

PERAN TEKNIK NUKLIR DALAM PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PENGENDALIAN HAMA

Singgih Sutrisno

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

ABSTRAK

PERAN TEKNIK NUKLIR DALAM PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PENGENDALIAN HAMA. Radiasi atom bermanfaat dalam penelitian dan pengembangan pengendalian hama yaitu dapat digunakan untuk membunuh secara langsung (*direct killing*) dengan teknik disinfestasi radiasi dan membunuh secara tidak langsung (*indirect killing*) yang dikenal dengan teknik serangga mandul (TSM). Potensi efek biologi dari interaksi radiasi dan materi dapat dibagi menjadi 4 grup sebagai berikut yaitu pertama *acute*, kedua *delayed*, ketiga *genetic* dan keempat *Foetal*. Sinar gamma dapat menembus butir-butir beras sehingga larva yang ada di dalamnya dapat terbunuh. Dosis 0,16 KGy tampak cukup efektif untuk perlindungan beras dari serangga ke empat jenis serangga hama *S. oryzae*, *E. kuhniella*, *T. confusum* dan *O. surinamensis*. LD_{100} untuk serangga *S. oryzae* 0,2 KGy dalam waktu 21 hari setelah iradiasi, untuk serangga *T. confusum* 0,25 kGy dalam waktu 29 hari dan untuk serangga *O. surinamensis* 0,20 KGy dalam waktu 15 hari. Konsep Teknik Serangga Mandul (TSM) secara eksperimental di lapang telah dapat dibuktikan melalui keberhasilan program eradikasi lalat ternak *Cochliomyia hominivorax* Coquerel di pulau Curacao, Caribia Amerika Serikat pada tahun 1954. Radioisotop dapat digunakan sebagai perunut untuk memecahkan masalah litbang pengendalian hama antara lain seperti akumulasi dan retensi senyawa dalam suatu organ pada proses fisiologi dan berfungsi sebagai label serangga di dalam habitatnya dalam penelitian ekologi serangga hama. Radioisotop telah digunakan di dalam penentuan dinamika populasi serangga di lapang dengan teknik *release and recapture*. Konsep TSM sebagai bagian dari pengendalian secara terpadu (PHT) pada daerah yang luas juga makin lama makin diterima karena adanya tuntutan global terhadap makanan yang bersih dan lingkungan yang sehat. Bahkan WTO menetapkan adanya standar proteksi tanaman dan hewan (*Sanitary and Phytosanitary Standards*). Strategi aplikasi TSM dalam PHT menurut Knippling ialah penekanan populasi (*suppression*), pemusnahan populasi (*eradication*), pengendalian populasi (*containment*) dan pencegahan populasi (*prevention*).

ABSTRACT

THE ROLE OF NUCLEAR TECHNIQUE IN THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF PEST CONTROL. Atomic radiation is useful in the research and development in pest control, it can be used to kill directly or direct killing using radiation disinfestations technique and to kill indirectly or indirect killing known as sterile insect technique (SIT). The potential biological effects of radiation and material interaction can be classified into four respective groups, acute effect, delayed effect, genetic effect and foetal effect. Gamma rays can penetrate into the rice grain so the larvae in it can be killed. The dose of 0,16 KGy shown an effective dose to protect rice grains against four rice pests *Sitophilus oryzae*, *Ephesthia kuhniella*, *Tribolium confusum*, and *Oryzophilus surinamensis*. LD_{100} for *S. oryzae* is 0,20 KGy within 21 days, for *T. confusum* 0,25 KGy within 29 days, and for *O. surinamensis* 0,20 KGy within 15 days. The concept of SIT has been approved experimentally by the success of eradication of screw worm flies *Cochliomyia hominivorax* Coquerel in the island of Curacao, Caribia USA in 1954. Radioisotopes can be used as a tracer for problem solving in the research and development of pest control such as accumulation and retention of chemical compounds in an organ in the process of physiology and as insect labeling in their habitat in the research of insect pest ecology. Radioisotopes have been used to determine the insect pest population dynamic in the field using release and recapture technique. The concept of SIT as apart of integrated pest management (IPM) in certain area is gradually gaining acceptance due to global demand for healthy food and clean environment. World Trade Organization (WTO) requires enforcement of Sanitary and Phytosanitary Standards. The strategy of the application of SIT in the integrated pest management (IPM) according to Knippling are suppression, eradication, containment and prevention.

PENDAHULUAN

Teknologi nuklir merupakan salah satu teknologi yang modern dan potensial telah

mengalami perkembangan kemajuan yang pesat di dalam bidang pertanian sejak COMAR (1955) dalam Lannunziata menerbitkan buku tentang dasar-dasar dan manfaat radioisotop di dalam

bidang biologi dan pertanian (1). Teknologi nuklir adalah teknologi yang memanfaatkan radiasi dan radioisotop untuk memecahkan masalah litbang karena memiliki sifat kimia dan sifat fisika yang sama dengan zat kimia biasa namun mempunyai kelebihan sifat fisika memancarkan sinar radioaktif. Kelebihan sifat fisika sebagai pemancar sinar radioaktif ini yang telah dimanfaatkan untuk memecahkan pada berbagai masalah litbang seperti misalnya pada litbang bidang pertanian, peternakan, kedok teran dan bidang industri.

Sinar γ , n , dan x dapat bermanfaat untuk pengendalian hama yaitu dapat digunakan untuk membunuh secara langsung (*direct killing*) dengan teknik disinfestasi radiasi dan membunuh secara tidak langsung (*indirect killing*) yang dikenal dengan teknik serangga mandul. Teknik Serangga Mandul (TSM) adalah suatu teknik pengendalian hama yang relatif baru yang merupakan teknik pengendalian hama yang potensial, ramah terhadap lingkungan, sangat efektif, spesies spesifik dan kompatibel dengan teknik lain. TSM sangat sederhana yaitu membunuh serangga dengan serangga itu sendiri (*autocidal technique*). Teknik ini meliputi iradiasi sejumlah serangga dengan sinar γ , n atau x , kemudian secara periodik dilepas di habitatnya sehingga berakibat makin menurunnya fertilitas populasi serangga di lapang. Secara teoritis pada generasi ke-4 fertilitas populasi serangga di dalam habitatnya mencapai titik terendah dan pada generasi berikutnya serangga musnah.

Radioisotop juga bermanfaat dalam bidang pengendalian hama, yaitu berfungsi sebagai perunut untuk memecahkan masalah litbang pengendalian hama antara lain seperti akumulasi dan retensi senyawa dalam suatu organ pada proses fisiologi dan berfungsi sebagai label serangga di dalam habitatnya sehingga dapat diikuti dan dipelajari perilaku gerakannya di dalam habitatnya. Dengan menggunakan metodologi perunut serangga bertanda di dalam habitatnya antara lain dapat digunakan untuk prediksi kemungkinan akan datangnya serangan hama, untuk deteksi dini dan untuk penentuan sumber pemencaran sehingga dapat dilakukan pencegahan atau pengendalian yang tepat. Disamping itu dengan prinsip dasar teknik pengenceran radioisotop dapat dilakukan pendugaan kepadatan dan dinamika populasi secara akurat dengan teknik *release and recapture*.

Jenis radioisotop yang sering digunakan untuk penandaan serangga ialah ^{32}P , karena sebagai pemancar beta kuat mudah dideteksi, waktu paruh pendek, hanya 14,3 hari sehingga

relatif aman bagi lingkungan. Radioaktivitas pada serangga bertanda ^{32}P dapat dicacah dengan menggunakan pencacah Geiger Müller (GM), pencacah sintilasi padat atau dengan pencacah sintilasi cairan. Isotop stabil seperti misalnya rubidium dapat digunakan untuk penandaan serangga dan dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) atau dapat pula diubah menjadi bentuk radioisotop agar dapat dideteksi. Isotop stabil dari hasil percobaan dapat disimpan dalam waktu yang lama sehingga analisisnya dapat dilakukan menurut waktu yang dikehendaki. Unsur stabil dapat diubah menjadi radioisotop melalui penembakan dengan neutron di dalam reaktor nuklir atau akselerator. Unsur yang telah mengalami aktivasi tersebut mempunyai karakteristik puncak sinar gamma dan selanjutnya dapat diidentifikasi dengan pencacah sintilasi padat, dengan sistem analisis salur banyak atau dapat pula dideteksi dengan autoradiografi.

Untuk serangga hama yang umurnya pendek antara 10 hari sampai dengan 15 hari seperti jenis serangga hama *Lepidoptera*, dan *Diptera* sangat tepat digunakan ^{32}P karena waktu paruh ^{32}P yang pendek 14,3 hari sehingga radiokativitasnya masih terdeteksi. Menurut WHO devinisi hama ialah organisme yang keberadaannya dan aktivitasnya konflik dengan kepentingan dan kebutuhan manusia yang saling bermusuhan untuk memperebutkan bahan pangan, bahan pakan ternak, pruduk fiber, binatang piaraan dan binatang buas, kualitas tanah, air dan udara, kesehatan masyarakat, rekreasi, dan barang bernilai seni atau aesthetik. Untuk serangga hama yang lain seperti *ordo Coleoptera* yang umurnya lebih panjang sampai beberapa bulan harus menggunakan jenis radioisotop yang lain yang waktu paruhnya lebih panjang seperti ^{35}S , ^{59}Fe , ^{60}Co , dan ^{14}C .

PRINSIP DASAR PENGARUH RADIASI PADA MATERI BIOLOGI

Ada dua hipotesis interaksi radiasi dengan materi, yang pertama teori hantaman langsung (*hit theory*) yaitu radiasi langsung menghantam materi yang dilaluinya dan yang kedua ialah teori hantaman tidak langsung (*indirect hit theory*) yaitu terjadinya radikal bebas yang reaktif yang dapat merusak materi yang diiradiasi. Dari interaksi antara radiasi dan materi hidup terjadilah efek biologis. Potensi efek biologi dari interaksi radiasi dan materi dapat dibagi menjadi 4 grup sebagai berikut (2) :

1. *Acute* (efek yang cepat terjadi dalam kurun waktu jam, hari atau minggu)
2. *Delayed* (efek yang tampak dalam kurun waktu bulan atau tahun)
3. *Genetic* (efek yang tampak hanya pada keturunan)
4. *Foetal* (efek yang terjadi pada embrio yang diradiasi)

Efek biologis akut pada hewan tingkat tinggi menurut derajat evolusinya yaitu mamalia terjadi pada butir-butir darah putih, butir-butir darah merah dan sel epitel usus. Sedang efek biologis yang lambat yaitu kerusakan pada jaringan yang terkena iradiasi dan timbulnya vibrosis, umur pendek, kanker, sterilitas dan efek genetik. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses kemandulan pada serangga ialah terjadinya infektiditas, inaktivasi sperma, mutasi letal dominan, aspermia dan ketidakmampuan kawin dari serangga betina atau serangga jantan. Radiasi dapat mengurangi produksi telur yang disebabkan tidak terjadinya proses oogenesis sehingga tidak terbentuk oogenia atau telur. Aspermia dapat menyebabkan kemandulan karena radiasi merusak spermatogenesis sehingga tidak terbentuk sperma, inaktivasi sperma juga dapat menyebabkan kemandulan karena sperma tidak mampu bergerak untuk membuahi sel telur. Dalam hal ini bila radiasi cukup rendah sperma masih terbentuk atau proses spermatogenesis tidak terganggu namun sperma yang terbentuk lemah atau inaktif. Faktor penyebab kemandulan yang lain ialah ketidakmampuan kawin, hal ini radiasi merusak sel-sel somatik saluran genitalia interna sehingga tidak terjadi pembuahan sel telur.

Faktor yang dianggap menyebabkan kemandulan pada serangga iradiasi ialah mutasi lethal dominan⁽³⁾. Dalam hal ini inti sel telur atau inti sperma mengalami kerusakan sebagai akibat iradiasi sehingga terjadi mutasi gen. Mutasi lethal dominan tidak menghambat proses pembentukan gamet jantan maupun betina, dan zygot yang terjadi juga tidak dihambat namun embrio akan mengalami kematian. Prinsip dasar mekanisme kemandulan ini untuk selanjutnya dikembangkan sebagai dasar pengembangan teknik pengendalian hama yang disebut Teknik Jantan Mandul yang dalam perkembangannya disebut Teknik Serangga Mandul. Bila dosis iradiasi yang digunakan cukup tinggi maka dapat menyebabkan kematian, dosis radiasi yang menyebabkan kematian ini digunakan sebagai dosis disinfestasi radiasi serangga hama gudang untuk pengawetan bahan pangan pasca panen.

PERANAN RADIASI PADA LITBANG PENGENDALIAN HAMA

Teknik Disinfestasi Radiasi untuk Pengawetan Bahan Pangan

Masalah utama yang dihadapi selama masa penyimpanan beras di gudang adalah kerusakan yang disebabkan oleh serangga. Ada empat jenis serangga hama penting yang menyerang beras di Indonesia yaitu bubuk beras *Sitophilus oryzae* (L), ngengat *Ephestia kuhniella*, *Tibolium confusum* (Duv) dan kumbang fuli *Oryzaephilus surinamensis* (L) (8, 9). Kerusakan beras oleh bubuk beras mulai dari panen sampai ke konsumen dapat mencapai 25 %. Pemberantasan dengan insektisida fumigan belum dapat memberikan hasil yang memuaskan karena larva bubuk beras yang berada di dalam butir beras sukar ditembus oleh fumigan.

Iradiasi sinar gamma dapat menembus butir-butir beras sehingga larva yang ada di dalamnya dapat terbunuh. Penyinaran dengan sinar gamma menggunakan gamma cell 220 pada dosis 0,075 kGy, 0,45 kGy, 0,1 kGy dan 0,1 kGy masing-masing berturut-turut dapat menyebabkan kemandulan penuh (100 %) pada serangga hama *S. oryzae*, *E. kuhniella*, *T. confusum* dan *O. surinamensis*. LD_{100} untuk serangga *S. oryzae* 0,2 kGy dalam waktu 21 hari setelah iradiasi, untuk serangga *T. confusum* 0,25 kGy dalam waktu 29 hari dan untuk serangga *O. surinamensis* 0,20 kGy dalam waktu 15 hari. Dosis 0,16 kGy tampak cukup efektif untuk perlindungan beras dari serangga ke empat jenis serangga ini (10, 11, 12, 13, 14).

Integrasi pengendalian dengan cara fumigasi metil bromida dan dosis rendah 0,075 kGy sama baiknya dengan disinfestasi radiasi dengan dosis 0,16 kGy. Disinfestasi radiasi tidak mengubah kualitas beras yang diradiasi. Iradiasi beras sampai dosis 1 kGy tidak menyebabkan perubahan pada kadar thiamin dan riboflavin, demikian pula terhadap nilai organoleptik (13, 14). Teknik disinfestasi radiasi untuk perlindungan atau pengawetan beras dalam penyimpanan di gudang (Silo) belum diaplikasikan secara komersial walaupun Direktorat Jendral Obat dan Makanan Depkes RI pada tahun 1995 telah mengeluarkan ijin (*clearance certificate*) maksimal dosis 5 kGy diijinkan untuk pengawetan biji-bijian. Pengembangan aplikasi teknik disinfestasi radiasi untuk pengawetan atau perlindungan produk pertanian lain yaitu disinfestasi radiasi daun tembakau kering untuk pembungkus cerutu juga telah dilakukan yaitu dengan menggunakan

minibal tembakau. Tidak ditemukan perbedaan yang nyata antara fumigasi CS₂ dan disinfestasi radiasi dosis 0,05 kGy atau 0,07 Kgy. Baik CS₂ maupun disinfestasi radiasi membunuh semua stadia serangga hama tembakau *Lasioderma serricornis* (F) (15).

Teknik Serangga Mandul

Konsep penggunaan serangga hama untuk pemberantasan atau pengendalian serangga hama itu sendiri melalui sistem pelepasan serangga mandul berasal dari Knipling dalam Henneberry pada tahun 1937 (5). Teknik ini meliputi pemeliharaan massal serangga hama yang menjadi sasaran pengendalian, kemandulan yang terinduksi oleh ionisasi radiasi dan pelepasan jumlah serangga hama dalam jumlah yang cukup banyak untuk mendapatkan perbandingan yang tinggi antara serangga mandul yang dilepas dan populasi serangga alam. Perkawinan serangga sebagian besar terjadi antara serangga jantan mandul dengan serangga betina alam sehingga potensi penampilan reproduksi serangga alam berkurang secara proporsional.

Walaupun konsep TSM sangat sederhana namun dalam implementasinya tidak demikian sederhana karena meliputi banyak kegiatan penelitian yang meliputi biologi dasar, ekologi lapang, estimasi. Jumlah serangga di lapang untuk tiap-tiap musim, efektivitas metoda sampling populasi sebelum selama dan setelah pengendalian dilakukan, orientasi dosis radiasi yang menyebabkan kemandulan, daya saing kawin serangga mandul, metoda mass rearing yang ekonomis, metodologi pelepasan serangga mandul, transportasi serangga jarak jauh, pemencaran dan perilaku kawin serangga mandul di lapang organisasi pelaksana dan personalia di lapang. Ini adalah beberapa kegiatan riset yang penting sebelum dilakukan program pengendalian.

Konsep TSM secara eksperimental di lapang telah dapat dibuktikan melalui keberhasilan program eradikasi lalat ternak *Cochliomyia hominivorax* Coquerel di pulau Curacao di selat Caribia Amerika Serikat pada tahun 1954 (6). Selanjutnya diikuti dengan keberhasilan pengendalian hama yang lain seperti *Ceratits capitata* (Wiedemann) di USA pada tahun 1970-an, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) di Okinawa pada th. 1990 an dan lalat tsetse *Glossina austeni* Newstead di Zanzibar dan Tanzania pada tahun 1997. Menurut La Chance (3) syarat keberhasilan penggunaan teknik serangga mandul sebagai berikut :

1. Kemampuan pemeliharaan serangga secara massal dengan biaya murah.

2. Serangga hama sebagai target pengendalian harus dapat menyebar kedalam populasi alam sehingga dapat kawin dengan serangga betina fertil dan dapat bersaing dengan serangga jantan alami.
3. Iradiasi harus tidak menimbulkan pengaruh negatif terhadap perilaku kawin dan umur serangga jantan.
4. Serangga betina kawin satu kali, bila serangga betina kawin lebih dari satu kali maka produksi sperma jantan iradiasi harus sama dengan produksi sperma jantan alam.
5. Serangga hama yang akan dikendalikan harus dalam populasi rendah atau harus dikendalikan dengan teknik lain agar cukup rendah sehingga cukup ekonomis untuk dikendalikan dengan TSM.
6. Biaya pengendalian dengan teknik serangga mandul harus lebih rendah dibandingkan dengan teknik konvensional.
7. Perlu justifikasi yang kuat untuk penerapan biaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik konvensional apabila dengan TSM diperoleh keuntungan untuk perlindungan kesehatan dan lingkungan.
8. Serangga mandul yang dilepas harus tidak menyebabkan kerusakan pada tanaman, ternak atau menimbulkan penyakit pada manusia.

Menurut Knipling ada 2 macam metode Teknik Serangga Mandul (7) yaitu :

1. Metode yang meliputi pembiakan massal di laboratorium, pemandulan serangga dan pelepasan serangga mandul ke lapang.
2. Metode pemandulan langsung terhadap serangga lapangan.

Metoda pertama yaitu menerangkan jika kedalam suatu populasi serangga dilepaskan serangga mandul, maka kemampuan populasi tersebut untuk berkembangbiak akan menurun sesuai dengan perbandingan antara serangga mandul yang dilepaskan dan populasi serangga di lapangan. Apabila perbandingan antara serangga jantan mandul dengan serangga jantan normal yang ada di lapangan 1 : 1, maka kemampuan berkembang-biak populasi tersebut akan menurun sebesar 50 %. Jika perbandingan tersebut adalah 9 : 1, maka kemampuan populasi tersebut untuk berkembang biak akan menurun sebesar 90 % dan seterusnya.

Metoda kedua, yaitu metoda tanpa pelepasan serangga yang dimandulkan. Metoda ini dilaksanakan dengan prinsip pemandulan langsung terhadap serangga lapangan yang dapat dilakukan dengan menggunakan kemosterilan baik pada jantan maupun betina. Dengan metode kedua

ini akan diperoleh dua macam pengaruh terhadap kemampuan berkembang biak populasi. Kedua pengaruh tersebut adalah mandulnya sebagian serangga lapangan sebagai akibat langsung dari kemosterilan dan pengaruh kemudian dari serangga yang telah menjadi mandul terhadap serangga sisanya yang masih fertil. Namun demikian kemosterilan merupakan senyawa kimia yang bersifat mutagenik dan karsinogenik pada hewan maupun manusia sehingga teknologi ini tidak direkomendasikan untuk pengendalian hama.

PERANAN RADIOISOTOP PADA LITBANG PENGENDALIAN HAMA

Apabila senyawa kimia dengan bertanda isotop radioaktif (*labelled compound*) dimasukkan ke dalam tubuh organisma maka senyawa itu yang mengalami rangkaian reaksi-reaksi dalam metabolisme, selama dalam perjalanan proses tersebut dapat diikuti. Lain halnya apabila senyawa itu mengandung isotop yang stabil, maka hanya dengan analisa kimia saja unsur itu dapat ditemukan kembali.

Dengan teknik perunut radioisotop seperti tersebut dapat diukur atau diketahui proses fisiologi secara lebih teliti dan dalam waktu yang relatif singkat yaitu dimana ia terkumpul dalam organ-organ tubuh, kecepatan peredarannya, berapa banyaknya (retensi dan akumulasi) dan kapan ia tidak dibutuhkan lagi (eksresi dan eliminasi). Proses di dalam sistem biologi ini dapat dipelajari dengan menggunakan prinsip kinetika kimia perunut yaitu dapat digambarkan secara matematika keseimbangan proses laju reaksi yang terjadi. Sistem dan kompartemen pada hewan lebih nyata dibandingkan dengan tumbuhan sehingga analisis kinetika kimia perunut lebih banyak digunakan untuk mempelajari fisiologi hewan. Dalam hal ini maka isotop tadi bermanfaat sebagai penanda alur yang biasa dilalui unsur kimia dalam keadaan normal, ini disebut penggunaan radioisotop sebagai perunut (*tracer*). Penggunaan suatu radioisotop untuk perunut pertama kali dikenalkan isotop ^{212}Pb untuk mengetahui daya kelarutan garam Pb. Sejak itu metode perunut telah digunakan sebagai teknik standar di dalam berbagai bidang seperti bidang pertanian, biologi, kimia, kedokteran dan fisika. Prinsip dasar yang sangat sederhana perunut radioisotop ialah radioisotop yang kadarnya sangat rendah dapat untuk mengikuti (mempelajari) perilaku unsur kimia yang kadarnya jauh lebih tinggi dari radioisotop (1).

Untuk mendapatkan kemajuan yang berkelanjutan dalam pengelolaan hama maka dengan radioisotop dapat diperoleh pengetahuan yang rinci secara terus-menerus tentang hama, biologi hama, ekologi, perilaku, parasit, predator, penyakit, dan interaksinya dengan hama yang lain. Bagi keperluan perencanaan pengendalian hama yang baik, pengetahuan yang mendalam tentang serangga menjadi suatu keharusan. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa serangga merupakan bagian terbesar dari Arthropoda. Penandaan serangga dengan radioisotop (perunut) dapat memberikan banyak informasi yang diperlukan dalam mempelajari populasi serangga. Menurut Cromroy (12), metodologi perunut terdiri atas dua teknik,

1. Penggunaan perunut radioisotop untuk mengikuti jalan radioisotop dalam sistem fisika, sistem kimia, atau sistem biologi. Sedangkan penggunaan radioisotop dalam bidang entomologi dilakukan antara lain untuk mempelajari pemencaran serangga dan identifikasi predatornya di dalam suatu studi ekologi.
2. Pengenceran perunut radioaktif, adalah teknik yang bermanfaat untuk penentuan massa yang dapat saling bertukar dari suatu substansi di dalam sistem. Prinsip pengenceran radioisotope adalah bahwa dalam suatu waktu yang tertentu konsentrasinya berbanding terbalik dengan massa yang dapat ditukar dengan massa perunut yang dapat bercampur secara homogen.

Kedua teknik ini telah digunakan di dalam penentuan dinamika populasi serangga di lapang. Bila diketahui jumlah serangga bertanda yang dilepas, jumlah serangga yang tertangkap di dalam perangkap, jumlah serangga tidak bertanda yang tertangkap di dalam perangkap, maka estimasi jumlah populasi di daerah tersebut dapat dihitung. Hubungan antara estimasi jumlah serangga jantan alami per hektar (N) dan jumlah serangga jantan alami yang tertangkap per perangkap per malam (n) dihitung dengan analisis persamaan regresi linier yang sederhana (n variabel bebas dan N variabel tidak bebas). Variabel bebas yang lain ialah m yang merupakan serangga jantan bertanda yang tertangkap per malam dan M adalah jumlah serangga jantan bertanda yang dilepas per hektar (13).

$$N = (n/m) M \quad (1)$$

Radioisotop yang digunakan untuk penandaan serangga antara lain ^3H , ^{32}P , ^{14}Ca , ^{45}K ,

^{35}S , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{14}C . Penandaan serangga dengan isotop lebih menguntungkan dibandingkan dengan zat warna karena isotop yang digunakan itu dapat terikat pada jaringan. Sebagai bahan pertimbangan pemilihan jenis radioisotop perlu diperhatikan waktu berlangsungnya percobaan. Hal ini dilakukan karena telah ditemukan beberapa jenis radioisotop yang ternyata toksik pada serangga yaitu ^{45}Ca , ^{59}Fe , ^{86}Rb , ^{110}Ag , ^{115}Cd , dan ^{131}I (14). Dengan demikian untuk memilih jenis radioisotop yang tepat perlu dipertimbangkan beberapa hal (1) :

1. Sifat nuklir zat radioaktif
Setiap jenis radioisotop mempunyai spesifikasi tertentu yaitu umur paruh, jenis radiasi dan energi yang dipancarkan. Umur paruh radioisotop sangat penting dalam pemilihan jenis radioisotop yang akan digunakan dalam penelitian karena akan disesuaikan dengan umur serangga dan waktu percobaan.
2. Sifat difusi zat radioaktif
Sifat kemudahan terserap oleh tubuh serangga tertentu yaitu dengan menggunakan zat kimia tertentu yang sesuai dengan metabolisme jenis serangga.
3. Aspek ekologi
Beberapa aspek ekologi serangga antara lain habitat serangga, lama siklus hidup, rantai makanan dan kemungkinan kontaminasi terhadap lingkungan.

APLIKASI TEKNIK SERANGGA MANDUL DAN PROSPEK PENGEMBANGANNYA

Aplikasi TSM secara tersendiri ataupun secara terpadu dalam konsep pengendalian hama terpadu (*Integrated Pest Management*) memperoleh momentum yang tepat karena makin berkembangnya permintaan secara global akan pengurangan pestisida untuk mendapatkan lingkungan yang bersih dan makanan yang bebas residu. Pengendalian hama terpadu adalah pemilihan, integrasi dan implementasi teknik pengendalian hama agar supaya secara ekonomis, ekologis, sosiologis menguntungkan (23). Walaupun dengan asumsi tidak ada masalah penolakan global terhadap insektisida tetapi ada masalah biaya pengembangan dan produksi insektisida baru makin tinggi karena adanya resistensi, resistensi silang ataupun dituntut adanya pestisida baru yang ramah lingkungan. Konsep TSM sebagai bagian dari pengendalian secara terpadu (PHT) pada daerah yang luas juga makin lama makin diterima karena adanya tuntutan global akan makanan yang bersih dan

lingkungan yang sehat. Bahkan WTO menetapkan adanya standar proteksi tanaman dan hewan (*Sanitary and Phytosanitary Standards*). Strategi aplikasi TSM dalam PHT menurut Knippling (7) dalam Hendrichs, ialah penekanan populasi (*suppression*), pemusnahan populasi (*eradication*), pengekangan populasi (*containment*) dan pencegahan populasi (*prevention*).

Penekanan Populasi

Penekanan populasi ialah aplikasi suatu teknik pengendalian hama pada habitatnya untuk mengurangi kepadatan populasinya. Sasaran penekanan populasi ialah memelihara populasi hama dibawah level ambang luka ekonomi (*Economic injury level*) dan atau prevalensi. Ambang luka ekonomi ialah level populasi hama yang secara ekonomi dan atau prevalensi merugikan. Strategi aplikasi penekanan populasi ini memerlukan pelepasan serangga mandul secara berkelanjutan agar tidak terjadi *outbreak* atau wabah hama.

Eradikasi Populasi

Radikasi populasi ialah aplikasi suatu teknik pengendalian hama untuk menghilangkan hama dari suatu habitat atau populasi lokal. Strategi eradikasi hama dalam kurun waktu yang lama lebih banyak mengurangi insektisida dibandingkan dengan strategi penekanan populasi. Ada dua hal penting yang harus diperhatikan pada strategi eradikasi hama yaitu pertama pelepasan serangga mandul harus selalu dilakukan sampai tidak terdeteksinya hama pada suatu area target, yang kedua ialah harus ada keputusan pemberhentian pelepasan serangga mandul sebagai bukti bahwa daerah target telah tereradikasi. Status eradikasi ada dua macam yaitu eradikasi permanen bila tidak ditemukan hama lagi dalam kurun waktu tertentu namun bila ditemukan adanya hama lagi maka disebut eradikasi periodik karena adanya reinvestasi dari luar.

Pengekangan Populasi (*containment*)

Pengekangan populasi adalah aplikasi suatu teknik pengendalian di dalam dan atau di sekeliling habitatnya untuk mencegah penyebaran. Daerah ini disebut daerah penyangga atau *buffer zone* dari daerah yang bebas hama.

Pencegahan Populasi (*prevention*)

Pencegahan populasi adalah aplikasi suatu teknik pengendalian hama di dalam dan atau di

sekeliling habitatnya untuk mencegah reinvestasi. Strategi pencegahan dilakukan bila invasi dari luar cukup kuat dan prosedur karantina tidak dapat mencegahnya.

KESIMPULAN

Radiasi dan radioisotop bermanfaat dalam penelitian dan pengembangan pengendalian hama. Potensi efek biologi dapat dibagi menjadi 4 grup ialah *acute*, *delayed*, *genetic* dan *Foetal*. Radiasi atom dapat digunakan untuk pengawetan bahan pangan hasil pertanian kering seperti beras dengan teknik disinfestasi radiasi. Dosis 0,16 KGy tampak cukup efektif untuk perlindungan beras dari serangga ke empat jenis serangga hama *S. oryzae*, *E.kuhniella*, *T. confusum* dan *O. surinamensis*. Radiasi atom juga dapat digunakan untuk pengendalian hama di lapang. Konsep Teknik Serangga Mandul (TSM) secara eksperimental di lapang telah dapat dibuktikan melalui keberhasilan program eradikasi lalat ternak *Cochliomyia hominivorax* Coquerel di pulau Curacao, Caribia Amerika Serikat pada tahun 1954. Sukses selanjutnya untuk jenis Diptera yang lain telah dilakukan di banyak Negara sehingga memberikan keyakinan kekuatan dan potensi TSM. Radioisotop dapat digunakan sebagai perunut untuk memecahkan masalah litbang pengendalian hama antara lain pada proses fisiologi dan sebagai label serangga dalam penelitian ekologi serangga hama seperti pemencaran, jarak terbang dan dinamika populasi. TSM sebagai bagian dari pengendalian hama secara terpadu (PHT) pada daerah yang luas juga makin lama makin diterima. Strategi aplikasi TSM dalam PHT ialah penekanan populasi pemusnahan populasi, pengekangan populasi dan pencegahan populasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Sdr. Dodon Sutarji teknisi di Kelompok Pengendalian Hama PATIR Batan atas bantuannya dalam mempersiapkan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. LANNUNZIATA M.F. and LEGG, J.O., Isotopes and radiation in Agricultural Sciences, Vol. I Soil - Plant - Water relationships, Academic Press, London, Orlando San Diego, San Francisco, New York, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo, Sao Paulo (1980).
2. BROWN, J.K., *Radiation Biology, Radioisotope Course for Graduates*, Australian School of nuclear Technology Lucas Height (1973).
3. LA CHANCE, L.E., Genetics and Genetic Manipulation Techniques, *Proc. Of FAO/IAEA Training Course on the Use of Radioisotopes and Radiation in Entomology*, Univ. of Florida (1979) 97 - 99.
4. CROMROY, H.L., Application of Basic Isotopic Techniques in Pest Management, *Proc. of FAO/IAEA Training Course on the Use of Radioisotopes and Radiation in Entomology*, Univ. of Florida (1979) 56 - 58.
5. HENNEBERRY, T.J., Developments in Sterile Insect Release Research for the Control of Insect Populations, *Proc. of FAO/IAEA Training Course on the Use of Radioisotopes and Radiation in Entomology*, Univ. of Florida (1979) 213 - 223.
6. SNOW, W., The Screwworm, *Proc. of FAO/IAEA Training Course on the Use of Radioisotopes and Radiation in Entomology*, Univ. of Florida (1977) 147 - 155.
7. KNIPLING, E., Suppression of Pest Lepidoptera by releasing partially sterile males A. theoretical appraisal, *Bio. Science* (20) (1970) p. 465 - 470.
8. ANONIMOUS, Laporan akhir Penelitian Pengawetan Beras dengan Radiasi Sinar Gamma, *P₂P_sD/39/1970*, PAIR BATAN, Jakarta (1970).
9. ISMACHIN, M. dan ABDULLAH, N., Aspek Penelitian yang sudah dan sedang dikerjakan alam Hubungan Pemakaian Radiasi untuk Pengawetan Beras, *P₂P_sD/08/1970*, PAIR BATAN, Jakarta. (1970).
10. ISMACHIN, M., Studi Pengawetan Beras dengan Menggunakan Sinar Gamma (⁶⁰Co), *P₂P_sD/55/1971*, BATAN, Jakarta (1971).
11. LIAT, T.S., Food Irradiation in Indonesia, *P₂P_sD/65/1972*, PAIR BATAN, Jakarta (1972).

12. ABDULLAH, N., Status Pengawetan Makanan dengan Radiasi di Indonesia, *Seminar Teknologi Pangan Pertama*, 26 Februari - 1 Maret 1973, Bogor (1973).
13. HOEDAYA, M.S., HUTABARAT, D., SASTRADIHARJA, S.I. and SUTRISNO, S., Radiation Effects on Four Species of Insects in Stored Rice and the Use of Radiation Disinfestation in their Control, *Proc. of a Symp. on Radiation Preservation of Food, Organized by IAEA and FAO of UN*, Bombay 13 - 17 November 1972, IAEA, Vienna (1973) p. 281 - 292.
14. SUGIYAT, Y., Pengaruh Radiasi Disinfestaasi terhadap Sifat-sifat Fisik dan Kimia Beras, *PPPJT.64/1975*, PAIR BATAN, Jakarta (1975).
15. HOEDAYA, M.S., SASTRADIHARJA, S.I. dan SUTRISNO, S., Pengaruh Radiasi Pada Kumbang Tembakau *Lasioderma serricornis* F. dan Disinfestasi Radiasi Pada Daun Tembakau Kering, *Majalah BATAN VI : 2 & 3* (1973) p. 61 - 62.
16. SUTRISNO, S., HOEDAYA, M.S., SUTARDJI, D. and RAHAYU, A., Radiation Induced F₁ Sterility in Diamondback Moth, *Plutella xylostella* L and tropical Army Worm, *Spodoptera litura* (F). *Proc. of the final Research Coordination Meeting on Radiation Induce F₁ Sterility in Lepidoptera for Area - Wide Control*, Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Phoenix, 9 - 13 September 1991, IAEA, Vienna (1993) p. 23 - 36.
17. SANTOSO, B., WINIA, S., SUTARDJI, D. dan SUTRISNO, S., Pengaruh iradiasi dan seks rasio terhadap Penetasan telur dan uji Pengendalian Hama Tebu *Chilo auricilius* Dudgeon dengan Pelepasan Serangga Substeril di lapang, *Risalah Pertemuan Ilmiah Aplikasi isotop dan Radiasi dalam Bidang Pertanian, Peternakan dan Biologi*, 9 - 10 Desember 1992, PAIR BATAN, Jakarta (1993) p. 385 - 395.
18. SANTOSO, B. dan SUTRISNO, S. Mempelajari Teknik Pengendalian Hama Tebu *Chilo auricilius* Dudgeon dengan Pengelepasan Serangga Substeril, *Risalah Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi dalam Bidang Pertanian Peternakan, dan Biologi*, 30 - 31 Oktober 1990, BATAN, Jakarta (1991) p. 453 - 455.
19. SUTRISNO, S., Penandaan Penggerek Batang Padi Bergaris (*Chilo suppressalis* Walker) dengan Radioisotop untuk Studi Pola Pemencaran, *Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung* (1977) 89 - 104.
20. PROVERBS, M.D., Induced Sterilization and Control of Insects, *Annu. Rev. Entomol.* (17) (1968) p. 81 - 102.
21. SUTRISNO, Population Suppression of Diamond back Moth *Plutella xylostella* (L) and Cabbage Webworm *Crocidolomia binotalis* Zell by Releasing of Irradiated Moths and Their progeny under Field Cage and Limited Area Conditions, *Final Progress Report Research Contract IAEA, Penang, Malaysia* (1998).
22. LASTER, M.L., Inter Specific Hybridization of *Heliothis virescens* and *H. subflexa*. *Eviron. Entomology*, (1) (1972) 682 - 687.
23. KLASSEN, W., Strategies for Managing Pest Problems, *Proc. of FAO/IAEA Training Course on the Use of Radioisotopes and Radiation in Entomology*, Univ. of Florida (1977) p. 248 - 283.

DISKUSI

SOFNIE M. CHAERUL (PATIR-BATAN)

Seperti diketahui bahwa nyamuk *Anopheles* dapat menyebabkan penyakit malaria. Yang saya tanyakan :

1. Apakah jenis nyamuk tersebut ada di kota besar ?
2. Di mana saja populasi nyamuk tersebut yang terbanyak ?
3. Bagaimana cara mencegah adanya populasi nyamuk tersebut selain teknik TSM secara resmi ?

SINGGIH SUTRISNO

1. Di kota-kota besar populasi rendah tergantung topography.
2. Di kota-kota besar yang dominan *Aedes* & *Culex*. Ada 3 tingkatan, yaitu : *A. mareulatus*, *A. aconitus*, *A. sudaicus*.
Di Irian populasi tingkat tinggi, juga di Jawa, seperti : di Solotigo (*A. mareulatus*), di Kulon Progo (*A. aconitus*), di Ciamis Pangandaran (*A. sudaicus*)

3. Cara mencegah nyamuk :

- pemberantasan larva = abate
- pemberantasan nyamuk dewasa = insektisida
- sulit diberantas = rate of increase tinggi

ELSJE L. SISWORO

Di bidang pemupukan C-14 (waktu paruh \pm 5000 tahun) tidak dianjurkan lagi pemakaiannya oleh IAEA, untuk menggunakan isotop stabilnya yaitu C-13, ini tentu harus diperhatikan untuk bidang lainnya.

Bagaimana kalau menggunakan radioisotop pemancar γ yang agak panjang umur paruhnya, seperti Zn-65 (γ) 265 hari, Rb-86 (18 hari) pengganti C-14 ?

SINGGIH SUTRISNO

Zn-65, Rb-86 tidak digunakan dalam penelitian pengendalian hama, Rb-86 toxic dan C-14 digunakan untuk penelitian fisiologi di laboratorium, bahkan kami telah menggunakan Rb stabil dengan NAA.

