

Pengaruh Variasi Kepadatan Pupa *Aedes aegypti* Jantan dalam Media Radiasi Sinar Gamma 70 Gy terhadap Tingkat Kemunculan Dewasa

Ria Candra Dirgantara^{*)}, Lintang Dian Saraswati^{**)}, Martini^{**)}

^{*)}Mahasiswa Peminatan Entomologi Kesehatan FKM UNDIP

^{**)}Dosen Bagian Epidemiologi dan Penyakit Tropik FKM UNDIP
e-mail : riacandraa@gmail.com

ABSTRACT

Irradiation is one of the main activities in SIT. Currently, it's needed a method for producing a male sterile by male pupae irradiation in large quantities and produce sterile adult in high emergence. This study was aimed to analyze the influence of density variations of Aedes aegypti male pupae in gamma ray radiation media of 70 Gy to the rate of adult emergence. This type of research is experimental design with post test only control group. The sample was used in this study as many as 5,400 male pupae. The method was used by irradiated male pupae with different densities of each tube vial (d=2 cm), ie 60, 120, 180, 240 and 300, each of density had 5 repetitions and control (not irradiated). After irradiation, it was observed adult emergence rate. The results showed that an increase in the density of irradiated pupae inversely proportional to the adult emergence rate. Based on the results of ANOVA test with $p=0,01$, there was influence between the density of irradiated pupae to adult emergence rate. Based on the results of Tukey's test with $p=0,01$ indicated that adult emergence best rate was in the density of 120 individuals. Based on these findings, irradiation should be done with pupae density was 120 individuals.

Keyword : Density of pupae, SIT, radiation, adult emergence rate.

Bibliography : 55, 1925 - 2014

PENDAHULUAN

Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus *dengue*.^{1,2} Penyakit yang ditularkan melalui gigitan nyamuk ini perlu mendapat perhatian serius karena masih menjadi masalah kesehatan baik di dunia maupun di Indonesia. Kejadian Luar Biasa (KLB) juga masih sering terjadi di beberapa daerah.³ Beberapa vektor penyakit DBD, seperti *Aedes albopictus*, *Aedes polynesisensis*, *Aedes scutellaris* dan *Aedes niveus* ikut berperan pada saat KLB.^{4,5} Di Indonesia, dikenal ada 3 jenis nyamuk *Aedes* yang dapat menularkan

penyakit DBD yaitu *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* dan *Aedes scutellaris*. Dari ketiga spesies tersebut, *Aedes aegypti* adalah nyamuk yang paling berperan dalam penularan penyakit tersebut.⁵

Pengendalian vektor penyakit DBD terus dilakukan, mengingat belum tersedianya vaksin untuk pencegahan penyakit tersebut.⁶ Pemberantasan nyamuk *Aedes* sp. telah seringkali dilakukan, baik secara fisik atau lingkungan, kimiawi dan biologi, namun hasilnya masih belum maksimal.^{7,8} Salah satu indikator dalam pengendalian DBD

yaitu Angka Bebas Jentik (ABJ), secara nasional belum mencapai target $\geq 95\%$. Pada tahun 2013, ABJ di Indonesia sebesar 80,09%.⁹ Hal ini menunjukkan bahwa masih banyaknya populasi nyamuk yang ada. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menurunkan populasi nyamuk *Aedes aegypti* sampai batas tertentu sehingga tidak berpotensi menularkan penyakit.

Salah satu alternatif baru yang saat ini terus dikembangkan yaitu pengendalian vektor dengan radiasi atau disebut juga Teknik Serangga Mandul (TSM). Prinsip dasar TSM sangat sederhana adalah membunuh serangga dengan serangga itu sendiri (*autocidal technique*). Kelebihan dari TSM, antara lain yaitu potensial, ramah lingkungan, sangat efektif dengan sasaran spesies yang spesifik, efisien dan kompatibel dengan cara pengendalian lain.¹⁰ Teknik ini meliputi iradiasi terhadap koloni nyamuk vektor pada berbagai stadium dan kemudian secara periodik dilepas ke lapangan sehingga tingkat kebolehan perkawinan antara serangga mandul dan serangga fertil menjadi makin besar dari generasi pertama ke generasi berikutnya. Hal ini berakibat makin menurunnya persentase fertilitas populasi serangga di lapangan yang secara teoritis terjadi pada generasi ke-4 atau ke-5 yaitu titik terendah dimana populasi serangga menjadi nol dan sebagai parameter penurunan populasi adalah kemandulan telur. Gejala kemandulan akibat radiasi pada nyamuk jantan disebabkan karena terjadinya aspermia, inaktivasi sperma, kerusakan inti sel dan ketidakmampuan kawin.¹¹

Aplikasi TSM pada nyamuk telah berhasil dilakukan pada *Anopheles gambiae* di Brazil, *Aedes aegypti* di Amerika dan Kuba.¹² Sementara di Indonesia, TSM telah diterapkan di beberapa daerah, antara lain Salatiga, Semarang, Banjarnegara dan Bangka Barat dimana daerah tersebut termasuk endemis DBD.¹²⁻¹⁵ Kemampuan TSM telah mampu menekan populasi nyamuk cukup tinggi, di Salatiga rata-rata mencapai 84,62%, Banjarnegara 79,58% dan Bangka Barat 53,03%.¹⁶ TSM di Indonesia

mendapat respon positif karena terbukti telah berhasil menurunkan populasi nyamuk sehingga virus *dengue* di beberapa daerah percobaan menghilang dan kasus DBD menurun. Hal tersebut mengakibatkan adanya permintaan penggunaan TSM di beberapa daerah lain yang juga endemis DBD dan mempengaruhi produksi jantan mandul lebih banyak lagi.

Di Indonesia, belum pernah dilakukan penelitian mengenai banyaknya pupa jantan yang diradiasi dalam suatu media. Pada percobaan dosis sebelumnya, mencatat bahwa pupa yang diletakkan pada kapas di dalam cawan petri selama satu jam memiliki kemampuan berubah menjadi dewasa dengan persentase 89,84% (prapenelitian) dan 99,33% saat penelitian.¹⁷ Kepadatan pupa dalam media radiasi perlu diteliti untuk mengetahui batasan jumlah pupa yang dianjurkan untuk menghasilkan tingkat tingkat kemunculan dewasa yang tinggi sehingga TSM efektif dan efisien dilakukan.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental laboratorium, dengan desain penelitian *posttest only with control group*. Populasi dalam penelitian ini adalah semua pupa nyamuk *Aedes aegypti* Laboratorium Pemeliharaan Nyamuk, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Jumlah perlakuan pada penelitian ini adalah 5 (dengan kepadatan pupa dalam tabung vial 60, 120, 180, 240 dan 300 ekor), kemudian terdapat 5 kontrol dan 5 pengulangan sehingga diperlukan 5.400 pupa *Aedes aegypti* jantan. Untuk perlakuan pada pupa, dilakukan dengan mengiradiasi pupa jantan dalam tabung vial berdiameter 2 cm dengan kepadatan yang berbeda-beda, kemudian dihitung tingkat kemunculan dewasa. Sementara untuk kontrol, pupa jantan tidak diiradiasi.

Pengumpulan data primer dilakukan dengan pengamatan dan perhitungan tingkat kemunculan dewasa, jumlah telur yang dihasilkan dan tingkat sterilitas telur.

Jumlah telur dihitung secara visual menggunakan *loupedancounter taly*. Perhitungan tingkat kemunculan dewasa adalah sebagai berikut:

$$\text{Tingkat Kemunculan Dewasa (\%)} = \frac{\text{Jumlahnyamuk dewasa yang muncul}}{\text{Jumlahpupa yang diiradiasi}} \times 100\%$$

HASIL PENELITIAN

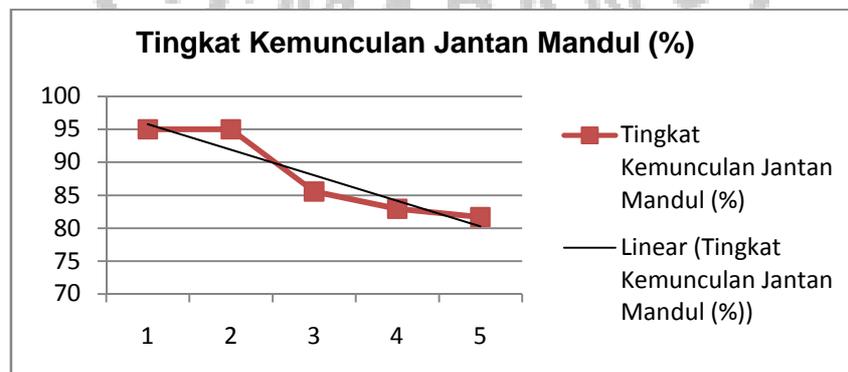
Tingkat Kemunculan Dewasa

Tabel 1. Tingkat Kemunculan Nyamuk *Aedes aegypti* Jantan Setelah Iradiasi Sinar Gamma 70 Gy pada Stadium Pupa

Perlakuan	N	Jumlah Nyamuk Jantan Dewasa yang Muncul	Kemunculan Nyamuk Jantan Dewasa (%)	
I	Rerata	60	57	95,00
	Kontrol	60	58	96,67
II	Rerata	120	114	95,00
	Kontrol	120	117	97,50
III	Rerata	180	154	85,55
	Kontrol	180	172	95,56
IV	Rerata	240	199	82,91
	Kontrol	240	217	90,42
V	Rerata	300	245	81,67
	Kontrol	300	277	92,33

Berdasarkan tabel 1, rata-rata persentase nyamuk dewasa *Aedes aegypti* jantan yang muncul dari iradiasi pupa dengan sinar gamma 70 Gy pada perlakuan I, II, III, IV dan V berturut-turut adalah 95%, 95%, 85.55%, 82.91% dan 81.67%.

Sementara pada kontrol, rata-rata persentase nyamuk jantan dewasa fertil yang muncul pada perlakuan I, II, III, IV dan V berturut-turut adalah 96.67%, 97.5%, 95.56%, 90.42% dan 92.33%.



Gambar 1. Grafik Tingkat Kemunculan Jantan Mandul

Gambar 1 menunjukkan grafik dimana sumbu x horizontal menunjukkan perlakuan pada penelitian dan sumbu y vertikal menunjukkan tingkat kemunculan jantan mandul. Rerata tingkat kemunculan jantan mandul setelah iradiasi pupa

nyamuk *Aedes aegypti* jantan pada perlakuan I, II, III, IV dan V menurun. Hal ini berarti bahwa semakin banyaknya pupa dalam tabung vial radiasi maka semakin rendah persentase nyamuk jantan mandul yang muncul.

Tabel 21. Analisis Post Hoc Perbedaan Kepadatan Pupa Nyamuk *Aedes aegypti* Jantan yang Diiradiasi Terhadap Tingkat Kemunculan Dewasa

Perlakuan	N	Mean (Standart Error)
V	300	81,602±1,79851 ^b
IV	240	82,75±2,07642 ^b
III	180	85,668±1,98346 ^{ab}
I	60	94,666±1,61603 ^a
II	120	94,832±1,0997 ^a

Keterangan: Angka dalam baris yang diikuti huruf sama pada satu kolom tidak berbeda nyata menurut uji Tukey ($p < 0,01$)

Hasil uji ANOVA sebelumnya, menunjukkan bahwa paling sedikit terdapat dua kelompok perlakuan berbeda yang mempunyai pengaruh terhadap tingkat kemunculan nyamuk dewasa. Berdasarkan tabel 2, hasil pengujian data lanjutan didapatkan adanya perbedaan tingkat kemunculan nyamuk *Aedes aegypti* jantan mandul yang bermakna antara perlakuan I dan IV, I dan V, II dan IV serta II dan V. Sedangkan antara perlakuan yang lain menunjukkan adanya perbedaan yang tidak signifikan dalam tingkat kemunculan nyamuk jantan mandul. Kepadatan yang paling efektif yang menghasilkan tingkat kemunculan dewasa paling baik yaitu perlakuan II dengan kepadatan 120 ekor signifikan dengan pengamatan kepadatan perlakuan IV dengan kepadatan 240 ekor dan perlakuan V dengan kepadatan 300 ekor.

PEMBAHASAN

Pengaruh Kepadatan Pupa Nyamuk *Aedes aegypti* Jantan yang Diiradiasi Terhadap Tingkat Kemunculan Dewasa

Pemandulan nyamuk jantan dengan radiasi sinar gamma lebih mudah dilakukan pada fase pupa dibandingkan dengan fase dewasa. Hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara tingkat sterilitas telur yang dihasilkan dari nyamuk jantan yang diiradiasi pada fase pupa dan

dewasa dengan dosis yang sama. Kualitas nyamuk *Aedes aegypti* jantan yang telah dimandulkan dengan radiasi sinar gamma dapat diukur dengan mengamati tingkat kemunculan nyamuk dewasa. Tingkat kemunculan tersebut ditentukan dengan persentase jumlah nyamuk dewasa yang muncul dari pupa yang telah diiradiasi dengan dosis tertentu. Nilai persentase kemunculan nyamuk dewasa dianggap penting pada radiasi pupa nyamuk. Pupa nyamuk yang diiradiasi harus dapat berubah menjadi nyamuk dewasa dalam 1-2 hari.¹⁷

Persentase kemunculan nyamuk dewasa dari pupa yang diiradiasi menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari pada kontrol. Hal ini dipengaruhi iradiasi pada kelompok perlakuan yang dapat merusak sel. Pada penelitian sebelumnya, iradiasi sinar gamma dengan dosis 40 Gy terhadap pupa nyamuk *Aedes aegypti* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap tingkat kemunculan dewasa. Rata-rata kemunculan dewasa yaitu 90% atau lebih, sementara pada kontrol yaitu 95%. Pada dosis yang lebih tinggi (100-250 Gy) tingkat munculnya menurun secara signifikan. Hasil yang diperoleh sama dengan iradiasi pupa jantan *Aedes polynesiensis* dosis 40 Gy, tidak ada pengaruh terhadap kemunculan dewasa. Sensitivitas kematian pupa nyamuk *Aedes aegypti* terhadap iradiasi sinar

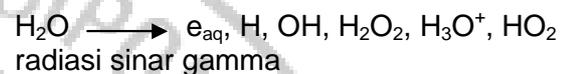
gamma 70 Gy berkisar 10-20%. Hal ini menunjukkan bahwa radiasi memiliki dampak dalam setiap tahap perkembangan siklus hidup nyamuk *Aedes aegypti*. Radiasi memiliki efek pada kematian pupa yang mengakibatkan dewasa tidak muncul, tergantung pada kepadatan, pasokan makanan dan temperatur.¹⁸

Pada perlakuan diketahui bahwa semakin banyaknya pupa dalam tabung vial yang diiradiasi maka semakin rendah persentase nyamuk dewasa yang muncul. Kepadatan yang paling efektif yang menghasilkan tingkat kemunculan dewasa paling baik yaitu perlakuan II dengan kepadatan 120 ekor. Hal ini berbeda dengan iradiasi pupa yang dilakukan di dalam cawan petri dengan menggunakan kapas basah yang ditutupi dengan kertas saring. Pupa diletakkan sejajar atau rata dengan permukaan dasar cawan petri (tidak menumpuk). Percobaan prapenelitian mencatat bahwa pupa yang diletakkan pada kapas di dalam cawan petri selama satu jam memiliki kemampuan berubah menjadi dewasa dengan persentase 89,84%. Percobaan penelitian mencatat persentase kemunculan dewasa hasil iradiasi pupa sebesar 99,33%.¹⁷

Pada umumnya, tahap awal spermatogenesis (spermatisit dan spermatogonium) lebih sensitif terhadap radiasi dibanding dengan tahap-tahap selanjutnya (spermatid dan spermatozoa) dalam hal kerusakan ireversibel dan kematian perkembangan sel.¹⁹⁻²¹ Paparan iradiasi menyebabkan mutasi letal dominan pada tahap spermatozoa dan mengakibatkan kematian embrio setelah pembuahan.²¹⁻²³ Iradiasi juga merusak sel-sel somatik dan yang paling sensitif terhadap iradiasi tersebut adalah sel yang mengalami mitosis. Kerusakan somatik pada umumnya dapat mengurangi umur (keberlangsungan hidup).²⁰ Perlakuan iradiasi pada serangga sebaiknya dilakukan pada fase akhir pembelahan, yaitu fase dewasa dan pupa akhir. Perlakuan iradiasi pada fase tersebut menyebabkan kerusakan sel tubuh yang lebih sedikit dari pada perlakuan iradiasi

pada fase telur, larva dan pupa. Namun, karena umur pupa jantan pada penelitian ini tidak diketahui akibatnya terdapat beberapa kondisi pupa rusak akibat iradiasi.²⁴

Air merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kemunculan nyamuk jantan mandul. Adapun energi radiasi yang diabsorpsi oleh air akan menimbulkan terjadinya proses ionisasi dan eksitasi pada molekul air sehingga terbentuk produk radiolisis air dengan reaksi kimia berikut:²⁵



Iradiasi dengan radiasi pengion dapat menyebabkan terjadinya ionisasi (pelepasan sebuah elektron), disosiasi (pelepasan suatu atom hidrogen) atau eksitasi (perpindahan elektron dari lintasan dalam ke lintasan luar).²⁵ Efek yang ditimbulkan pada mikroorganisme dapat berupa efek langsung dan tidak langsung. Hal ini juga terjadi pada organisme yang diteliti yaitu nyamuk *Aedes aegypti* jantan yang dimandulkan karena pupa yang diiradiasi berada dalam keadaan basah oleh air dan di dalam tubuhnya juga mengandung air. Efek langsung terjadi apabila radiasi pengion mengenai atom yang terdapat pada molekul DNA maupun komponen-komponen penting lain sehingga menyebabkan terputusnya ikatan rantai pada DNA dan mempengaruhi kemampuan sel untuk bereproduksi dan bertahan, sedangkan efek tidak langsung terjadi apabila radiasi mengenai molekul air yang merupakan komponen utama dalam sel sehingga terjadi proses radiolisis pada molekul air dan terbentuk radikal bebas.²⁶ Radikal bebas yang terbentuk tersebut memiliki sifat yang sangat reaktif sehingga dapat menyebabkan proses oksidasi, reduksi serta pemecahan ikatan C-C pada molekul-molekul lain termasuk DNA pada sel.²⁵

Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kerusakan sel akibat iradiasi, antara lain yaitu ukuran

dan susunan struktur DNA pada sel, senyawa yang terkait dengan DNA pada sel, keberadaan oksigen selama proses iradiasi (oksigen dapat meningkatkan efek letal pada organisme sehingga pada kondisi anaerob, iradiasi dapat dilakukan dengan nilai dosis yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi aerob), kandungan air, suhu, komposisi media dan kondisi pasca iradiasi.²⁷ Selain itu, perubahan senyawa kimia yang terjadi akibat radiasi akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya dosis radiasi yang digunakan. Perubahan tersebut juga sangat bergantung pada komposisi bahan yang diradiasi. Radiasi akan memecah ikatan kimia pada DNA dari mikroba atau serangga kontaminan sehingga organisme kontaminan tidak mampu memperbaiki DNA yang rusak dan pertumbuhannya akan terhambat. Namun, organisme juga dapat memperbaiki diri setelah iradiasi saat berada pada kondisi lingkungan, seperti suhu, pH, nutrisi dan inhibitor yang sesuai.²⁵

Kadar oksigen mempengaruhi sensitivitas serangga radiasi. Kerusakan yang disebabkan oleh radiasi biasanya lebih sedikit dalam lingkungan dengan kadar oksigen yang lebih rendah (hipoksia).¹⁹ Sementara pada dasarnya pupa banyak memasukkan air untuk mengembangkan abdomennya dan membutuhkan oksigen. Pada umumnya, pupa akan naik ke permukaan air, kemudian muncul retakan pada bagian belakang permukaan pupa dan nyamuk dewasa akan keluar dari cangkang pupa. Namun, pada penelitian ini iradiasi dilakukan dengan tidak mengurangi kadar oksigen terlebih dahulu di sisi lain pupa juga membutuhkan oksigen. Keberadaan pupa yang padat dan menumpuk dalam satu tabung vial juga mengakibatkan pupa yang berada di dasar tabung tersebut kekurangan oksigen sehingga lemas dan tidak dapat bertahan hidup sehingga mengakibatkan beberapa pupa tidak dapat muncul menjadi dewasa.

KESIMPULAN

1. Rata-rata persentase nyamuk dewasa *Aedes aegypti* jantan yang muncul

setelah iradiasi pupa dengan sinar gamma 70 Gy pada perlakuan I, II, III, IV dan V berturut-turut adalah 95%, 95%, 85,55%, 82,91% dan 81,67%. Sementara pada kontrol, rata-rata persentase kemunculan dewasa pada perlakuan I, II, III, IV dan V berturut-turut adalah 96,67%, 97,5%, 95,56%, 90,42% dan 92,33%.

2. Semakin banyak jumlah pupa yang terdapat dalam tabung vial radiasi, maka semakin rendah tingkat kemunculan dewasa.
3. Adanya perbedaan tingkat kemunculan nyamuk *Aedes aegypti* jantan mandul yang bermakna antara kepadatan perlakuan I (60 ekor) dan IV (240 ekor), I (60 ekor) dan V (300 ekor), II (120 ekor) dan IV (240 ekor) serta II (120 ekor) dan V (300 ekor). Sedangkan antara perlakuan yang lain menunjukkan adanya perbedaan yang tidak signifikan.
4. Tingkat kemunculan dewasa setelah iradiasi yang paling baik pada perlakuan II dengan kepadatan 120 ekor.

SARAN

1. Bagi pengelola program BATAN, disarankan untuk melakukan iradiasi pupa nyamuk *Aedes aegypti* jantan dengan kepadatan 120 ekor dalam vial berdiameter 2 cm dan evaluasi teknik iradiasi untuk meningkatkan nilai kemunculan dewasa.
2. Bagi peneliti, disarankan untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut terkait dengan teknik untuk mengiradiasi pupa nyamuk *Aedes aegypti* jantan dalam jumlah banyak yang efektif dan efisien supaya dapat menghasilkan nilai kemunculan dewasa yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kemenkes RI. Buku Saku: Pengendalian Demm Berdarah Dengue untuk Pengelola Program DBD Puskesmas. Jakarta; 2013.
2. WHO. Guidelines for Treatment of Dengue Fever/Dengue Haemorrhagic Fever in Small Hospitals. New Delhi;

- 1999.
3. Sunaryo. Pramestuti N. Surveilans *Aedes aegypti* di Daerah Endemis Demam Berdarah Dengue. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*. 2013;8(8):423–429.
4. WHO. *Dengue: Guidelines for Diagnosis, Treatment, Prevention and Control*. Geneva;2009.
5. Kemenkes RI. *Modul Pengendalian Demam Berdarah Dengue*. Jakarta;2011.
6. Chin J. *Manual Pemberantasan Penyakit Menular*. Jakarta;2000.
7. WHO. *Comprehensive Guidelines for Prevention and Control of Dengue and Dengue Haemorrhagic Fever*. New Delhi;2011.
8. Nurhayati S, Santoso B, Rahayu A. Pengendalian Populasi Nyamuk *Aedes aegypti* dan *Anopheles sp* Sebagai Vektor Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Malaria Dengan Teknik Serangga Mandul (TSM). *Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan*. Jakarta;2010;163–171.
9. Kemenkes RI. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2013*. Jakarta; 2014.
10. Nurhayati S. Prospek Pemanfaatan Radiasi Dalam Pengendalian Vektor Penyakit Demam Berdarah Dengue. *Buletin Alara*. 2005;7(1-2):17–23.
11. O'brient R.D, Wolf L.S. *Radiation, Radioactivity and Insects*. New York-London;1976.
12. Setyaningsih R, Agustini M, Heriyanto B, Santoso B. Pengaruh Aplikasi Teknik Serangga Mandul (TSM) Terhadap Sterilitas Telur dan Penurunan Populasi Vektor Demam Berdarah *Aedes aegypti* di Daerah Sub Urban Endemis DBD di Salatiga. *Media Litbangkes*. 2014;24(1):1–9.
13. Setyaningsih R, Agustini M, Boewono D.T, Rahayu A. Aplikasi Teknik Serangga Mandul (TSM) Terhadap Sterilitas Telur Dan Penurunan Populasi *Aedes aegypti* di Daerah Urban Kota Salatiga. *Buletin Penelitian Kesehatan*. 2014;42(1):15–24.
14. Nurhayati S, Yuniyanto 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, Indonesia. 2013;14(1):1-10.
15. Puspitasari D. Survei Pertumbuhan Populasi Nyamuk *Aedes aegypti* dengan Penggunaan Teknik Serangga Mandul (TSM) di Kelurahan Ngaliyan Semarang. Semarang;2014.
16. Syafputri F. *Teknik Serangga Mandul Ampuh Berantas Nyamuk DBD*. 2012.
17. Sasmita HI, Ernawan B. Kualitas Nyamuk Jantan Mandul *Aedes aegypti* L. Hasil Iradiasi Gamma: Efek Iradiasi Pada Fase Pupa dan Dewasa. *Jurnal Ilmiah aplikasi Isotop dan Radiasi*. 2014;10(2):149–158.
18. Akter H, Khan SA. Sensitivity of Immature Stages of Dengue Causing Mosquito, *Aedes aegypti* (L.) to Gamma Radiation. *Journal of entomology*. 2014;11(2):56-67.
19. Bakri A, Mehta K, Lance DR. *Sterilizing Insects With Ionizing Radiation*. 2005.
20. Proverbs MD. *Induced sterilization and control of insects*. *Annu Rev Entomol* [Internet]. 1969 Jan [cited 2015 Dec 7];14:81–102. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4882184>
21. Anwar M, Chambers DL, Ohinata K, Kobayashi RM. Radiation-Sterilization of the Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) : Comparison of Spermatogenesis in Flies Treated as Pupae or Adults,. *Ann Entomol Soc Am* [Internet]. The Oxford University Press; 1971;64(3):627–633. Available from: <http://aesa.oxfordjournals.org/content/64/3/627.abstract>
22. Lecis AR, Figus V, Santarini C. Radiosensitivity curve of different stages of spermatogenesis of *Anopheles atroparvus* (Diptera:Nematocera). *Parassitologia* [Internet]. Jan [cited 2015 Dec 8];17(1-3):145–150. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1>

- 233398
23. Sobels FH. A study of the causes underlying the differences in radiosensitivity between mature spermatozoa and late spermatids in drosophila. *Mutat Res Mol Mech Mutagen* [Internet]. 1969 Jul [cited 2015 Dec 8];8(1):111–25. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0027510769901468>
 24. Helinski, Michelle EH, Parker AG, Knols, Bart GJ. Radiation biology of mosquitoes. *Malaria Journal*. 2009;8:1–13.
 25. Zainuddin. Crosslinking dan degradasi polietilen oksida dalam larutan air dengan radiasi sinar gamma. Jakarta;1996.
 26. Fan X, Sommers CH, editors. *Food Irradiation Research and Technology* [Internet]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2012 [cited 2015 Oct 18]. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118422557>
 27. Aquino K. Sterilization by Gamma Irradiation. Dalam Feriz (ed). *Gamma Radiation*. In Tech. 2012.

