

Kualitas Nyamuk Jantan Mandul *Aedes aegypti* L. Hasil Iradiasi Gamma: Efek Iradiasi Pada Fase Pupa dan Dewasa

Quality of Gamma-Sterilized Male of Aedes aegypti L.: The Effect of Irradiating on Pupal and Adult Stage

Hadian Iman Sasmita dan Beni Ernawan

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN
Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12440

Email : hisasmita@batan.go.id

Diterima 04-09-2014; Diterima dengan revisi 15-09-2014; Disetujui 22-10-2014

ABSTRAK

Kualitas Nyamuk Jantan Mandul *Aedes aegypti* L. Hasil Iradiasi Gamma: Efek Iradiasi Pada Fase Pupa dan Dewasa. Pemandulan nyamuk dengan radiasi sinar gamma lebih mudah dilakukan pada fase pupa dibandingkan dengan fase dewasa. Di sisi lain, diduga iradiasi pada fase pupa akan membuat nyamuk jantan mandul menjadi tidak kompetitif terhadap jantan di alam. Penelitian tentang fase hidup yang tepat untuk memandulkan nyamuk telah dilakukan pada genus *Anopheles*, tetapi belum pernah ada penelitian serupa pada jenis *Aedes aegypti*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas dan daya saing kawin jantan mandul yang diiradiasi pada fase pupa dan dewasa, untuk kemudian dipilih fase terbaik dalam memandulkan. Penelitian dilakukan pada dua fase hidup nyamuk, pupa dan dewasa. Baik pupa dan dewasa masing-masing diiradiasi dengan dosis 0 (kontrol), 20, 40, 60, 80 dan 100 Gy. Semua perlakuan menggunakan 3 kali ulangan. Parameter penelitian yang diukur untuk menentukan kualitas nyamuk jantan yang telah diiradiasi dengan sinar gamma adalah umur nyamuk, tingkat sterilitas, nilai daya saing kawin dan persentase kemunculan nyamuk dewasa. Umur nyamuk ditentukan dengan mencatat kematian nyamuk harian. Tingkat sterilitas ditentukan dengan persentase jumlah telur yang tidak menetas. Nilai daya saing kawin ditentukan dengan *Fried index*. Persentase kemunculan nyamuk dewasa diperoleh dari banyaknya jumlah pupa yang berhasil muncul sebagai dewasa dibagi dengan jumlah awal pupa yang diperlakukan. Umur nyamuk jantan yang diiradiasi pada fase pupa dan dewasa tidak memiliki perbedaan yang nyata ($p \leq 0.05$), demikian juga dengan tingkat sterilitas, nilai daya saing kawin dan persentase kemunculan nyamuk dewasa jika dibandingkan pada dosis yang sama. Maka dari itu, dengan penanganan proses radiasi yang lebih mudah, metode pemandulan nyamuk jantan pada fase pupa dapat digunakan sebagai salah satu prosedur aplikasi Teknik Serangga Mandul untuk menekan populasi nyamuk *Ae. aegypti*.

Kata kunci : Teknik serangga mandul, daya saing kawin, sterilitas, *Fried index*, *Aedes aegypti*

ABSTRACT

Quality of Gamma-Sterilized Male of *Aedes aegypti* L.: The Effect of Irradiating on Pupal and Adult Stage. In order to produce a large number of sterile male, pupal irradiation is easier to perform instead of adult. On the other hand, there is a concern that pupal irradiation would produce less competitive sterile male. However, no data have previously been collected on the quality and competitiveness of *Aedes aegypti* sterile males. The effect of gamma irradiation for pupal and adult stages have been studied on Anopheline mosquitoes, but yet not performed on *Ae. aegypti*. The objective of this study was to compare the quality and competitiveness of sterile males exposed by gamma-rays radiation at pupal and adult stage, then select the most convenient and effective method among the two. Two life stages of mosquito (pupal and adult) were used in this study. Either pupae or adults were

irradiated at the doses of 0 (control), 20, 40, 60, 80 and 100 Gy, using 3 replications. The parameters that were measured to determine the quality of males that have been sterilized are longevity, sterility level, mating competitiveness and percentage of emergence. Longevity was determined by daily observations on the death bodies. The level of sterility was determined by the percentage of unhatched eggs. Mating competitiveness was determined by *Fried index*. Irradiation pupae, for all doses tested, significantly ($p \leq 0.05$) had no effect on the longevity, sterility level, mating competitiveness and adult emergence. To sum up, pupal irradiation in context to release more sterile males in the field area is appropriate to be applied.

Keywords : Sterile insect technique, mating competitiveness, sterility, *Fried index*, *Aedes aegypti*

PENDAHULUAN

Pengendalian populasi nyamuk dengan pendekatan TSM tidak selalu berhasil dan tidak juga selalu gagal. Salah satu penyebab kegagalan TSM mengendalikan populasi nyamuk adalah jantan mandul yang dilepas mempunyai kualitas yang kurang baik jika bersaing dengan jantan alam di area pelepasan [1,2]. Penurunan kualitas dan daya saing jantan mandul karena perlakuan iradiasi sinar gamma dapat diatasi dengan melepas jantan mandul dalam jumlah yang lebih banyak dari populasi nyamuk jantan di lokasi pelepasan [3]. Oleh karena itu, produksi jantan mandul dalam jumlah banyak harus dilakukan dengan cara yang paling mudah dan efektif. Pemandulan nyamuk dengan radiasi sinar gamma lebih mudah dilakukan pada fase pupa dibandingkan dengan fase dewasa [4].

Di Indonesia, pendekatan TSM untuk menurunkan populasi nyamuk *Ae. aegypti* telah dilakukan di dua kota, Kabupaten Banjarnegara dan Kota Salatiga. Hasil pelepasan jantan mandul di Kab. Banjarnegara menunjukkan rata-rata nilai sterilitas sebesar 79.16% [5]. Sedangkan hasil pelepasan jantan mandul di dua lokasi (sub-urban dan urban) di Kota Salatiga menunjukkan tingkat sterilitas sebesar 96.06% dan 94.05% di akhir pelepasan [6,7]. Jantan mandul yang dilepas pada aplikasi TSM di Kab. Banjarnegara dan Kota Salatiga merupakan jantan mandul yang dimandulkan pada fase dewasa dengan dosis 70 Gy dan memiliki daya saing kawin sebesar 0.31. Produksi jantan mandul yang

dimandulkan pada fase dewasa membutuhkan penanganan yang sulit, oleh karena itu pelepasan hanya dilakukan sebanyak lima kali dengan total sebanyak 22.500 - 30.000, jumlah tersebut sangat sedikit jika dibandingkan dengan 4.6 juta jantan mandul yang dilepaskan oleh MORLAN, dkk. [8].

Penelitian tentang fase hidup yang tepat untuk memandulkan nyamuk telah diteliti oleh HELINSKI dkk. [4], Namun penelitian tersebut hanya dilakukan pada genus *Anopheles*. Sedangkan penelitian pemandulan nyamuk *Ae. aegypti* dengan menggunakan radiasi gamma pernah diteliti oleh NURHAYATI dkk. [9,10], tetapi penelitian tersebut tidak membandingkan nilai daya saing kawin pada tiap-tiap dosis yang diberikan. Selain itu, penelitian tentang nilai daya saing kawin dan sterilitas sebagai parameternya, telah mengalami perkembangan teknik pengambilan data yang lebih akurat, antara lain penghitungan jumlah telur dan penentuan nilai sterilitas [11], sehingga penelaahan kembali dosis minimum untuk pemandulan harus dilakukan.

Produksi jantan mandul dengan jumlah lebih banyak dapat dicapai dengan memandulkan nyamuk pada fase pupa. Tetapi, proses pemandulan tersebut belum menjamin kualitas dan daya saing jantan mandul yang lebih baik dari pemandulan pada fase dewasa. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang perbandingan kualitas dan daya saing kawin nyamuk mandul yang diradiasi pada fase pupa dan dewasa. Kualitas nyamuk jantan yang telah

dimandulkan dengan radiasi sinar gamma dapat diukur dengan mencatat umur nyamuk, tingkat sterilitas dan nilai daya saing kawin. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas dan daya saing kawin jantan mandul yang diiradiasi pada fase pupa dan dewasa untuk kemudian dipilih fase yang lebih baik dalam memandulkan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menelaah kembali dosis radiasi minimum yang digunakan untuk memandulkan nyamuk *Ae.aegypti*.

BAHAN DAN METODE

Waktu, Tempat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium pemeliharaan nyamuk, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), BATAN, Jakarta Selatan, dengan menggunakan pupa dan imago nyamuk *Aedes aegypti* generasi ke-2 sampai ke-10 (F2 -- F10) yang berasal dari koleksi lapangan di Kota Tangerang Selatan, Banten. Nyamuk yang digunakan telah dipelihara pada Laboratorium Pengendalian Hama PAIR, BATAN, Jakarta Selatan. Larva nyamuk dipelihara dalam nampan berukuran p x l x t = 30 x 20 x 10 cm yang diisi air dengan kedalaman \pm 5 cm. Larva nyamuk diberi makan dengan menggunakan makanan kucing yang tidak ditumbuk (Pedigree®), sedangkan nyamuk dewasa dipelihara dalam kandang berukuran 100 x 40 x 40 cm. Kondisi ruangan dijaga agar tetap pada suhu 25-28°C dan kelembapan 80%. Pencahayaan pada ruang pemeliharaan dewasa diatur menjadi L12:D12. Cairan gula 10% yang diteteskan pada kapas diberikan secara terus menerus sebagai makanan untuk nyamuk dewasa.

Pupa yang digunakan dalam penelitian ini adalah pupa yang berumur 24 jam. Pupa tersebut didapat dari koloni larva yang telah dibersihkan dari pupa tua (\approx 36-48 jam), tepat 24 jam sebelum waktu iradiasi. Sedangkan nyamuk dewasa yang digunakan dalam penelitian ini adalah nyamuk dewasa yang berumur kurang dari satu hari. Nyamuk dewasa yang digunakan haruslah

nyamuk yang belum pernah kawin, sehingga pemurnian koloni nyamuk jantan dan betina mutlak dilakukan sebelum proses radiasi. Pemurnian koloni nyamuk jantan dilakukan sesaat setelah pupa nyamuk berubah menjadi dewasa dengan cara mengeluarkan jantan di koloni betina atau sebaliknya dengan menggunakan aspirator mulut.

Prosedur iradiasi

Iradiasi dilakukan dengan menggunakan Iradiator Gamma Chamber 2.0, PAIR, BATAN dengan sumber radioaktif Cobalt-60 (aktivitas awal = 3474.6632 Curie). Penggunaan *Gamma Chamber* didasarkan pada posisi sumber radioaktif yang mengelilingi materi, sehingga materi mendapat dosis serap yang lebih seragam.

Pupa diiradiasi di dalam cawan petri dengan menggunakan kapas basah yang ditutupi dengan kertas saring. 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%. Nyamuk dewasa dipindahkan ke dalam vial plastik dengan menggunakan aspirator dan diiradiasi dengan menggunakan vial plastik bervolume 100 ml.

Rancangan percobaan

Percobaan dilakukan pada dua fase hidup nyamuk, pupa dan dewasa. Baik pupa dan dewasa masing-masing diiradiasi dengan dosis 20, 40, 60, 80, 100 Gy dan kontrol disertakan pada kedua fase hidup sebagai pembanding. Dua puluh nyamuk jantan dan betina digunakan pada setiap kombinasi perkawinandang tiga kali ulangan. Proses perkawinan dilakukan dengan menempatkan jantan-betina pada kandang kubus (*bugdorm*) selama 48 jam. Nyamuk yang dipelihara dalam laboratorium dapat menyelesaikan serangkaian perubahan fisik dan tingkah laku kawin selama kurang dari 24 jam, artinya nyamuk jantan dan betina yang diletakkan dalam satu kandang selama 48 jam diharapkan dapat melakukan

perkawinan [12]. Hanya 20 ekor betina yang telah kawin (ditandai dengan perilaku menghisap darah) yang dimasukkan dalam pengamatan. Rancangan Percobaan disajikan pada Tabel 1.

ditetaskan dalam wadah berisi air matang yang telah mencapai suhu ruang (25°C). Penghitungan jumlah telur dan jumlah telur yang menetas dilakukan secara visual dengan bantuan mikroskop stereo [Swift

Tabel 1. Rancangan percobaan, kombinasi perkawinan dan parameter yang digunakan untuk mengetahui efek iradiasi sinar gamma pada pupa nyamuk dan nyamuk dewasa.

Fase Hidup	Dosis (Gy)	Ulangan	Kombinasi Perkawinan	Parameter
Pupa	0 (Kontrol)	3	Setiap dosis: 20 ♂ N X 20 ♀ N (Ha) 20 ♂ R X 20 ♀ N (Hs) 60 ♂ R X 20 ♂ N X 20 ♀ N (E) Ket: N = Nyamuk Normal R = Nyamuk Iradiasi	1. Umur Nyamuk 2. Sterilitas 3. Nilai Daya Saing Kawin 4. Persentase kemunculan dewasa (pupa)
	20	3		
	40	3		
	60	3		
	80	3		
	100	3		
Dewasa	0 (Kontrol)	3		
	20	3		
	40	3		
	60	3		
	80	3		
	100	3		

Parameter penelitian

Umur nyamuk

Nyamuk jantan iradiasi harus dapat bertahan hidup selama beberapa hari setelah pelepasan agar dapat mengawini betina di alam. Data merupakan jumlah hari yang dibutuhkan nyamuk jantan iradiasi sampai mati dalam kondisi normal pemeliharaan dengan 24 jam interval pengambilan data. Nyamuk jantan iradiasi dikeluarkan dari koloni nyamuk betina saat mereka sudah bersama selama dua hari untuk kemudian diletakkan dalam kandang *bugdorm* dan diberikan larutan gula 10% secara terus menerus. Pengambilan data dihentikan apabila dua pertiga dari jumlah nyamuk telah mati.

Tingkat sterilitas

Tingkat sterilitas merupakan persentase jumlah telur yang tidak menetas menjadi larva. Telur yang dihasilkan oleh betina normal setelah bersama dalam satu kandang dengan jantan iradiasi dengan perbandingan 1:1, selama 2-3 hari akan

M27 LED]. Telur yang telah menetas ditandai dengan terbukanya operkulum telur nyamuk.

Daya saing kawin

Nilai daya saing kawin diperoleh dari *Fried index* (C Indeks). Nilai daya saing kawin atau C indeks diperoleh dari persamaan berikut:

$$\text{Mating Competitiveness} = \frac{(Ha - E) / (E - Hs)}{(S / N)}$$

Ha merupakan persentase jumlah telur yang menetas dari kombinasi perkawinan jantan dan betina normal. Hs merupakan persentase jumlah telur yang menetas dari kombinasi perkawinan jantan iradiasi dan betina normal dengan perbandingan 1:1. E merupakan persentase jumlah telur yang menetas dari kombinasi perkawinan jantan iradiasi, jantan normal dan betina normal dengan perbandingan 3:1:1. S adalah jumlah jantan normal sedangkan N adalah jumlah jantan yang diiradiasi.

Kompetisi kawin dilakukan dalam kandang pemeliharaan sedang (60 x 60 x 60 cm) pada kondisi pemeliharaan normal (T = 25°C; RH = 80-85%). Nyamuk jantan dan betina normal (tidak diiradiasi) yang digunakan berasal dari koloni pemeliharaan laboratorium nyamuk *Ae. aegypti*, BATAN, Pasar Jumat. Perkawinan dilakukan selama 2-3 hari.

Persentase kemunculan nyamuk dewasa

Nilai persentase kemunculan nyamuk dewasa dianggap penting pada iradiasi pupa nyamuk, sebagai bukti bahwa radiasi sinar gamma tidak menghambat metamorphosis nyamuk. Pupa nyamuk yang diiradiasi harus dapat berubah menjadi nyamuk dewasa dalam 1-2 hari. Nilai tersebut diperoleh dari banyaknya jumlah pupa yang berhasil muncul sebagai dewasa dibagi dengan jumlah awal pupa yang diperlakukan.

Analisis data

Data umur nyamuk, tingkat sterilitas, nilai daya saing kawin dan persentase kemunculan nyamuk dewasa ditabulasi dengan menggunakan software *Microsoft Excell* dan dianalisis signifikansi menggunakan *Statistical Analysis System*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Umur nyamuk

Tabel 2 memperlihatkan bahwa perlakuan iradiasi gamma tidak memberikan perbedaan yang nyata ($p \leq 0.05$) jika dibandingkan dengan kontrol. Walaupun demikian, perlakuan iradiasi pada saat pupa memperpanjang umur nyamuk sebanyak 1-3 hari, dan perlakuan iradiasi pada saat dewasa memperpanjang umur nyamuk sebanyak 1-2 hari. Hal tersebut sesuai dengan penelitian ABDEL-MALEK [13] yang menyatakan bahwa bertambahnya umur nyamuk *Anopheles pharoensis* setelah diiradiasi dengan dosis 5-70 Gy tidak ada perbedaan yang nyata terhadap kontrol. Namun studi lain melaporkan bahwa, umur nyamuk yang telah diiradiasi dengan dosis 100-130 Gy lebih pendek, walaupun pengurangan tersebut juga tidak nyata [14]. Jika diberi peringkat, umur nyamuk jantan yang diiradiasi pada fase pupa dengan dosis 80 Gy merupakan umur yang paling lama, yaitu 18.00 ± 2.64 hari. Nyamuk jantan mandul harus dapat bertahan, minimal sehari setelah dilepaskan untuk berkompetisi dengan nyamuk jantan alam untuk mengawini betina.

Tabel 2. Perbandingan umur (hari) nyamuk jantan yang diiradiasi sinar gamma pada fase pupa dan dewasa dengan berbagai dosis.

Dosis (Gy)	Pupa		Dewasa	
	n	Rerata \pm SD (hari)	n	Rerata \pm SD (hari)
0	60	14.67 \pm 3.05	60	14.33 \pm 2.30
20	52	17.33 \pm 1.15	44	15.67 \pm 0.57
40	45	16.67 \pm 1.52	44	16.67 \pm 1.52
60	52	15.33 \pm 0.57	47	15.33 \pm 1.52
80	50	18.00 \pm 2.64	47	16.00 \pm 0.00
100	53	14.67 \pm 0.57	50	16.67 \pm 0.57

(SAS) 9.1.3 *portable*. Selain itu juga penelitian ini juga menggunakan uji faktorial ganda dan uji korelasi Pearson.

Tingkat sterilitas

Tingkat sterilitas merupakan persentase jumlah telur yang tidak menetas dari keseluruhan jumlah telur yang dihasilkan oleh betina. Persentase penetasan telur betina yang dipakai pada penelitian ini

tidak cukup baik. Persentase telur yang menetas pada kontrol baik di kelompok pupa maupun dewasa hanya 50.6% dan 65.71%, jika dibandingkan dengan NURHAYATI [9], persentase penetasan telur pada *Ae. aegypti* yang diperoleh adalah 94.17%. Perbedaan tersebut diduga karena larutan yang digunakan untuk media penetasan telur nyamuk hanya air matang yang dibiarkan mencapai suhu ruang (25°C). Untuk mendapatkan persentase penetasan yang lebih tinggi, larutan yang mengandung *nutrient broth* (reaksi fermentasi dapat mengurangi konsentrasi oksigen dalam larutan) dapat digunakan untuk menstimulasi penetasan telur nyamuk [15].

Jumlah telur yang dihasilkan oleh betina pada tiap dosisnya tidak berbeda secara nyata terhadap kontrol ($p \leq 0.05$), baik iradiasi pada saat pupa maupun dewasa. Hal tersebut menunjukkan bahwa inseminasi tetap terjadi. Namun, embrio yang terbentuk tidak dapat bertahan karena adanya sifat mutasi letal dominan yang dibawa oleh sel sperma nyamuk jantan. Mutasi letal dominan dapat dilihat dari tingkat sterilitas yang meningkat seiring dengan bertambahnya dosis iradiasi gamma yang diberikan [5] (Tabel 3).

Jika dibandingkan pada dosis yang sama, nyamuk dewasa yang masing-masing diiradiasi dengan dosis 20 dan 40 Gy menunjukkan respon yang lebih peka terhadap radiasi gamma. Tetapi sebaliknya, pada dosis 60, 80 dan 100 Gy, pupa menunjukkan respon yang lebih peka terhadap radiasi gamma. Namun analisis dua faktorial menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata pada respon kepekaan masing-masing dosis yang diperlakukan pada fase pupa dan dewasa ($p \leq 0.05$). HELINSKI, dkk. [2], melalui penelitiannya pada enam jenis nyamuk dari genus *Anopheles*, menyatakan bahwa pada iradiasi dosis lebih besar dari 100 Gy yang diperlakukan pada pupa dan dewasa menunjukkan tingkat sterilitas yang sama, kecuali pada pupa *An. arabiensis* yang sedikit lebih radio-toleran jika diiradiasi dengan dosis 60-80 Gy. CURTIS [16]

menambahkan bahwa perlakuan iradiasi pada serangga sebaiknya dilakukan pada fase akhir pembelahan, yaitu fase dewasa dan pupa akhir. Perlakuan iradiasi pada fase dewasa dan tahap pupa akhir menyebabkan kerusakan sel tubuh yang lebih sedikit dari pada perlakuan iradiasi pada fase telur, larva dan pupa.

Dosis tertinggi yang diperlakukan pada pupa belum mampu memandulkan nyamuk 100%, namun perlakuan dosis 100 Gy sudah dapat memandulkan nyamuk dewasa. Hasil yang berbeda diperoleh NURHAYATI dkk. [9,10], tingkat sterilitas 100% pada iradiasi pupa dan nyamuk dewasa tercapai pada dosis 65 dan 70 Gy. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena perbedaan metode penentuan sterilitas. NURHAYATI dkk. [9] menghitung jumlah telur yang menetas dari keberadaan jentik. Metode ini memiliki tingkat sensitifitas yang kurang baik karena jentik dapat tidak terlihat oleh pengamat ataupun mengalami kematian sebelum dihitung.

Evaluasi terhadap dosis minimum untuk memandulkan nyamuk *Ae. aegypti* menghasilkan dosis yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya. NURHAYATI dkk. [10] menentukan besar dosis radiasi gamma untuk memandulkan nyamuk jantan dewasa *Ae. aegypti* sebesar 100% adalah 65-70 Gy. Namun dalam penelitian ini, dosis 80 Gy belum membuat nyamuk jantan mandul 100% ($99.90 \pm 0.09\%$). Maka dari itu, kisaran dosis mandul 100% yang sudah ada perlu dibuat menjadi 65-100 Gy. Menurut HELINSKI dkk. [4], dosis steril pada nyamuk *Anopheles* dapat dicapai pada dosis 100-120 Gy tetapi hanya menghasilkan tingkat sterilitas di atas 98%, artinya, dosis steril bukanlah dosis baku, dosis steril dapat berubah dengan dipengaruhi banyak faktor, salah satunya adalah kematangan seksual nyamuk. Pengendalian populasi nyamuk dapat tercapai apabila jantan mandul yang dilepaskan memiliki nilai sterilitas 100%, tetapi perlu diperhitungkan kemungkinan bahwa penekanan populasi nyamuk di area pelepasan dapat tercapai dengan melepas

nyamuk iradiasi yang tidak 100% mandul tetapi memiliki daya saing kawin yang baik.

Pada dosis 20 dan 60 Gy, jantan hasil iradiasi pupa lebih kompetitif dibandingkan

Tabel 3. Tingkat penetasan dan sterilitas telur dari nyamuk jantan yang diradiasi pada fase pupa dan dewasa.

Dosis (Gy)	Pupa				Dewasa			
	Rata2 Telur	Rata2 Telur Menetas	Penetasan (%)	Sterilitas (%)	Rata2 Telur	Rata2 Telur Menetas	Penetasan (%)	Sterilitas (%)
0	892.00	450.00	50.60	49.40 ± 6.36	616.67	410.00	65.71	34.29 ± 3.23
20	1048.67	280.67	25.02	74.98 ± 8.78	738.33	199.67	27.46	72.54 ± 9.57
40	633.67	70.00	10.85	89.15 ± 3.11	774.33	129.33	16.68	83.32 ± 1.27
60	715.33	49.33	6.96	93.04 ± 1.04	779.00	34.67	4.79	95.21 ± 1.89
80	566.00	13.00	2.10	97.90 ± 1.84	674.33	0.67	0.10	99.90 ± 0.09
100	698.33	4.33	0.63	99.37 ± 0.19	718.00	0.00	0.00	100.0 ± 0.00

Daya saing kawin

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa hubungan antara dosis radiasi dan nilai daya saing kawin pupa adalah korelasi negatif ($R^2 = 0.5263$), sedangkan nilai daya saing dewasa berkorelasi positif terhadap dosis radiasi ($R^2 = 0.2108$). Hal tersebut tidak sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa dosis radiasi sinar gamma selalu berefek negatif terhadap daya saing kawin [4]. Pemberian dosis yang semakin tinggi dapat menyebabkan kerusakan sel-sel somatik yang dapat berakibat berkurangnya kemampuan fisik untuk melakukan perkawinan. Pada umumnya, kegagalan perkawinan disebabkan oleh kerusakan alat genitalia dalam akibat radiasi. Dosis radiasi tinggi (> 120 Gy) yang diperlukan untuk membuat jantan steril juga menyebabkan kegagalan nyamuk jantan untuk memindahkan sperma kepada nyamuk betina [9].

Pada Tabel 4, nilai daya saing kawin nyamuk jantan hasil iradiasi pupa pada dosis 80 Gy menunjukkan hasil yang tidak berbeda jika dibandingkan dengan dosis 60 dan 100 Gy. Dosis 80 Gy mempunyai nilai sterilitas > 97.8% dan nilai daya saing kawin yang lebih baik dari iradiasi dosis 60 Gy (0.221 dan 0.163) dan 100 Gy (0.131 dan 0.351). Perbandingan nilai daya saing kawin iradiasi pupa dan dewasa pada dosis yang sama tidak menunjukkan pola yang serupa.

jantan yang diiradiasi. Sebaliknya, pada dosis 40, 80 dan 100 Gy, jantan yang diiradiasi lebih kompetitif dibandingkan jantan hasil iradiasi pupa. Contohnya, nilai daya saing kawin nyamuk yang berasal dari pupa yang diiradiasi dengan dosis 20 Gy adalah 0.966 (hampir mendekati 1), sedangkan pada dosis yang sama, nilai daya saing kawin nyamuk dewasa yang diiradiasi hanya mencapai 0.159. Hasil tersebut dipengaruhi oleh variabel intervensi, yaitu pemberian pakan darah kepada nyamuk yang tidak seragam. Darah berfungsi menyempurnakan perkembangan sel telur menjadi zigot.

Dosis yang lebih tinggi akan menimbulkan efek yang negatif terhadap daya saing kawin [4]. Contohnya pada *An. stephensi* [17], jantan hasil pupa yang diiradiasi pada dosis 80 Gy memiliki nilai daya saing kawin 1.7 kali lebih besar dari pada jantan hasil pupa yang diiradiasi pada dosis 120 Gy. Pola tersebut juga terjadi pada *An. arabiensis* [18] dan *Culex quinquefasciatus* [19].

Nilai daya saing kawin atau Indeks C berguna untuk menentukan jumlah nyamuk jantan mandul yang akan disebar. Contohnya, apabila nyamuk jantan mandul diketahui memiliki nilai daya saing kawin sebesar 0.333, maka jumlah jantan mandul yang dilepas harus tiga kali dari populasi alam untuk memperbesar

Tabel 4. Nilai daya saing kawin (indeks C) nyamuk dewasa yang telah diradiasi sinar gamma pada fase pupa dan dewasa.

Dosis (Gy)	Kombinasi Perkawinan	Pupa		Dewasa	
		Persentase Penetasan	Indeks C	Persentase Penetasan	Indeks C
20	Hs	25.02	0.966	27.46	0.159
	E	31.58		53.34	
40	Hs	10.85	0.213	16.68	0.402
	E	35.09		38.90	
60	Hs	6.96	0.221	4.79	0.163
	E	33.17		45.66	
80	Hs	2.10	0.325	0.10	0.354
	E	26.64		31.91	
100	Hs	0.63	0.131	0	0.351
	E	36.48		32.00	

Keterangan: Hs merupakan persentase jumlah telur yang menetas dari kombinasi perkawinan jantan iradiasi dan betina normal dengan perbandingan 1:1. E merupakan persentase jumlah telur yang menetas dari kombinasi perkawinan jantan iradiasi, jantan normal dan betina normal dengan perbandingan 3:1:1.

kemungkinan terjadinya perkawinan antara jantan mandul dan betina alam.

Persentase kemunculan dewasa

Persentase kemunculan dewasa dari pupa yang diradiasi menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari control (rata-rata $98.57 \pm 0.72\%$). Tidak ada perbedaan yang nyata antara tiap perlakuan dosis ($p \leq 0.05$). Hal tersebut berbeda dengan studi pendahuluan yang mencatat bahwa persentase kemunculan dewasa hanya mencapai 89.84% (data tidak dipublikasi). HELINSKI, dkk. [2], juga menyatakan bahwa iradiasi pupa *An. arabiensis* tidak berpengaruh pada persentase kemunculan nyamuk dewasa.

Tabel 5. Persentase kemunculan nyamuk dewasa dari pupa yang diradiasi.

Dosis (Gy)	Rata2 Kemunculan	SD
0	97.78	3.849
20	99	1.000
40	98	2.645
60	98	0.000
80	99.33	1.154
100	99.33	1.154

KESIMPULAN

Umur nyamuk jantan yang diradiasi pada fase pupa dan dewasa tidak memiliki perbedaan yang nyata, begitu pula dengan tingkat sterilitas jika dibandingkan pada dosis perlakuan yang sama. Nyamuk dewasa hasil iradiasi pada fase pupa dengan dosis 80 Gy mempunyai nilai daya saing kawin yang tidak berbeda secara nyata terhadap jantan yang diradiasi pada fase dewasa dengan dosis yang sama. Persentase kemunculan dewasa hasil iradiasi pupa sebesar 99.33%. Dengan penanganan proses radiasi yang lebih mudah, metode pemandulan nyamuk jantan pada fase pupa dapat digunakan sebagai salah satu prosedur aplikasi Teknik Serangga Mandul untuk menekan populasi nyamuk *Ae. aegypti*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, atas kesempatan yang diberikan untuk pengembangan Teknik Serangga Mandul. Terima kasih juga diucapkan kepada Bapak Yopi Sunarya,

Ph.D atas saran dan masukan yang sangat berharga sehingga karya tulis ilmiah ini dapat dipublikasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. BENEDICT M.Q., ROBINSON A.S., The first releases of transgenic mosquitoes: an argument for the sterile insect technique, *Trends Parasitol*, **19**, 349-355 (2003).
2. HELINSKI, M. E.H., PARKER, A.G., KNOLS, B.G.J., Radiation-induced sterility for pupal and adult stages of the malaria mosquito *Anopheles arabiensis*, *Malaria Journal*, **5**, 41 (2006).
3. KNIPLING, E.F., Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males, *J. Econ. Entomol.*, **48**, 459-469 (1955).
4. HELINSKI, MICHELLE E.H., PARKER, A.G., KNOLS, BART. G.J., Radiation biology of mosquitoes, *Malaria Journal*, **8** (Suppl 2), S6 (2009).
5. 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*, **14** (1), 01-10 (2013).
6. SETIYANINGSIH, 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*, **24** (1), 1-9 (2014).
7. SETIYANINGSIH, R., AGUSTINI, M., TRI BOEWONO, D., RAHAYU, A., Aplikasi Teknik Serangga Mandul (TSM) terhadap Sterilitas Telur dan Penurunan Populasi *Aedes aegypti* di Daerah Urban Kota Salatiga, *Bul. Peneliti, Kesehat.*, **42** (1), 15-24 (2014).
8. MORLAN, H.B. DKK., Field Test with Sexually Sterile Males for Control of *Aedes aegypti*, *Mosq. News*, **22**, 295-300 (1962).
9. NURHAYATI, S., BUDI S., ALI R., DEVITA T., Pengaruh Radiasi sinar Gamma Terhadap Daya Saing Kawin Nyamuk *Aedes aegypti* Sebagai Vektor Demam Berdarah Dengue (DBD), Prosiding Seminar Nasional Keselamatan dan Lingkungan V, Depok, (2009).
10. NURHAYATI, S., ALI R., Potensi Teknik Nuklir dalam Pengendalian Nyamuk *Aedes aegypti* Sebagai Vektor Demam Berdarah Dengue, Prosiding PPI-PDIPTN, Yogyakarta, (2006).
11. MAINS, J.W., MERCER, D.R., DOBSON, S.L., Digital image analysis to estimate numbers of *Aedes* eggs oviposited in containers, *J. Am Mosq Control Assoc.*, **24** (4), 496-501 (2008).
12. OLIVA, C.F., DAMIENS, D., BENEDICT, M.Q., Male Reproductive Biology of *Aedes* Mosquitoes, *Acta Tropica*, **132S**: S12-S19 (2014).
13. ABDEL-MALEK A.A., TANTAWY A.O., WAKID A.M., Studies on the eradication of *Anopheles pharoensis* theobald by the sterile-male technique using Cobalt-60, I. Biological effects of gamma radiation on the different

- developmental stages, *J. Econ Entomol.*, **59**, 672-678 (1966).
14. ABDEL-MALEK A.A., TANTAWY A.O., WAKID A.M., Studies on the eradication of *Anopheles pharoensis* Theobald by the sterile-male technique using Cobalt-60, III. Determination of the sterile dose and its biological effects on different characters related to "fitness" components, *J. Econ Entomol.*, **60**, 20-23 (1967).
15. BELLINI, R. CALVITTI, M., MEDECI, A., CARRIERI, M., CELLI, G., MAINI, S., Use of the Sterile Insect Technique Against *Aedes albopictus* in Italy: First Result of a Pilot Trial. Dalam Vreysen, M.J.B. dkk., (Ed.), *Area-Wide Control of Insect Pests*, Vienna, IAEA, 505-515 (2007).
16. CURTIS C.F., Radiation sterilization. Report on mosquito research, Ross Institute of Tropical Hygiene, 01.01.76-31.12.77 (1976).
17. SHARMA V.P., RAZDAN R.K., ANSARI M.A., *Anopheles stephensi*: Effect of gamma-radiation and chemosterilants on the fertility and fitness of males for sterile male releases, *J. Econ Entomol.*, **71**, 449-452 (1978).
18. HELINSKI M.E.H., KNOLS B.G.J., Mating competitiveness of male *Anopheles arabiensis* mosquitoes irradiated with a semi-or fully-sterilizing dose in small and large laboratory cages, *J. Med. Entomol.*, **45**, 698-705 (2008).
19. EL-GAZZAR L.M., DAME D.A., SMITTLE B.J., Fertility and competitiveness of *Culex quinquefasciatus* males irradiated in nitrogen, *J. Econ. Entomol.*, **76**, 821-823 (1983).