. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*. 2013; 14(1):01-10.
11. Setyaningsih R, Widiarti, Heriyanto B. Pengaruh radiasi sinar gamma Co-60 terhadap sterilitas dan perkembangan embrio *Culex quinquefasciatus*. *Media Litbangkes*. 2014; 25(10): 1-8
12. Wilke ABB, Nimmo DD, John OS, Kojin BB, Capurro ML, Marrelli MT. Mini-review: Genetic enhancements to the sterile insect technique to control mosquito populations. *AsPac J. Mol. Biol. Biotechnol*. 2009; 17 (3) : 65-74.
13. Robinson AS. Mutations and their use in insect control. *Mutation Research*. 2002; 511: 113-132.
14. Nguyen TQH, Nguyen TTT. Radiation-induced F1 sterility in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): potential for population suppression in the field. *Florida Entomologist*. 2001; 84:199-208.
15. Mahmoud MF, Barta M. Effect of gamma radiation on the male sterility and other quality parameters of peach fruit fly, *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera: Tephritidae), *hort. Sci. (Prague)*. 2011; 38(2): 54-62
16. Calkins CO, Parker AG. 2005. Sterile insect quality. In: Dyck VA and Robinson AS (Eds.). *Sterile Insect Technique Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. The Netherlands: Springer, Dordrecht.