



Pengaruh iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap kutudaun *Macrosiphoniella sanborni* (Gillette) (Hemiptera: Aphididae) dan kualitas bunga potong krisan (*Chrysanthemum morifolium* var. Jimba Lima)

Effect of [^{60}Co] gamma irradiation on *Macrosiphoniella sanborni* (Gillette) (Hemiptera: Aphididae) and quality of chrysanthemum cut flower (*Chrysanthemum morifolium* cv. Jimba Lima)

Sri Endang Purwanti^{1*}, Idham Sakti Harahap², Dadang², Murni Indarwatmi³

¹Stasiun Karantina Pertanian Kelas I Samarinda

Jalan PM. Noor No 2, Sempaja, Samarinda 75119, Indonesia

²Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University

Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

³Peran Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)

Jalan Lebak Bulus I No. 49, Jakarta Selatan 12440, Indonesia

(diterima Juli 2021, disetujui Februari 2022)

ABSTRAK

Bunga potong krisan banyak diminati masyarakat dan mempunyai nilai ekonomi tinggi. Infestasi kutudaun *Macrosiphoniella sanborni* (Gillette) pada bunga potong krisan menyebabkan kerusakan secara estetika, kerugian ekonomi, dan menjadi faktor penghambat perdagangan ekspor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis efektif iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap kutudaun *M. sanborni* dan mengevaluasi pengaruhnya pada kualitas bunga potong krisan (*Chrysanthemum morifolium* var. Jimba Lima). Tahapan penelitian meliputi perbanyakan serangga uji, uji toksisitas relatif iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap *M. sanborni* pada stek krisan, uji pengaruh iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap imago *M. sanborni* dan kualitas bunga potong krisan. Uji toksisitas relatif iradiasi sinar gamma [^{60}Co] dilakukan pada dosis 50–200 Gy, sedangkan uji pengaruh iradiasi sinar gamma [^{60}Co] dilakukan pada dosis 200–250 Gy. Hasil penelitian menunjukkan nilai LD_{99} pada imago *M. sanborni* sebesar 1.092,982 Gy. Bunga potong krisan var. Jimba Lima mempunyai toleransi terhadap iradiasi sinar gamma [^{60}Co] dengan dosis dibawah 300 Gy. Oleh karena itu, uji lanjutan dilakukan pada dosis subletal. Dosis 200 Gy efektif mengendalikan *M. sanborni* karena aplikasi pada nimfa instar pertama hanya menghasilkan sintasan nimfa instar ketiga dan aplikasi pada nimfa instar kedua, ketiga, dan keempat mampu mencapai imago yang bersifat infertil. Hasil aplikasi pada imago menunjukkan imago mampu menghasilkan sedikit keturunan (5,35%) dan hanya berkembang pada nimfa instar pertama. Perlakuan dosis 200 Gy tidak memberikan dampak negatif terhadap kualitas bunga potong krisan, seperti layu dan munculnya bercak coklat pada mahkota bunga dalam waktu 9 hari.

Kata kunci: dosis efektif, efek iradiasi, kualitas bunga, serangga hama

ABSTRACT

Chrysanthemum cut flower is a popular flower that has economic values. Infestation of *Macrosiphoniella sanborni* (Gillette) on chrysanthemum cut flowers can reduce the aesthetics of the flower, cause economic loss, and impose restriction in the international trading. The aim of

*Penulis korespondensi: Sri Endang Purwanti. Alamat: Stasiun Karantina Pertanian Kelas I Samarinda, Jalan PM. Noor No 2, Sempaja, Samarinda 75119, Indonesia. Tel: 0541-220016, Email: sriendangrosdialah@gmail.com

this research was to determine the effective dose of [⁶⁰Co] gamma irradiation in controlling *M. sanborni* on chrysanthemum cut flower and to evaluate the effect on quality of chrysanthemum cut flower (*Chrysanthemum morifolium* cv. Jimba Lima). The research was conducted in several steps: collection and mass rearing of *M. sanborni*, relative toxicity test of [⁶⁰Co] gamma irradiation against *M. sanborni*, sublethal dose test on adults, and evaluation of the effect on the quality of cut flower. The dosages used in relative toxicity and sublethal experiment were 50–200 Gy and 200–250 Gy. The results showed that the LD₉₉ value of adult was 1,092.982 Gy. A sublethal dose test was performed because *C. morifolium* cv. Jimba Lima has radiotolerance with dose below 300 Gy. The effective dose of [⁶⁰Co] gamma irradiation against *M. sanborni* was 200 Gy. Application of this dose on first instar nymph showed the survival development reached only until the third instar nymph and it reached the adult stage when applied on second, third, and fourth instar nymphs. Application on the adult stage showed that the aphids can still reproduce first progenies but only in a small number (5.35%). Application of 200 Gy did not have negative effect on the quality of chrysanthemum cut flower within 9 days.

Key words: effective dose, flower quality, irradiation effect, pest

PENDAHULUAN

Krisan merupakan salah satu tanaman hias yang menjadi komoditas unggulan ekspor dan mempunyai nilai ekonomi tinggi sehingga berpotensi untuk dikembangkan secara komersial. Krisan dapat dilalulintaskan secara ekspor dalam bentuk bunga potong maupun bibit. Nilai produksi bunga potong krisan untuk memenuhi permintaan ekspor pada tahun 2019 sebesar 700.045 dolar AS dan pada tahun 2020 meningkat menjadi 732.725 dolar AS (BPS 2021). Bunga potong krisan banyak digemari oleh masyarakat karena bunganya yang beraneka ragam, baik bentuk, ukuran, maupun warnanya, dan lebih tahan lama dibandingkan dengan bunga potong lainnya. Krisan menjadi salah satu jenis bunga potong penting di dunia dan banyak diminati oleh beberapa negara, antara lain Jepang, Singapura, Hongkong, Jerman, Perancis, dan Inggris (Rukmana 2017).

Persyaratan mutu bunga potong krisan setiap varietas mengacu pada standar mutu krisan Indonesia menurut SNI Nomor 4478 tahun 2014. Kelas mutu AA merupakan mutu bunga potong krisan yang biasanya digunakan untuk ekspor. Syarat mutu kelas AA adalah panjang tangkai minimum 75 cm, diameter tangkai bunga jenis standar > 5 mm dan jenis spray > 4 mm, diameter bunga mekar > 80 mm, kuntum bunga mekar per tangkai jenis standar maksimal 70% dan jenis spray 50%, serta tingkat kerusakan 0% (BSN 2014). Kriteria mutu permintaan ekspor bunga potong krisan bergantung pada permintaan negara tujuan yang tercantum dalam dokumen *import permit*.

Serangan hama pada tanaman krisan dapat menyebabkan kerusakan secara estetika dan kerugian ekonomi. Salah satu hama penting yang menyerang tanaman krisan adalah kutudaun *Macrosiphoniella sanborni* (Gillette) (Hemiptera: Aphididae). Pertanaman krisan di Cihérang, Jawa Barat dilaporkan mengalami kerusakan mencapai 100% akibat infestasi kutudaun *M. sanborni* dan cendawan jelaga yang menyebabkan bunga krisan dipenuhi jelaga (Yusuf et al. 2011). Kutudaun *M. sanborni* umumnya menyerang daun muda dan kuncup bunga. Kerusakan yang disebabkan oleh kutudaun ini adalah daun berwarna kuning mengering sehingga mengurangi vigor tanaman dan kualitas bunga serta mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan tanaman. Serangga ini selain berperan sebagai hama juga merupakan vektor penyakit *Chrysanthemum B Carlavirus* (CVB) dan *Chrysanthemum mottle virus* (CMV) (Chan et al. 1991; Blackman & Eastop 2000; Mifsud et al. 2011).

Kutudaun *M. sanborni* berpeluang untuk terbawa pada bunga potong krisan karena mempunyai ukuran yang kecil dan banyak ditemukan pada bagian daun dan bunga. Salah satu tindakan perlakuan karantina yang dapat dilakukan untuk mengeradikasi kutudaun *M. sanborni* pada bunga potong krisan sebagai produk pascapanen sebelum dilalulintaskan secara ekspor adalah fumigasi fosfin cair (Rachman 2015). Penggunaan fosfin cair secara terus-menerus dengan cara aplikasi yang tidak tepat dapat menimbulkan terjadinya resistensi serangga terhadap fosfin (Widayanti et al. 2017). Aplikasi

fosfin juga menghasilkan residu dalam jumlah rendah (Nayak & Collin 2008).

Salah satu tindakan alternatif untuk mengurangi penggunaan fosfin cair adalah menggunakan teknik iradiasi sinar gamma [^{60}Co]. Perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] mempunyai keunggulan, yaitu mempunyai daya tembus yang tinggi sehingga efektif membunuh hama yang tersembunyi, praktis karena dapat dilakukan terhadap produk dalam kemasan sehingga mencegah terjadinya reinfeksi hama, dan tidak meninggalkan residu yang berbahaya bagi konsumen. Perlakuan iradiasi untuk keperluan fitosanitari berbeda dengan perlakuan fitosanitari yang mengharuskan kematian 100% (Hallman et al. 2010). ISPM No. 18 Tahun 2003 menyatakan bahwa tujuan iradiasi untuk keperluan fitosanitari adalah untuk mematikan, menggagalkan perkembangan imago, memandulkan, serta menginaktivasi hama (IPPC 2016).

Beberapa penelitian tentang perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] telah dilakukan. Perlakuan dengan kisaran dosis 50–250 Gy dapat mensterilkan reproduksi imago serangga Ordo Hemiptera (kutudaun, kutu perisai, kutu kebul, dan kutu putih) (Follett et al. 2006). Perlakuan dengan dosis generik 100 Gy mampu menyebabkan terhambatnya reproduksi imago kutudaun (Hallman 2011). Dosis letal untuk perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae) adalah 150 Gy (Amer et al. 2012).

Penelitian tentang iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap kutudaun *M. sanborni* belum pernah dilakukan sebelumnya. Oleh karena itu, perlu dikaji lebih lanjut mengenai potensi perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap *M. sanborni* dan pengaruhnya terhadap kualitas bunga potong krisan. Penelitian ini bertujuan menentukan dosis efektif iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap kutudaun *M. sanborni* dan mengevaluasi pengaruhnya terhadap kualitas bunga potong krisan.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fitosanitari, Kelompok Entomologi, Bidang Pertanian, PAIR-BATAN, sedangkan untuk perlakuan iradiasi

sinar gamma [^{60}Co] dilaksanakan di Fasilitas Iradiator Panorama Serbaguna (Irpasena), BATAN dari Oktober 2019 sampai April 2021.

Pemeliharaan dan perbanyakan kutudaun *M. sanborni*

Serangga yang digunakan untuk pengujian berasal dari pertanaman krisan di Balai Penelitian Tanaman Hias (BALITHI), Jalan Raya Ciherang, Pacet, Cianjur. Kutudaun hasil koleksi dari lapangan dipelihara dan diperbanyak pada stek tanaman krisan kultivar Jimba Lima. Stek krisan yang berumur 14 hari ditanam pada *polybag* berukuran 7,5 cm x 15 cm (posisi lipat dengan lebar 7,5 cm dan tinggi 15 cm, posisi duduk dengan lebar 10 cm dan tinggi 12 cm) dengan menggunakan media tanam yang dijual secara umum. Komposisi media tanam terdiri atas sekam bakar, kompos organik, pupuk kandang, pakis, mikro organisme, *cocopeat*, dan kaptan. Setiap *polybag* diisi 100 g media tanam dan satu stek krisan. *Polybag* yang berisi stek krisan diletakkan dalam kurungan plastik berbentuk silinder berdiameter 14 cm dan tinggi 25 cm dengan tutup kain kasa. Pot-pot dengan tanaman krisan tersebut disimpan di luar laboratorium. Paranet dipasang pada bagian sisi luar laboratorium untuk melindungi serangga uji dari angin dan hujan deras. Serangga pradewasa (nimfa pertama, kedua, ketiga, dan keempat) dan imago *M. sanborni* digunakan dalam penelitian ini.

Toksisitas relatif iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap *M. sanborni* pada stek krisan (*Chrysanthemum morifolium* var. Jimba Lima)

Uji toksisitas relatif dilakukan pada dosis 0, 50, 75, 100, 125, 150, 175, dan 200 Gy terhadap serangga pradewasa dan imago kutudaun *M. sanborni*. Kisaran dosis yang digunakan merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Follett et al. (2006) dan Amer et al. (2012) tentang dosis perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap serangga Ordo Hemiptera. Percobaan dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan empat ulangan. Setiap perlakuan menggunakan masing-masing 50 individu serangga uji *M. sanborni* yang berumur 1 hari baik fase pradewasa maupun imago (IPPC 2016). Laju dosis iradiasi atau jumlah dosis terserap per satuan waktu yang digunakan adalah 300 Gy/jam. Laju

dosis iradiasi dapat digunakan untuk menentukan lama pemaparan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co].

$$\text{Lama pemaparan iradiasi} = \frac{\text{Dosis perlakuan}}{\text{Laju dosis}} \times 60 \text{ menit}$$

Batang stek krisan yang sudah diinfestasi serangga uji dipotong pada bagian pangkal kemudian dimasukkan ke dalam bulatan plastik yang telah dilubangi sesuai dengan ukuran diameter batang stek krisan. Bagian pangkal batang stek krisan dibungkus dengan kapas yang akan dibasahi setelah proses iradiasi. Bulatan plastik bertujuan untuk memisahkan bagian batang yang dibungkus kapas basah dengan batang yang telah diinfestasi serangga uji. Setelah itu, satu batang stek krisan ditempatkan pada gelas plastik berdiameter bawah 4 cm, diameter atas 6,5 cm, dan tinggi 9,4 cm. Gelas plastik dimasukkan ke dalam kurungan plastik berbentuk silinder bertutup kain kasa dengan diameter 8,5 cm dan tinggi 18 cm. Satu kurungan plastik digunakan untuk penempatan satu gelas plastik. Stek tanaman krisan yang telah diinfestasi serangga uji diiradiasi di irradiator Irpasena. Perlakuan kontrol dibawa ke irradiator, tetapi tidak diiradiasi. Stek tanaman krisan pascairadiasi disimpan di bagian teras luar laboratorium yang telah dipasang paranet untuk melindungi serangga uji dari air hujan, angin, dan gangguan serangga lainnya.

Pengamatan primer dilakukan terhadap tingkat mortalitas serangga uji untuk mengetahui pengaruh dosis perlakuan iradiasi sinar gamma terhadap kutudaun *M. sanborni*. Data tingkat kematian dianalisis menggunakan analisa probit dengan program POLO PLUS. Pengamatan sekunder dilakukan terhadap stadium perkembangan dan tingkat sintasan setiap nimfa, lama hidup imago, dan tingkat fekunditas imago. Data pengamatan sekunder dianalisis menggunakan analisis ragam dan apabila terdapat perbedaan antar perlakuan maka dilakukan uji lanjut menggunakan uji Tukey dengan taraf $\alpha = 5\%$. Pengamatan dilakukan setiap hari sampai serangga uji mati.

Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap imago *M. sanborni* pada bunga potong krisan (*C. morifolium* var. Jimba Lima)

Pengujian pengaruh iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap imago *M. sanborni* pada bunga

potong krisan var. Jimba Lima dilakukan berdasarkan hasil uji toksisitas relatif iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kutudaun *M. sanborni*. Tingkat kematian imago kutudaun *M. sanborni* 99% (LD₉₉) tercapai pada dosis 1.092,982 Gy. Bunga potong krisan (*C. morifolium* var. Jimba Lima) mempunyai toleransi terhadap iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] dengan dosis kurang dari 300 Gy. Tingkat kematian imago 50% (LD₅₀), tercapai pada dosis 228,773 Gy dengan batas bawah 210,015 Gy dan batas atas 255,935 Gy. Berdasarkan data tersebut, pengujian selanjutnya untuk mengetahui pengaruh dosis iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap imago kutudaun *M. sanborni* pada bunga potong krisan var. Jimba Lima dengan dosis 0, 200, 225, dan 250 Gy. Pengujian ini menggunakan fase imago karena merupakan fase yang paling toleran terhadap perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co].

Percobaan ini menggunakan RAL dengan enam ulangan. Laju dosis iradiasi atau jumlah dosis terserap per satuan waktu yang digunakan adalah 300 Gy/jam. Setiap perlakuan menggunakan 50 imago kutudaun yang berumur 1 hari. Bunga potong krisan yang digunakan dalam pengujian adalah kultivar Jimba Lima dengan panjang tangkai bunga 30 cm dan tingkat kemekaran bunga 70%. Bunga ditempatkan dalam gelas plastik berdiameter bawah 5,5 cm, diameter atas 8 cm, dan tinggi 11,5 cm. Gelas plastik ditutup menggunakan styrofoam yang berbentuk bulat dengan lubang pada bagian tengahnya sesuai dengan ukuran diameter tangkai bunga potong krisan. Penggunaan styrofoam bertujuan untuk mengurangi terjadinya penguapan air. Imago kutudaun *M. sanborni* diinfestasikan pada bunga potong krisan 24 jam sebelum proses iradiasi dan dimasukkan dalam kurungan plastik bertutup kain kasa dengan diameter 14 cm dan tinggi 40 cm. Bunga potong krisan yang telah diinfestasi imago kutudaun diiradiasi di irradiator Irpasena. Perlakuan kontrol dibawa ke irradiator, tetapi tidak diiradiasi. Setelah proses iradiasi, gelas plastik tempat bunga potong krisan diisi dengan akuades sebanyak 200 ml untuk mempertahankan kesegaran bunga. Bunga potong krisan pascairadiasi diganti setiap hari dan disimpan di bagian teras luar laboratorium yang telah dipasang paranet untuk melindungi serangga uji dari air hujan, angin, dan gangguan serangga lainnya.

Pengamatan primer dilakukan terhadap tingkat mortalitas imago untuk mengetahui pengaruh dosis perlakuan iradiasi sinar gamma terhadap kutudaun *M. sanborni*. Data tingkat kematian dianalisis menggunakan analisa probit dengan program POLO PLUS. Pengamatan sekunder dilakukan terhadap tingkat fekunditas imago, periode lama hidup imago, dan stadium perkembangan keturunan yang dihasilkan. Data pengamatan sekunder dianalisis menggunakan analisis ragam dan apabila terdapat perbedaan antar perlakuan maka dilakukan uji lanjut menggunakan uji Tukey dengan taraf $\alpha = 5\%$. Pengamatan dilakukan setiap hari sampai serangga uji mati.

Setelah itu, gelas plastik ditutup kembali dengan *aluminium foil* untuk mengurangi penguapan air. Setelah proses iradiasi, gelas plastik tempat bunga potong krisan diisi dengan akuades sebanyak 200 ml. Bunga potong krisan pascairradiasi disimpan dalam *showcase* dengan suhu 6 ± 1 °C dan RH $89\% \pm 3\%$. Pengamatan kualitas bunga potong krisan dilakukan secara visual dengan teknik *skoring* berdasarkan Kim et al. (2016), yaitu 0: tidak terjadi kerusakan (bunga sehat); 1: kerusakan ringan, $0\% < x \leq 5\%$ (bunga layu sedikit); 2: kerusakan sedang, $5 < x \leq 25\%$ (bunga layu sebagian); 3: kerusakan berat, $x > 25\%$ (bunga layu sebagian hingga mati).

Uji pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kualitas bunga potong krisan (*C. morifolium* var. Jimba Lima)

Uji pengaruh iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kualitas bunga potong krisan dilakukan pada dosis subletal, yaitu 0, 200, 225, dan 250 Gy dengan enam ulangan. Laju dosis iradiasi atau jumlah dosis terserap per satuan waktu yang digunakan adalah 300 Gy/jam. Pengujian ini menggunakan bunga potong krisan var. Jimba Lima dengan tingkat kemekaran bunga 70% dan panjang tangkai bunga 30 cm. Bunga potong krisan dimasukkan ke dalam gelas plastik berdiameter bawah 5,5 cm, diameter atas 8 cm, dan tinggi 11,5 cm. Gelas plastik ditutup menggunakan *styrofoam* yang dilubangi pada bagian tengah sesuai dengan ukuran tangkai bunga krisan.

HASIL

Toksisitas relatif iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kutudaun *M. sanborni*

Perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] dengan dosis 50–200 Gy terhadap kutudaun *M. sanborni* menghasilkan nilai LD₅₀ dan LD₉₉ terendah pada nimfa instar pertama dan nilai tertinggi pada fase imago (Tabel 1). Nilai LD yang diperoleh meningkat secara konsisten mulai dari nimfa instar pertama sampai imago. Perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] dengan dosis 175 dan 200 Gy terhadap nimfa instar pertama menghasilkan sintasan nimfa instar pertama hanya mencapai instar ketiga. Dosis perlakuan 125 dan 150 Gy menghasilkan nimfa instar pertama mencapai

Tabel 1. Nilai dosis letal iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kutudaun *Macrosiphoniella sanborni* dengan laju dosis iradiasi 300 Gy/jam

Table 1. Lethal dose values of [⁶⁰Co] gamma irradiation against *Macrosiphoniella sanborni* with irradiation dose rate of 300 Gy/hour

Fase perkembangan (Development phase)	a ± SE	b ± SE	LD ₅₀ (SK 95%) (Gy)	LD ₉₉ (SK 95%) (Gy)
Instar pertama (First instar nymph)	-7,690 ± 0,475	4,307 ± 0,243	61,035 (51,197–69,177)	211,714 (173,292–290,890)
Instar kedua (Second instar nymph)	-6,442 ± 0,401	3,368 ± 0,197	81,778 (76,811–86,461)	401,190 (347,167–480,294)
Instar ketiga (Third instar nymph)	-8,226 ± 0,500	3,746 ± 0,236	157,034 (149,618–165,758)	656,233 (546,890–827,647)
Instar keempat (Fourth instar nymph)	-8,292 ± 0,582	3,588 ± 0,271	204,653 (190,917–223,265)	910,650 (710,873–1 269,519)
Imago (Adult)	-8,081 ± 0,611	3,425 ± 0,284	228,773 (210,015–255,935)	1 092,982 (816,410–1 635,929)

a: intersep (*intercept*); b: kemiringan regresi probit (*probit regression slope*); SE: standar eror (*standard error*); LD: dosis letal (*lethal dose*); SK: selang kepercayaan (*confidence interval*); Gy: gray (*gray*).

nimfa instar keempat. Dosis 200 Gy mengakibatkan persentase sintasan nimfa instar ketiga nyata lebih sedikit dibandingkan kontrol, sedangkan pada dosis 150 Gy persentase sintasan nimfa instar keempat nyata lebih sedikit dibandingkan kontrol. Jumlah imago yang dihasilkan pada dosis 50, 75, dan 100 Gy nyata lebih sedikit dibandingkan kontrol (Tabel 2). Imago yang dihasilkan tidak mampu menghasilkan keturunan. Jumlah imago yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan

peningkatan dosis perlakuan. Rata-rata stadium pradewasa pada semua dosis perlakuan berkisar 0,5 sampai 2,32 hari. Lama hidup imago berkisar 1,25 sampai 3,16 hari lebih singkat dibandingkan dengan kontrol, yaitu 10,41 hari (Tabel 3).

Perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap nimfa instar kedua menunjukkan nimfa instar kedua dapat mencapai imago. Pada perlakuan dosis 50, 75, 100, dan 125 Gy menunjukkan persentase sintasan nimfa instar kedua mencapai nimfa instar

Tabel 2. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kesintasan nimfa instar pertama kutudaun *Macrosiphoniella sanborni*

Table 2. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the survival of the first instar nymphs of *Macrosiphoniella sanborni*

Dosis (Dose) (Gy)	Kesintasan N1–N2 (Survival of N1–N2) (%) (± SB) ^a (%) (± SD) ^a	Kesintasan N2–N3 (Survival of N2–N3) (%) (± SB) ^a (%) (± SD)	Kesintasan N3–N4 (Survival of N3–N4) (%) (± SB) ^a (%) (± SD) ^a	Kesintasan N4–Imago (Survival of N4–Adult) (%) (± SB) ^a (%) (± SD) ^a
Kontrol (Control)	100,00 ± 0,00 a	100,00 ± 0,00 a	100,00 ± 0,00 a	100,00 ± 0,00 a
50	100,00 ± 0,00 a	88,00 ± 8,49 a	71,00 ± 7,00 b	46,50 ± 8,87 b
75	100,00 ± 0,00 a	83,50 ± 13,52 a	4,00 ± 17,72 b	30,00 ± 20,83 b
100	97,50 ± 4,33 a	42,00 ± 12,60 b	10,50 ± 8,87 c	1,00 ± 1,00 c
125	94,00 ± 6,16 a	28,00 ± 10,68 c	2,50 ± 3,28 c	Mati (dead)
150	60,50 ± 10,90 b	12,00 ± 4,24 c	0,50 ± 0,87 c	Mati (dead)
175	58,50 ± 12,36 b	10,00 ± 4,90 c	Mati (dead)	Mati (dead)
200	49,00 ± 10,44 b	6,00 ± 3,74 c	Mati (dead)	Mati (dead)

N1: nimfa instar pertama (*first instar nymph*); N2: nimfa instar kedua (*second instar nymph*); N3: nimfa instar ketiga (*third instar nymph*); N4: nimfa instar keempat (*fourth instar nymph*); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).

Tabel 3. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap periode perkembangan nimfa instar pertama kutudaun *Macrosiphoniella sanborni*

Table 3. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the development period of the first instar nymphs of *Macrosiphoniella sanborni*

Dosis (Dose) (Gy)	Stadium N1 (Nymph stage of N1) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Stadium N2 (Nymph stage of N2) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Stadium N3 (Nymph stage of N3) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Stadium N4 (Nymph stage of N4) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Lama hidup imago (Longevity of adult) (hari) ((± SB) ^a (day) ((± SD) ^a
Kontrol (Control)	2,00 ± 0,00 c	2,00 ± 0,00 c	2,06 ± 0,23 a	2,13 ± 0,33 a	10,41 ± 3,60 a
50	2,00 ± 0,00 c	2,00 ± 0,00 c	2,13 ± 0,33 a	2,19 ± 0,38 a	3,16 ± 2,09 b
75	2,00 ± 0,00 c	2,00 ± 0,00 c	2,17 ± 0,38 a	2,24 ± 0,41 a	2,48 ± 1,11 bc
100	2,00 ± 0,00 c	2,03 ± 0,11 c	2,24 ± 0,40 a	1,62 ± 0,27 ab	1,25 ± 0,50 cd
125	2,00 ± 0,00 c	2,17 ± 0,37 b	2,32 ± 0,42 a	1,25 ± 0,00 a	Mati (dead)
150	2,12 ± 0,32 b	2,21 ± 0,40 ab	2,25 ± 0,39 a	0,50 ± 0,00 a	Mati (dead)
175	2,15 ± 0,35 ab	2,26 ± 0,43 ab	2,27 ± 0,36 a	Mati (dead)	Mati (dead)
200	2,19 ± 0,39 a	2,28 ± 0,45 a	1,56 ± 0,14 a	Mati (dead)	Mati (dead)

N1: nimfa instar pertama (*first instar nymph*); N2: nimfa instar kedua (*second instar nymph*); N3: nimfa instar ketiga (*third instar nymph*); N4: nimfa instar keempat (*fourth instar nymph*); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).

ketiga tidak berbeda nyata dengan kontrol. Rata-rata persentase nimfa instar ketiga yang berhasil mencapai nimfa instar keempat nyata lebih sedikit dibandingkan kontrol pada dosis 200 Gy, yaitu 15% (Tabel 4). Persentase sintasan nimfa instar keempat yang mencapai imago menunjukkan berbeda nyata antara kontrol dengan semua dosis perlakuan (Tabel 4), dan imago yang dihasilkan bersifat infertil. Perlakuan iradiasi sinar gamma

[⁶⁰Co] terhadap nimfa instar kedua mengakibatkan bertambahnya lama stadium pradewasa seiring dengan meningkatnya dosis perlakuan dan berbanding terbalik dengan lama hidup imago yang semakin singkat dengan meningkatnya dosis perlakuan (Tabel 5).

Fenomena yang sama terjadi pada nimfa instar ketiga yang mampu mencapai stadia imago. Pada dosis perlakuan 50 Gy, persentase kesintasan nimfa

Tabel 4. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kesintasan nimfa instar kedua kutudaun *Macrosiphoniella sanborni*

Table 4. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the survival of second instar nymphs of *Macrosiphoniella sanborni*

Dosis (Dose) (Gy) (Gy)	Kesintasan N2–N3 (Survival of N2–N3) (%) (± SB) ^a (%)(± SD) ^a	Kesintasan N3–N4 (Survival of N3–N4) (%) (± SB) ^a (%)(± SD) ^a	Kesintasan N4–Adult (Survival of N4–Adult) (%) (± SB) ^a (%)(± SD) ^a
Kontrol (Control)	100,00 ± 0,00 a	100,00 ± 0,00 a	100,00 ± 0,00 a
50	100,00 ± 0,00 a	92,00 ± 2,45 ab	79,00 ± 2,24 b
75	100,00 ± 0,00 a	86,00 ± 3,16 bc	71,50 ± 7,67 b
100	97,00 ± 2,24 a	78,50 ± 6,23 cd	39,50 ± 9,42 c
125	96,00 ± 1,41 a	72,00 ± 3,74 d	26,00 ± 3,74 cd
150	84,50 ± 2,96 b	34,50 ± 9,31 e	10,50 ± 9,21 de
175	81,00 ± 4,36 b	29,00 ± 2,24 e	6,00 ± 3,74 e
200	74,00 ± 3,74 b	15,00 ± 4,58 f	2,00 ± 2,45 e

N2: nimfa instar kedua (*second instar nymph*); N3: nimfa instar ketiga (*third instar nymph*); N4: nimfa instar keempat (*fourth instar nymph*); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).

Tabel 5. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap periode perkembangan nimfa instar kedua kutudaun *Macrosiphoniella sanborni*

Table 5. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the development period of the second instar nymphs of *Macrosiphoniella sanborni*

Dosis (Dose) (Gy) (Gy)	Stadium N2 (Nymph stage of N2) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Stadium N3 (Nymph stage of N3) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Stadium N3 (Nymph stage of N4) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Lama hidup imago (Longevity of adult) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a
Kontrol (Control)	2,00 ± 0,00 d	2,00 ± 0,00 e	2,15 ± 0,35 c	10,39 ± 3,22 a
50	2,00 ± 0,00 d	2,00 ± 0,00 e	2,18 ± 0,37 c	7,97 ± 2,28 b
75	2,00 ± 0,00 d	2,08 ± 0,26 de	2,26 ± 0,45 bc	7,49 ± 2,13 bc
100	2,00 ± 0,00 d	2,15 ± 0,34 cd	2,40 ± 0,59 bc	6,69 ± 1,58 bcd
125	2,00 ± 0,00 d	2,28 ± 0,45 bc	2,47 ± 0,63 abc	6,29 ± 1,44 cde
150	2,12 ± 0,32 c	2,32 ± 0,46 ab	2,56 ± 0,75 ab	5,65 ± 1,34 de
175	2,16 ± 0,36 b	2,41 ± 0,54 ab	2,60 ± 0,60 ab	5,17 ± 0,47 e
200	2,24 ± 0,43 a	2,45 ± 0,56 a	2,82 ± 0,62 a	1,00 ± 0,00 f

N2: nimfa instar kedua (*second instar nymph*); N3: nimfa instar ketiga (*third instar nymph*); N4: nimfa instar keempat (*fourth instar nymph*); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).

instar ketiga mencapai imago tidak berbeda nyata terhadap kontrol, sedangkan pada dosis perlakuan 75, 100, 125, 150, 175, dan 200 Gy menunjukkan berbeda nyata dengan kontrol. Pada dosis 200 Gy, nimfa instar ketiga yang berhasil mencapai imago nyata lebih sedikit dibandingkan pada perlakuan dosis lainnya, yaitu 35,5% (Tabel 6), imago yang dihasilkan bersifat infertil. Rata-rata stadium nimfa instar ketiga berkisar dari 2,19 sampai 2,50 hari dan stadium nimfa instar keempat berkisar dari 2,28 sampai 2,71 hari. Stadium nimfa instar ketiga

pada semua perlakuan dosis menunjukkan berbeda nyata lebih lama dibandingkan dengan kontrol. Stadium nimfa instar keempat terlihat tidak berbeda nyata dengan kontrol pada dosis 50 dan 75 Gy dan hal yang sama terjadi pada lama hidup imago. Lama hidup imago mencapai 10,42 hari lebih singkat dibandingkan dengan kontrol 11,34 hari (Tabel 7).

Hasil perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap nimfa instar keempat menunjukkan bahwa nimfa dapat mencapai imago. Pada dosis

Tabel 6. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kesintasan nimfa instar ketiga kutudaun *Macrosiphoniella sanborni*

Table 6. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the survival of third instar nymphs of *Macrosiphoniella sanborni*

Dosis (Dose) (Gy) (Gy)	Kesintasan N3–N4 (Survival of N3–N4)	Kesintasan N4–Adult (Survival of N4–Adult)
	(%) (± SB) ^a	(%) (± SB) ^a
	(%)(± SD) ^a	(%)(± SD) ^a
Kontrol (Control)	100,00 ± 0,00 a	100,00 ± 0,00 a
50	98,50 ± 0,87 a	98,00 ± 1,41 ab
75	90,50 ± 0,87 b	89,50 ± 0,87 b
100	89,00 ± 1,73 b	80,00 ± 3,16 c
125	77,00 ± 2,24 c	66,00 ± 4,24 d
150	68,00 ± 2,45 d	55,00 ± 5,00 e
175	48,00 ± 2,83 e	39,50 ± 4,56 f
200	41,50 ± 3,28 f	35,50 ± 3,57 f

N3: nimfa instar ketiga (*third instar nymph*); N4: nimfa instar keempat (*fourth instar nymph*); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).

Tabel 7. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap periode perkembangan nimfa instar ketiga kutudaun *Macrosiphoniella sanborni*

Table 7. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the development period of the third instar nymphs of *Macrosiphoniella sanborni*

Dosis (Dose) (Gy) (Gy)	Stadium N3 (Nymph stage of N3)	Stadium N4 (Nymph stage of N4)	Lama hidup imago (Longevity of adult)
	(hari) (± SB) ^a	(hari) (± SB) ^a	(hari) (± SB) ^a
	(day) (± SD) ^a	(day) (± SD) ^a	(day) (± SD) ^a
Kontrol (Control)	2,00 ± 0,00 f	2,17 ± 0,37 e	11,34 ± 3,52 a
50	2,19 ± 0,38 e	2,28 ± 0,44 de	10,42 ± 3,15 ab
75	2,24 ± 0,42 de	2,28 ± 0,46 de	9,98 ± 3,04 ab
100	2,30 ± 0,45 cde	2,38 ± 0,48 cd	9,54 ± 2,57 bc
125	2,35 ± 0,47 cde	2,51 ± 0,60 bc	9,34 ± 2,57 bc
150	2,40 ± 0,48 abc	2,55 ± 0,60 abc	8,21 ± 2,59 cd
175	2,44 ± 0,50 ab	2,61 ± 0,70 ab	7,08 ± 2,47 de
200	2,50 ± 0,49 a	2,71 ± 0,63 a	6,34 ± 1,88 e

N3: nimfa instar ketiga (*third instar nymph*); N4: nimfa instar keempat (*fourth instar nymph*); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).

200 Gy, nimfa instar keempat nyata lebih sedikit yang berhasil mencapai imago, yaitu sebanyak 61% (Tabel 8) dan imago yang dihasilkan bersifat infertil. Pada dosis 200 Gy, stadium nimfa instar keempat nyata lebih lama dibandingkan kontrol, yaitu mencapai 2,92 hari, sedangkan periode lama hidup imago nyata lebih singkat dibandingkan dengan kontrol, yaitu 6,67 hari (Tabel 9). Perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] juga

menyebabkan kematian karena kegagalan dalam proses ganti kutikula pada fase pradewasa (antar nimfa) maupun imago (Gambar 1).

Perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap imago pada dosis 50 Gy menunjukkan rata-rata lama hidup imago mencapai 12,24 hari (Tabel 10). Lama hidup imago yang dihasilkan lebih lama dibandingkan dengan pengujian pada fase pradewasa. Imago masih mampu menghasilkan keturunan baik normal dan abnormal. Keturunan yang dihasilkan hanya mampu berkembang mencapai nimfa instar kedua. Rata-rata jumlah keturunan yang dihasilkan 15,63 sampai 23,24 individu nimfa instar pertama normal per imago. Nimfa instar pertama abnormal berbentuk seperti antena melekat pada bagian lateral atau ventral abdomen, tungkai melekat pada bagian ventral abdomen, nimfa tampak kaku, berwarna coklat kehitaman pada bagian ventral dan coklat bening pada bagian dorsal, mata dan caput tidak berkembang sempurna. Nimfa instar pertama abnormal tampak seperti pupa tipe eksarata. Pada dosis 200 Gy, imago menghasilkan 3,25 individu nimfa instar pertama abnormal lebih banyak dibandingkan dosis 175 Gy, yaitu 1,46 individu (Tabel 10).

Tabel 8. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kesintasan nimfa instar keempat kutudaun *Macrosiphoniella sanborni*

Table 8. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the survival of fourth instar nymphs of *Macrosiphoniella sanborni*

Dosis (Dose) (Gy)	Kesintasan N4–Adult (Survival of N4–Adult) (%) (± SB) ^a (%) (± SD) ^a
Kontrol (Control)	100,00 ± 0,00 a
50	99,50 ± 0,87 a
75	95,00 ± 2,24 ab
100	92,00 ± 2,83 ab
125	85,00 ± 5,92 bc
150	77,00 ± 4,58 cd
175	68,50 ± 6,06 de
200	61,00 ± 5,39 e

N4: nimfa instar keempat (*fourth instar nymph*); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).

Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap imago *M. sanborni*

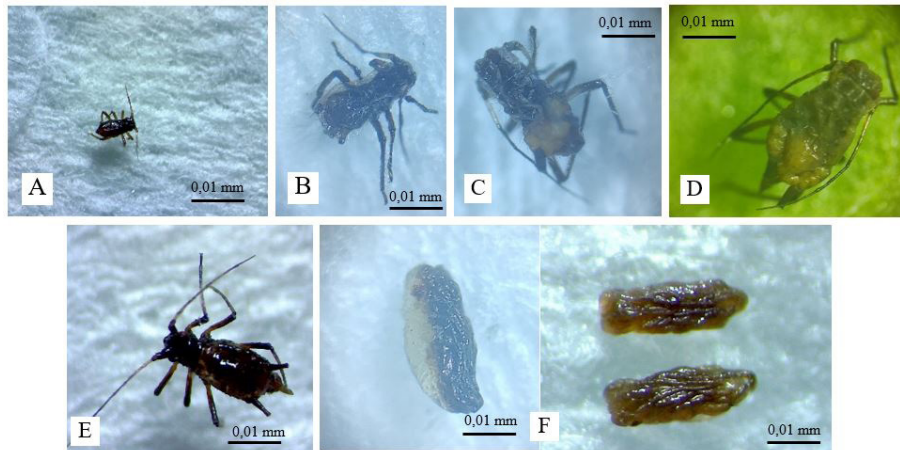
Perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap imago kutudaun pada dosis 200, 225, dan 250 Gy menghasilkan data lama hidup lebih singkat berkisar 5,23–6,53 hari dibandingkan kontrol,

Tabel 9. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap periode perkembangan nimfa instar keempat kutudaun *Macrosiphoniella sanborni*

Table 9. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the developmental period of the fourth instar nymphs of *Macrosiphoniella sanborni*

Dosis (Dose) (Gy)	Stadium N4 (Nymph stage of N4) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Lama hidup imago (Longevity of adult) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a
Kontrol (Control)	2,15 ± 0,35 f	11,20 ± 3,59 a
50	2,31 ± 0,46 e	9,12 ± 3,02 b
75	2,37 ± 0,48 de	9,18 ± 3,37 b
100	2,47 ± 0,49 cd	8,62 ± 3,24 bc
125	2,54 ± 0,50 bc	8,35 ± 3,00 bcd
150	2,66 ± 0,62 b	7,85 ± 2,85 cd
175	2,89 ± 0,65 a	7,42 ± 2,44 de
200	2,92 ± 0,64 a	6,67 ± 2,22 e

N4: nimfa instar keempat (*fourth instar nymph*); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).



Gambar 1. Pengaruh iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] pada berbagai tingkat perkembangan dalam skala perbesaran 10x. A: N1 gagal ganti kutikula ke N2; B: N2 gagal ganti kutikula ke N3; C: N3 gagal ganti kutikula ke N4; D: N4 gagal ganti kutikula ke imago; E: kematian imago; F: N1 abnormal.
Figure 1. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on development of *Macrosiphoniella sanborni* in a 10x magnification scale. A: N1 (first instar nymph) failed to undergo ecdysis; B: N2 (second instar nymph) failed to undergo ecdysis; C: N3 (third instar nymph) failed to undergo ecdysis; D: N4 (fourth instar nymph) failed to undergo ecdysis; E: death of adult; F: abnormal N1 (first instar nymph).

Tabel 10. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap periode lama hidup imago (hari) dan tingkat fekunditas kutudaun *Macrosiphoniella sanborni* pada uji pendahuluan
Table 10. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the longevity of adults (days) and the fecundity level of *Macrosiphoniella sanborni* in the preliminary test

Dosis (Dose) (Gy) (Gy)	Lama hidup imago (Longevity of adult) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Fekunditas (Fecundity)	
		N1 normal (Normal N1) (individu) (± SB) ^a (individu) (± SD) ^a	N1 abnormal normal (Abnormal N1) (individu) (± SB) ^a (individu) (± SD) ^a
Kontrol (Control)	12,50 ± 2,55 a	32,34 ± 18,32 a	-
50	12,24 ± 1,47 a	23,24 ± 14,89 ab	3,28 ± 2,44 a
75	11,90 ± 2,36 ab	25,23 ± 15,18 ab	2,65 ± 1,61 a
100	11,27 ± 2,80 bc	19,11 ± 8,51 ab	3,40 ± 1,94 a
125	10,72 ± 3,06 c	17,08 ± 7,22 b	2,77 ± 1,19 a
150	9,06 ± 3,29 d	16,00 ± 7,33 b	2,50 ± 1,10 a
175	8,20 ± 3,29 e	15,88 ± 3,88 b	1,46 ± 0,49 ab
200	7,45 ± 3,01 e	15,63 ± 7,88 b	3,25 ± 1,54 a

N1: nimfa instar keempat (first instar nymph); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).

yaitu 11,29 hari (Tabel 11). Perlakuan dosis subletal (200, 225, dan 250 Gy) menunjukkan bahwa imago masih mampu menghasilkan keturunan, tetapi hanya mampu berkembang sampai nimfa instar pertama. Rata-rata jumlah nimfa instar pertama yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan perlakuan dengan dosis 50 sampai 200 Gy. Rata-rata jumlah nimfa instar pertama abnormal yang dihasilkan imago pada dosis 200, 225, dan 250 Gy masing-masing adalah 1,67; 1,17; dan 0,5 nimfa.

Imago mampu menghasilkan rata-rata nimfa instar pertama normal dalam jumlah sedikit, yaitu 1,17 nimfa pada dosis 200 Gy, 1 nimfa pada dosis 225, dan 0,5 nimfa pada dosis 250 Gy.

Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kualitas bunga potong krisan (*C. morifolium* cv. Jimba Lima)

Pada dosis 200 Gy, bunga potong krisan masih tampak segar hingga hari ke-9 pengamatan,

seperti pada kontrol. Kerusakan bunga potong krisan mulai terlihat pada hari ke-10 pengamatan dengan tingkat kerusakan ringan > 5% dan tingkat kerusakan berat terjadi pada hari ke-14 pengamatan. Pada hari ke-6 pengamatan, bunga potong krisan menunjukkan tingkat kerusakan 0,17% pada dosis 225 Gy dan 0,67% pada dosis 250 Gy. Dosis perlakuan 225 Gy mengakibatkan tingkat kerusakan bunga yang berat pada hari ke-11 pengamatan, yaitu 2,83% sedangkan dosis 250 Gy pada hari ke-8 pengamatan, yaitu 2,50% (Gambar 2 dan Tabel 12).

PEMBAHASAN

Berdasarkan data tingkat mortalitas yang diperoleh pada uji pendahuluan, nilai LD₅₀ dan LD₉₉ terendah terdapat pada nimfa instar pertama

dan tertinggi pada imago. Nilai LD yang diperoleh meningkat secara konsisten mulai nimfa instar pertama, kedua, ketiga, keempat, dan imago. Hal ini menunjukkan bahwa fase nimfa instar pertama lebih rentan terhadap iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] dibandingkan fase imago. Hasil yang diperoleh sesuai dengan laporan Syauqi et al. (2020) bahwa toleransi terhadap iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] pada imago kutu putih *Dysmicoccus lepelleyi* (Betrem) lebih tinggi dibandingkan dengan fase pradewasa. Menurut Hallman et al. (2010) dan Hofmeyr et al. (2016) radiotoleran serangga akan meningkat seiring dengan meningkatnya fase serangga tersebut. Peningkatan radiotoleran tersebut terjadi sesuai dengan Hukum Bergonié dan Tribondeau, yaitu pada fase dewasa sel tubuh telah berdiferensiasi, sedangkan pada fase pradewasa sel-sel tubuh masih aktif berproliferasi sehingga lebih peka terhadap iradiasi (Vogin & Foray 2012).

Tabel 11. Pengaruh perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap periode lama hidup imago (hari) dan tingkat fekunditas kutudaun *Macrosiphoniella sanborni* pada uji dosis subletal

Table 11. Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the longevity of adults (days) and the fecundity level of *Macrosiphoniella sanborni* in the sublethal doses test

Dosis (Dose) (Gy)	Lama hidup imago (Longevity of adult) (hari) (± SB) ^a (day) (± SD) ^a	Fekunditas (Fecundity)	
		N1 normal (Normal N1) (individu) (± SB) ^a (individu) (± SD) ^a	N1 abnormal normal (Abnormal N1) (individu) (± SB) ^a (individu) (± SD) ^a
Kontrol (Control)	11,29 ± 2,01 a	21,86 ± 14,78 a	-
200	6,53 ± 2,54 b	1,17 ± 0,00 b	1,67 ± 0,00 a
225	5,63 ± 2,58 c	1,00 ± 0,00 b	1,17 ± 0,00 a
250	5,23 ± 2,49 c	0,50 ± 0,00 b	0,50 ± 0,00 a

N1: nimfa instar pertama (*first instar nymph*); ^a: angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf α = 5% (^a: the numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different at the 5% level of the Tukey test); SB: simpangan baku (SD: standard deviation).



Gambar 2. Tingkat kerusakan bunga potong krisan (*Chrysanthemum morifolium* var. Jimba Lima). A: skor kerusakan 0; B: skor kerusakan 1; C: skor kerusakan 2; D: skor kerusakan 3.

Figure 2. The phytotoxic damage on chrysanthemum cut flower (*Chrysanthemum morifolium* var. Jimba Lima). A: score 0; B: Score 1; C: score 2; D: score 3.

Tabel 12. Pengaruh iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap kualitas bunga potong krisan pada beberapa dosis pengujian subletal**Table 12.** Effect of [⁶⁰Co] gamma irradiation on the quality of chrysanthemum cut flowers in the sublethal dose test

Pengamatan ke- (Observation to-) (hari) (day)	Rata-rata skor kerusakan bunga potong krisan (Average score of phytotoxic damage on chrysanthemum cut flowers)			
	Kontrol (Control)	200 Gy	225 Gy	250 Gy
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0,17	0,67
7	0	0	0,33	1,67
8	0	0	1,00	2,50
9	0	0	1,50	2,50
10	0,50	0,83	2,00	2,83
11	0,50	1,67	2,83	3,00
12	1,00	2,00	2,83	3,00
13	1,67	2,33	3,00	3,00
14	2,33	2,50	3,00	3,00
15	2,83	3,00	3,00	3,00
16	3,00	3,00	3,00	3,00

Skoring kerusakan bunga potong berdasarkan Kim et al. (2016) (*Phytotoxic damage score of chrysanthemum cut flowers adopted by Kim et al. (2006)*), yaitu: 0: tidak terjadi kerusakan (bunga sehat) (*none of damage on cut flowers*) (*healthy cut flowers*); 1: kerusakan ringan, $0\% < x < 5\%$ (bunga layu sedikit) (*slight, 0% < x < 5% affected*); 2: kerusakan sedang, $5\% < x < 25\%$ (bunga layu sebagian) (*moderate, 5% < x < 25% affected*); 3: kerusakan berat, $x > 25\%$ (bunga layu sebagian hingga mati) (*severe, >25% affected*).

Berdasarkan pengujian nimfa instar pertama terlihat pada dosis 50, 75, dan 100 Gy, nimfa instar pertama masih mampu berkembang mencapai fase imago, namun tidak dapat menghasilkan keturunan. Jumlah nimfa dan imago yang mampu berkembang juga menurun seiring dengan meningkatnya dosis perlakuan. Pada dosis 100 Gy, stadium nimfa instar keempat mengalami penurunan seiring dengan peningkatan dosis karena tingginya tingkat mortalitas yang terjadi pada fase nimfa instar keempat. Pada fase imago terjadi penurunan lama hidup imago seiring dengan meningkatnya dosis perlakuan dan imago yang diperoleh bersifat infertil.

Perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap nimfa instar kedua menunjukkan kesintasan nimfa instar kedua mencapai imago. Jumlah nimfa instar ketiga, keempat, dan imago yang dihasilkan menurun seiring dengan peningkatan dosis perlakuan. Hal ini disebabkan oleh tingginya tingkat mortalitas yang terjadi. Stadium nimfa meningkat seiring dengan peningkatan dosis dan

berbanding terbalik dengan lama hidup imago. Stadium nimfa yang meningkat merupakan respons dari kutudaun *M. sanborni* akibat iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co]. Perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] menyebabkan hilangnya elektron dari DNA kutudaun *M. sanborni*. Elektron bebas tersebut berubah menjadi radikal bebas yang pada akhirnya dapat merusak DNA. Kerusakan DNA akibat proses iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] menyebabkan terhambatnya perkembangan lebih lanjut serangga bahkan mencegah reproduksi serangga pada dosis tertentu (Hallman & Blackburn 2016). Hal ini sesuai dengan respons terhadap perlakuan iradiasi dalam perlakuan karantina dapat berupa kematian OPT/K, ketidakberhasilan perkembangan OPT/K, ketidakmampuan bereproduksi, inaktivasi OPT/K, dan devitalisasi tanaman (Barantan 2012).

Fenomena yang sama juga terjadi pada perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap nimfa instar ketiga dan keempat. Perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] terhadap imago kutudaun *M. sanborni* menunjukkan bahwa imago yang

diperoleh mampu menghasilkan keturunan nimfa instar pertama baik dalam bentuk normal maupun abnormal. Pada dosis perlakuan 200 Gy, imago menghasilkan keturunan nimfa instar pertama abnormal yang lebih banyak dibandingkan dengan dosis perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa efek iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap imago *M. sanborni* menyebabkan terjadinya mutasi besar yang menimbulkan perubahan pada fenotipe keturunannya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Warmadewi (2017) bahwa mutasi besar menimbulkan perubahan yang jelas pada fenotipe yang menyebabkan fenotipe keturunannya berbeda dan mengarah ke abnormal atau cacat (Gambar 1).

Pengujian iradiasi sinar gamma [^{60}Co] dengan dosis subletal 200, 225, dan 250 Gy terhadap imago menunjukkan bahwa imago masih mampu menghasilkan keturunan nimfa instar pertama normal dan abnormal. Rata-rata lama hidup imago juga lebih singkat dibandingkan dengan pengujian pendahuluan dengan dosis 50 sampai 200 Gy.

Perlakuan fitosanitari menggunakan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] merupakan salah satu alternatif pengendalian yang dianggap lebih aman terhadap lingkungan (Indarwatmi 2017). Keefektifan tindakan perlakuan fitosanitari menggunakan perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] antara lain mempunyai daya tembus yang tinggi sehingga efektif terhadap hama yang tersembunyi, seperti di dalam daging buah atau di balik kelopak bunga dan buah; praktis karena pemaparan radiasi dapat diaplikasikan terhadap komoditas yang berada di dalam kemasan sehingga terhindar dari kemungkinan reinfestasi hama setelah perlakuan; dan tidak meninggalkan residu yang berbahaya bagi konsumen (Hallman et al. 2010).

Perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap kutudaun *M. sanborni* pada bunga potong krisan dikatakan efektif apabila mampu mengendalikan kutudaun dan tidak berdampak negatif pada kualitas bunga potong krisan. Pada dosis perlakuan 200 Gy, bunga potong krisan masih tampak segar dan tidak terdapat bercak kecoklatan pada mahkota bunga hingga hari ke-9 pengamatan, seperti pada kontrol. Pada dosis 250 Gy, tingkat kerusakan berat pada bunga terjadi dalam rentang waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan dosis 200 dan 225 Gy. Dosis perlakuan 225 dan 250 Gy menghasilkan masa kesegaran bunga

lebih singkat dibandingkan dengan dosis 200 Gy. Pada saat proses iradiasi sinar gamma [^{60}Co] terhadap bagian tanaman menyebabkan terjadinya interaksi antara tiga komponen, yaitu energi foton sinar gamma dengan *biological macromolecule* (protein dan DNA tanaman) dan molekul air (H_2O) (Beyaz & Yildiz 2017). Interaksi tersebut menyebabkan terjadinya eksitasi dan ionisasi molekul air sehingga terbentuk radikal bebas yang mengakibatkan kerusakan protein atau DNA tanaman, seperti terjadi kelayuan dan busuk bunga atau tanaman. Hal yang sama terjadi pada bunga potong krisan dengan perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] dapat menyebabkan kerusakan bunga potong krisan var. Jimba Lima, namun dengan masa kesegaran bunga potong krisan mencapai 9 hari. Hasil penelitian ini sesuai dengan laporan Arisanti & Nintya (2012) bahwa bunga potong krisan akan layu dalam waktu 3 sampai 12 hari setelah dipotong dan direndam dalam air.

Pada saat penyimpanan, bunga potong krisan juga menghasilkan etilen secara alami, namun dampak etilen terhadap kelayuan bunga dapat dicegah dengan perlakuan penyimpanan dingin dalam *showcase* pada suhu 6 ± 1 °C dan RH $89\% \pm 3\%$. Pada suhu rendah pembentukan etilen dapat dihambat karena enzim pembentuk etilen dan enzim pada sel yang merespon etilen mengalami inaktivasi. Pada suhu tinggi tidak terjadi penghambatan pembentukan etilen sehingga etilen akan bereaksi dengan bunga potong krisan menyebabkan bunga mengalami kerusakan, layu, dan rontok.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] mampu menjadi salah satu alternatif perlakuan fitosanitari terhadap kegiatan ekspor bunga potong krisan var. Jimba Lima (*Chrysanthemum morifolium* var. Jimba Lima). Hal ini karena perlakuan iradiasi sinar gamma [^{60}Co] lebih efektif dalam mengendalikan kutudaun *M. sanborni*, praktis karena dapat dilakukan pada bunga potong krisan dalam kemasan, tidak menimbulkan kerusakan pada bunga potong krisan var Jimba Lima dalam waktu 9 hari, tidak meninggalkan residu yang berbahaya bagi konsumen (ramah lingkungan), dan efisien baik waktu maupun sumber daya manusia dalam proses pelaksanaannya. Biaya tarif PNBPN atas jasa perlakuan iradiasi sinar

gamma [⁶⁰Co] untuk keperluan industri relatif murah sesuai dengan Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 8 (2019), yaitu Rp. 40.000,00 untuk setiap box.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan iradiasi sinar gamma [⁶⁰Co] pada dosis 200 Gy efektif dalam mengendalikan kutudaun *M. sanborni*. Aplikasi dosis tersebut pada fase pradewasa menyebabkan perlambatan stadium perkembangan nimfa dan kegagalan dalam proses ganti kutikula, sedangkan aplikasi pada fase imago mengakibatkan keturunan yang dihasilkan sedikit dan hanya bertahan pada fase nimfa instar pertama. Imago juga menghasilkan nimfa instar pertama abnormal. Pada dosis tersebut tidak memberikan dampak negatif terhadap kualitas bunga potong krisan (*C. morifolium* var Jimba Lima) dengan masa kesegaran bunga mencapai 9 hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pertanian, Kementerian Pertanian yang telah memberikan fasilitas dana dan dukungan melalui program Tugas Belajar Kementerian Pertanian Republik Indonesia untuk Program Doktor (S3) dan Program Magister (S2) di Dalam Negeri. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) atas bantuan sarana dan fasilitas pelaksanaan iradiasi yang mendukung kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Amer M, Ahmed MA, Hatem AE. 2012. Effect of gamma irradiation combined with *Bacillus thuringiensis* (Kurs.) on some pests. *Egyptian Journal of Applied Science* 25:342–355.
- Arisanti D, Nintya S. 2012. Pengaruh pemberian vitamin c (asam askorbat) terhadap kesegaran bunga krisan (*Chrysanthemum* sp.) pada kawasan sentra penghasil di Desa Ngasem, Kecamatan Jetis, Bandung, Jawa Tengah. *Buletin Anatomi dan Fisiologi* 1:1–5.
- [Barantan] Badan Karantina Pertanian. 2012. *Pedoman Teknis Perlakuan Karantina Tumbuhan dengan Iradiasi Sinar Gamma*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Bayaz R, Yildiz M. 2017. The use of gamma irradiation in plant mutation breeding. Di dalam: Jurić S [Ed.]. *Plant Engineering*. hlm.33–46. London: InTechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.69974>.
- Blackman RL, Eastop VF. 2000. *Aphids on the World's Crops: an Identification and Information Guide*. London: The National History Museum.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2021. *Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri Ekspor, Desember 2020*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2014. SNI 4478 Tahun 2014 tentang krisan potong. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Chan CK, Forbes AR, Raworth DA. 1991. *Aphids-Transmitted Viruses and their Vectors of the World*. Ottawa: Agriculture Canada.
- Follett PA, Griffin RL, Griffin MEB. 2006. Irradiation as a phytosanitary treatment for insects and mites on agricultural commodities. *Recent Research Developments in Entomology* 5:1–26.
- Hallman GJ, Nichole ML, Larry Z, Ian CW. 2010. Factors affecting ionizing radiation phytosanitary treatments and implications for research and generic treatments. *Journal of Economic Entomology* 103:1950–1963. DOI: <https://doi.org/10.1603/EC10228>.
- Hallman GJ. 2011. Phytosanitary applications of irradiation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 10:143–151. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00144.x>.
- Hallman GJ, Blackburn CM. 2016. Phytosanitary irradiation. *Foods* 5:8. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods5010008>.
- Hofmeyr H, Doan TT, Indarwatmi M, Seth R, Zhan G. 2016. Development of a generic radiation dose for the postharvest phytosanitary treatment of mealybug species (Hemiptera: Pseudococcidae). *Florida Entomologist* 99:191–196.
- Indarwatmi M. 2017. *Keefektifan Iradiasi Gamma [⁶⁰Co] untuk Perlakuan Fitosanitari Hama Kutu Putih *Exallomochlus hispidus* (Morrison) (Hemiptera: Pseudococcidae) pada Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.)*. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [IPPC] International Plant Protection Convention. 2016. Guidelines for the use of irradiation as a

- phytosanitary measure. Di dalam: *International Standard for Phytosanitary Measures (ISPM) No. 18*. Roma: International Plant Protection Convention, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Kim BS, Park CG, Moon YM, Sung BK, Ren Y, Wylie SJ, Lee BH. 2016. Quarantine treatments of imported nursery plants and exported cut flowers by phosphine gas (PH₃) as methyl bromide alternative. *Journal of Economic Entomology* 109:2334–2340. DOI: <https://doi.org/10.1093/jeet/tow200>.
- Mifsud D, Mangion M, Azzopardi E, Espadaler X, Cuesta-Segura D, Watson GW, Hidalgo NP. 2011. Aphids associated with shrubs, herbaceous plants and crops in the Maltese Archipelago (Hemiptera: Aphidoidea). *Bulletin of the Entomological Society of Malta* 4:5–53.
- Nayak MK, Collins PJ. 2008. Influence of concentration, temperature, and humidity on the toxicity of phosphine to the strongly phosphine resistant psocid *Liposcelis bostrychopila* Badonnel (Psocoptera: Liposcelididae). *Pest Management Science* 64:971–976. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1586>.
- [PP] Peraturan Pemerintah. 2019. *Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Tenaga Nuklir Nasional*. Indonesia: Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Rachman N, Dadang, Kusumah RYM. 2015. Keefektifan fosfin formulasi cair terhadap *Aphis gossypii* Glover dan *Macrosiphoniella sanborni* Gillette (Hemiptera: Aphididae) pada bunga potong krisan. *Jurnal Entomologi Indonesia* 12:158–164. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.12.3.158>.
- Rukmana R. 2017. *Budi Daya dan Pascapanen Bunga Potong Unggulan*. Yogyakarta: Lily Publisher.
- Syauqi A, Dadang, Harahap IS, Indarwatmi M. 2020. Gamma irradiation against mealybug *Dysmicoccus lepelleyi* (Betrem) (Hemiptera: Pseudococcidae) on mangosteen fruit (*Garcinia mangostana* L.) as a quarantine treatment. *Radiation Physics and Chemistry* 179:108954. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108954>.
- Vogin G, Foray N. 2012. The law of Bergonié and Tribondeau: a nice formula for a first approximation. *International Journal of Radiation Biology* 89:2–8. DOI: <https://doi.org/10.3109/09553002.2012.717732>.
- Warmadewi DA. 2017. *Mutasi Genetik*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Widayanti S, Dadang, Harahap IS. 2017. Status resistensi terhadap fosfin pada *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) dari gudang penyimpanan biji kakao di Makassar Sulawesi Selatan. *Jurnal Entomologi Indonesia* 14:10–19. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.14.1.10>.
- Yusuf SE, Sihombing D, Handayati W, Nuryani W, Saepuloh. 2011. Uji efektivitas bioinsektisida berbahan aktif *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin terhadap kutudaun *Macrosiphoniella sanborni* pada krisan. *Jurnal Hortikultura* 2:265–273. DOI: <https://doi.org/10.21082/jhort.v21n3.2011.p265-273>.