

KAJIAN TEKNIS PEMANFAATAN AKSELERATOR ION UNTUK MUTASI INDUKSI

Djoko S. Pudjorahardjo, Tjipto Sujitno, H. Muryono

Puslitbang Teknologi Maju, BATAN

ABSTRAK

KAJIAN TEKNIS PEMANFAATAN AKSELERATOR ION UNTUK MUTASI INDUKSI. Berkaitan dengan program jangka panjang Puslitbang Teknologi Maju BATAN Yogyakarta mengenai pembangunan laboratorium berbasis akselerator, telah dilakukan kajian teknis pemanfaatan akselerator ion untuk mutasi induksi. Berkas ion yang dihasilkan oleh akselerator dapat dimanfaatkan untuk menginduksi terjadinya mutasi genetik yang mengarah pada perbaikan kualitas dan kuantitas jasad hidup (mikroorganisme, tanaman, hewan). Mutasi genetik yang dilakukan dengan bantuan berkas ion disebut mutasi induksi. Berkas ion dalam hal ini disebut sebagai mutagen fisik. Mutagen fisik selain berkas ion adalah sinar γ , sinar X dan berkas elektron. Mutasi induksi pada tanaman dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh jenis, varietas atau klon baru yang mempunyai sifat unggul seperti umur genjah, tahan terhadap hama dan penyakit, produksi tinggi, dan kualitas bagus. Dari hasil kajian yang telah dilakukan ternyata berkas ion sebagai mutagen fisik menguntungkan dibandingkan dengan mutagen fisik lainnya. Keuntungan tersebut antara lain berupa nilai LET (Linear Energy Transfer) dan nilai laju mutasi yang lebih. Jenis akselerator ion yang diperlukan adalah siklotron AVF (Azimuthally Varying Field) yang dapat menghasilkan berkas ion dengan energi ion hingga 350 MeV. Mutasi induksi biasanya menggunakan ion-ion H, He, C, Ar, Ne, Ni, Al, Xe, Au dengan dosis ion dari 10 sampai 250 Gy, arus ion dari 0,01 sampai 100 nA, lama iradiasi 5 sampai 30 detik.

Kata kunci: akselerator, berkas ion, mutasi induksi.

ABSTRACT

STUDY OF ION ACCELERATOR APPLICATION FOR INDUCED MUTATION. Related to the long term program of the Center for Research and Development of Advanced Technology i.e. development of accelerator based laboratory, the utilization of ion accelerator for induced mutation has been studied. The ion beam of accelerator can be utilized to induce genetic mutation for improving quality and quantity of organism (micro-organism, plant, animal). Genetic mutation which is done by using ion beam called induced mutation. In this case, ion beam is called as physical mutagen. The γ rays, X rays and electron beam are also physical mutagen. The goal of the induced mutation of plants is to obtain a new clone, new variety that is consider as superior. It means that the mutant has short juvenile periods, good performance, good quality product and good quantity. From the study it is concluded that ion beam as physical mutagen has some benefit compared with the other physical mutagens, i.e. ion beam gives higher LET (Linear Energy Transfer) value and mutation rate. The type of ion accelerator for induced mutation is AVF (Azimuthally Varying Field) cyclotron which can produce ion energy up to 350 MeV. Induced mutation usually use H, He, C, Ar, Ne, Ni, Al, Xe, Au ions with the dose from 10 up to 250 Gy, ions current from 0,01 up to 100 nA, and irradiation time from 5 up to 30 seconds.

Keywords: accelerator, ion beam, induced mutation.

PENDAHULUAN

Akselerator merupakan perangkat nuklir untuk mempercepat partikel bermuatan sehingga mempunyai energi kinetik tertentu sesuai dengan tujuan dari aplikasi

partikel bermuatan tersebut. Pada awalnya akselerator dimanfaatkan untuk menghasilkan partikel energi tinggi untuk tujuan penelitian dasar partikel energi tinggi. Kemudian dengan karakteristik yang dimiliki oleh berkas partikel bermuatan yang dihasilkan akselerator dan hasil

interaksinya dengan materi, maka pemanfaatan akselerator makin berkembang hingga menjangkau di berbagai bidang.

Diantara sekian banyak pemanfaatan akselerator, salah satunya adalah pemanfaatan di bidang biologi untuk mutasi induksi tanaman. Peranan akselerator di bidang ini adalah sebagai penghasil berkas ion untuk mengiradiasi sampel berupa gen atau kromosom di dalam inti sel tanaman. Hal ini dimungkinkan karena berkas ion dapat menimbulkan ionisasi dan eksitasi yang terlokalisir di sepanjang lintasan berkas ion di dalam material yang dilaluinya^[1]. Dalam proses ionisasi dan eksitasi tersebut terjadi transfer energi dari ion ke atom-atom material. Bila material tersebut berupa inti sel tanaman maka akan terjadi mutasi pada gen atau kromosom di dalam inti sel tanaman sehingga menghasilkan varitas baru. Mutasi yang terjadi menggunakan berkas ion disebut sebagai **mutasi induksi**.

Mutasi induksi pada tanaman merupakan suatu hal yang penting untuk dilakukan, terutama untuk tujuan peningkatan produksi dan kualitas bahan makanan berbasis tanaman. Bahan makanan merupakan kebutuhan pokok manusia yang paling mendasar. Dengan adanya krisis yang melanda Indonesia sejak beberapa tahun terakhir ini pemenuhan kebutuhan bahan makanan bagi masyarakat menjadi masalah nasional yang harus diselesaikan. Peningkatan produksi dan kualitas bahan makanan merupakan suatu usaha yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut.

Pemanfaatan berkas ion yang dihasilkan suatu akselerator untuk mendapatkan varitas baru dengan sifat unggul merupakan terobosan baru yang perlu dikembangkan. Dengan demikian penguasaan dan pemanfaatan teknologi akselerator ion dalam bidang biologi untuk mutasi induksi dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi penyelesaian masalah penyediaan bahan makanan, serta kemungkinan peningkatan devisa negara melalui komoditas agrobisnis, kehutanan dan perkebunan.

Berkaitan dengan program jangka panjang Puslitbang Teknologi Maju BATAN Yogyakarta mengenai pembangunan laboratorium berbasis akselerator, telah dilakukan kajian teknis pemanfaatan akselerator ion untuk mutasi induksi, khususnya pada tanaman. Dalam makalah ini disampaikan hasil kajian

yang meliputi mutasi induksi menggunakan berkas ion, peranan akselerator ion pada proses mutasi induksi dan fasilitas akselerator ion yang diperlukan untuk melakukan mutasi induksi.

OBJEK KAJIAN

Obyek kajian dalam rangka kajian teknis pemanfaatan akselerator ion untuk mutasi induksi meliputi:

1. **Mutasi induksi:** obyek ini perlu dikaji untuk mengetahui apa sebenarnya mutasi induksi dan bagaimana mutasi induksi dapat terjadi, serta apa perbedaannya dengan mutasi secara alamiah.
2. **Peranan akselerator pada mutasi induksi:** obyek ini perlu dikaji untuk mengetahui mengapa akselerator diperlukan pada mutasi induksi.
3. **Fasilitas akselerator yang diperlukan:** obyek ini perlu dikaji untuk mengetahui fasilitas akselerator yang bagaimana untuk melakukan mutasi induksi.
4. **Akselerator yang perlu dikembangkan di P3TM:** obyek ini perlu dikaji untuk mengetahui sejauhmana potensi fasilitas akselerator di P3TM dan kemungkinan pengembangannya untuk pemanfaatan mutasi induksi.

HASIL KAJIAN DAN PEMBAHASAN

Mutasi Induksi

Varitas unggul merupakan salah satu kunci keberhasilan dalam meningkatkan produksi pangan^[2]. Peran iptek, khususnya di bidang bioteknologi, perlu dilibatkan sebagai usaha untuk mendapatkan berbagai varitas unggul melalui rekayasa genetika. Perkembangan teknologi akselerator ion yang begitu pesat di negara-negara maju antara lain telah dimanfaatkan untuk penelitian mutasi induksi dan ternyata hasilnya sangat memuaskan. Penelitian yang dilakukan di Jepang misalnya, telah menghasilkan berbagai varitas baru yang lebih unggul^[3].

Diantara beberapa metode yang dapat dilakukan untuk memperoleh varitas unggul

adalah metode **mutasi induksi** (*mutation breeding*). Mutasi induksi merupakan bagian dari mutasi genetik, yaitu perubahan pada struktur genetik yang berupa gen atau kromosom yang terdapat di dalam inti sel, baik yang bersifat sementara maupun yang bersifat permanen. Mutasi induksi dilakukan menggunakan bahan mutagen, baik mutagen dari bahan kimia seperti EMS (*Ethyl Methane Sulphonat*), DES (*Diethyl Ethane Sulphonat*) dan Azide, maupun mutagen fisik yaitu sinar γ , sinar X, berkas elektron dan berkas ion^[2]. Sedangkan mutasi secara alamiah dapat terjadi karena adanya sinar kosmis atau sinar ultraviolet yang berasal dari angkasa luar, atau disebabkan oleh faktor lain yang belum diketahui. Mutasi secara alamiah biasanya memerlukan waktu yang cukup lama dan berlangsung dari generasi ke generasi.

Dibandingkan dengan mutasi secara alamiah, mutasi induksi mempunyai beberapa keunggulan yaitu^[4]:

- Dapat memisahkan faktor genetik yang letaknya saling berhimpitan (*linkage*), sehingga memudahkan untuk mengumpulkan sifat-sifat yang unggul pada satu individu tertentu.
- Dapat secara cepat mendapatkan mutasi induksi dengan karakter-karakter yang positif antara lain umur pembungaan dan panen yang lebih genjah, resistensi ter-

hadap hama dan penyakit yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman induknya.

- Preparasi target yang sederhana.
- Waktu untuk memperoleh hasil relatif lebih cepat.

Keberhasilan suatu mutasi induksi ditentukan oleh nilai laju mutasi (*mutation rate*) yang diperoleh, yaitu prosentase mutasi yang terjadi pada sejumlah populasi yang diperlakukan dengan mutagen tertentu. Faktor lain yang berpengaruh terhadap keberhasilan mutasi induksi adalah *Linear Energy Transfer* (LET), yaitu jumlah energi yang diserap oleh jaringan selama berkas ion melewati jaringan tersebut. Makin tinggi nilai LET berarti makin besar energi yang diserap oleh jaringan dan semakin tinggi pula efek radiasinya.

Dari beberapa jenis mutagen yang digunakan pada mutasi induksi ternyata memberikan nilai laju mutasi dan LET yang berbeda seperti dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat dipahami bahwa perbedaan laju mutasi antara mutasi alamiah dengan mutasi induksi cukup signifikan. Diantara jenis mutagen yang digunakan untuk mutasi induksi maka berkas ion umumnya memberikan laju mutasi yang lebih besar dibandingkan dengan sinar γ dan mutagen kimia. Demikian juga nilai LET yang diperoleh dengan berkas ion lebih besar dari pada dengan sinar γ dan elektron.

Tabel 1. Nilai laju mutasi dan LET untuk beberapa macam mutagen yang digunakan pada mutasi induksi^[4].

Jenis Mutagen	Laju Mutasi (%)	LET (keV/ μ m)
Mutasi alamiah	6	-
Sinar γ	22	0,05
Elektron	-	0,2
Ion Ar	-	110
Ion C	45	66
Ion He	43	27
Ion Ne	39	210
Ion Ni	-	142
Bahan kimia	28	-

Catatan: (-) berarti tidak diperoleh data

Mutasi genetik pada tanaman baik yang terjadi secara alamiah maupun secara induksi dapat dilihat secara visual dengan adanya perubahan karakter yang berbeda dengan karakter tanaman induknya (misalnya: bentuk daun atau bunga yang menyimpang dari bentuk tanaman yang normal, berbuah lebih awal, peningkatan produksi yang signifikan). Mutasi genetik yang permanen akan diwariskan kepada generasi berikutnya lengkap dengan perubahan-perubahan karakter yang terjadi.

Mutasi genetik akan menghasilkan tanaman baru, baik secara morfologis maupun secara genetik. Individu baru dengan hasil produksi yang positif maupun negatif akan menjadi bagian dari kelompok MGC (*Modified Genetic Crops*). Semua bahan pangan yang dihasilkan oleh tanaman MGC disebut MGF (*Modified Genetic Food*)^[5].

Peran Akselerator Pada Mutasi Induksi

Peran akselerator pada mutasi induksi adalah sebagai penghasil berkas ion berenergi tinggi yang akan dimanfaatkan sebagai mutagen fisik. Akselerator jenis tertentu dapat menghasilkan berkas ion dengan energi hingga ratusan MeV untuk aplikasi bioteknologi. Mutasi induksi menggunakan berkas ion memberikan beberapa keuntungan, yaitu^[4]:

- Berkas ion dapat memberikan LET (*linear energy transfer*) dan prosentase laju mutasi yang tinggi dibandingkan dengan jenis mutagen lainnya.
- Berkas ion dapat difokuskan tepat pada sasaran jaringan embrio tanpa mengenai jaringan cadangan makanan embrio sehingga embrio yang diiradiasi dapat tumbuh dengan cadangan makanan yang tak rusak karena radiasi.
- Penetrasi berkas ion ke dalam sasaran dapat dikendalikan.
- Dapat memisahkan sifat-sifat genetika yang saling *linkage*.
- Kedapatulungan yang tinggi pada dosis iradiasi.

Berkas ion yang masuk ke dalam sasaran akan memberikan energinya kepada sasaran sepanjang lintasan ion melalui proses eksitasi

dan/atau ionisasi. Sasaran dalam hal ini berupa gen-gen yang terangkai dalam kromosom dan terdapat di dalam inti sel. Eksitasi dan ionisasi menghasilkan radikal bebas H dan OH yang segera membentuk peroksida. Radikal bebas H, OH dan peroksida sangat reaktif sehingga mudah bereaksi dengan senyawa kimia penting yang ada di dalam inti sel.

Radikal bebas dan peroksida akan menyerang senyawa penyusun gen atau kromosom, terutama pada ikatan yang paling lemah yaitu ikatan H. Kemungkinan yang terjadi adalah mutasi gen atau kromosom. Mutasi gen dan mutasi kromosom adalah mutasi genetik yang dapat bersifat temporer atau permanen. Selain itu, perubahan yang terjadi pada komponen di luar inti sel dikatakan sebagai mutasi somatik yang biasanya tidak diturunkan ke generasi berikutnya. Mutasi genetik dan mutasi somatik, baik secara sendiri-sendiri maupun secara bersama-sama dapat memberikan efek secara visual yang berupa kematian sel dan jaringan, perubahan bentuk morfologis dan fisiologis ataupun terjadi sterilisasi.

Fasilitas Akselerator Yang Diperlukan

Berkas ion untuk melakukan penelitian mutasi induksi diperoleh dari perangkat akselerator ion. Dari kajian yang dilakukan diketahui bahwa fasilitas akselerator TIARA (*Takasaki Ion Accelerator for Advanced Radiation Application*) di JAERI Takasaki Jepang merupakan fasilitas akselerator pertama di dunia yang melakukan penelitian di bidang *biological science*. Di TIARA terdapat 4 buah akselerator ion yaitu sebuah siklotron AFV (*Azimuthally Varying Field*) dan 3 buah akselerator elektrostatik yang terdiri dari akselerator tandem 3MV, akselerator *single-ended* 3 MV dan implantor ion 400 kV. Jenis dan energi ion serta arus berkas ion maksimum dari masing-masing akselerator ditampilkan pada Tabel 2^[6].

Untuk memenuhi kebutuhan energi ion pada penelitian di bidang bioteknologi dengan rentang energi yang cukup lebar (1 hingga 350 MeV), siklotron AVF dapat mempercepat berbagai jenis ion mulai dari proton hingga xenon dengan energi dari 10 hingga beberapa ratus MeV (tergantung jenis ionnya). Ion-ion

Tabel 2. Karakteristik berkas ion yang dihasilkan fasilitas akselerator TIARA^[6].

Akselerator	Jenis Ion	Energi ion (MeV)	Arus ion maksimum (μA)
Siklotron AVF	H	5 – 90	35
	He	10 – 110	20
	Ar	94 – 990	3
	Kr	200 – 1030	0,1
	Xe	300 – 930	0,5
Tandem 3 MV	H	0,8 – 6	5
	C	0,8 – 18	10
	Ni	0,8 – 18	5
	Au	0,8 – 21	15
Single-Ended 3 MV	H	0,4 – 3	100
	D	0,4 – 3	70
	He	0,4 – 3	70
	e	0,4 – 3	50
Implantor Ion 400 kV	P	0,02 – 0,4	50
	Ar	0,02 – 0,4	30
	As	0,02 – 0,4	30

ringan dihasilkan dengan sumber ion *multi-cusp* dan ion-ion berat dihasilkan dengan sumber ion ECR. Dari kedua sumber ion tersebut ion-ion diinjeksikan secara aksial ke dalam siklotron AVF. Siklotron AVF dilengkapi dengan 9 buah *beamline* horisontal dan 4 buah *beamline* vertikal yang sebagian besar dimanfaatkan untuk eksperimen bioteknologi^[1].

Ketiga akselerator elektrostatik mempunyai jaringan *beamline* sedemikian rupa sehingga 2 atau 3 buah akselerator elektrostatik tersebut dapat dioperasikan secara simultan dalam ragam berkas *dual* atau *triple*. Jumlah *beamline* pada ketiga akselerator elektrostatik ada 10 buah di mana 2 buah diantaranya dilengkapi dengan peralatan untuk eksperimen bioteknologi, yaitu^[1]:

- Satu peralatan yang diinstal pada ujung *beamline* akselerator tandem, dilengkapi dengan kendali kedalaman penetrasi, untuk iradiasi sel menggunakan ion berat.

- Satu peralatan yang diinstal pada ujung *beamline* akselerator *single-ended* untuk teknik *microbeam* menggunakan ion ringan.

Dari kajian yang dilakukan diketahui bahwa untuk melakukan mutasi induksi diperlukan struktur berkas ion yang homogen dengan diameter berkas 10 hingga 100 μm . Sedangkan arus ion yang diperlukan 0,01 sampai 100 nA. Seperti telah disebutkan di muka bahwa nilai LET merupakan faktor penentu keberhasilan mutasi induksi. Nilai LET yang diperlukan biasanya antara 300 sampai 1800 keV/ μm dengan dosis penyinaran antara 10 sampai 250 Gy. Lama penyinaran berkas ion hanya 5 sampai 30 detik per cuplikan, karena ada beberapa jasad hidup yang tidak tahan terlalu lama mendapat penyinaran berkas ion sehingga dapat mengakibatkan kematian^[4]. Pada Tabel 3 ditampilkan fasilitas akselerator ion yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan karakteristik berkas ion seperti tersebut di atas.

Tabel 3. Akselerator dan karakteristik berkas ion untuk penelitian mutasi induksi.

1.	Jenis akselerator	siklotron AVF
2.	Jenis ion	H, He, C, Ar, Ne, Ni, Al, Xe, Au
3.	Energi ion	1 sampai 350 MeV
4.	Arus ion	0,01 sampai 100 nA
5.	Struktur berkas ion	homogen, diameter 10 sampai 100 μm
6.	Dosis iradiasi	10 sampai 250 Gy
7.	Lama iradiasi	5 sampai 30 detik

Fasilitas Akselerator Yang Perlu Dikembangkan di P3TM

Puslitbang Teknologi Maju (P3TM) BATAN saat ini mempunyai 3 buah akselerator energi rendah, yaitu:

1. Akselerator ion 150 keV/1 mA untuk implantasi ion (buatan sendiri).
2. Akselerator ion (detron) 150 keV/1 mA untuk generator neutron (buatan SAMES)
3. Akselerator elektron atau mesin berkas elektron (MBE) 350 keV/10 mA untuk *curing of coating* dan proses radiasi menggunakan berkas elektron (buatan sendiri).

Berdasarkan hasil kajian tersebut di atas, di mana untuk melakukan mutasi induksi menggunakan berkas ion diperlukan akselerator siklotron AVF yang dapat menghasilkan berkas ion energi tinggi hingga beberapa ratus MeV, maka dengan fasilitas akselerator yang ada di P3TM saat ini kita belum dapat melaksanakan litbang mutasi induksi menggunakan berkas ion.

Fasilitas akselerator ion energi rendah yang ada tidak mungkin untuk dikembangkan menjadi akselerator ion energi tinggi seperti yang diperlukan untuk melakukan mutasi induksi. Jenis akselerator ion di P3TM adalah akselerator elektrostatis dengan sumber tegangan tinggi tipe Cockroft-Walton hasil buatan sendiri dengan kemampuan menghasilkan tegangan tinggi maksimum 150 kV sehingga tidak mungkin menghasilkan berkas ion energi tinggi hingga orde puluhan bahkan ratusan MeV.

Pembangunan laboratorium berbasis akselerator merupakan program jangka panjang P3TM. Program ini mengacu pada laboratorium serupa yang ada di Wakasa Wan Jepang, di mana dengan fasilitas akselerator yang ada di laboratorium tersebut dapat dilakukan litbang di bidang-bidang industri, lingkungan, kesehatan dan bioteknologi. Dengan demikian litbang mutasi induksi menggunakan berkas ion baru dapat dilakukan apabila rencana pembangunan laboratorium berbasis akselerator tersebut sudah terlaksana, dan diantara fasilitas akselerator yang ada di dalamnya adalah akselerator siklotron AVF atau sinkrotron.

BEBERAPA HASIL MUTASI INDUKSI DENGAN BERKAS ION

Jepang sebagai negara maju yang telah banyak memanfaatkan akselerator ion untuk melakukan mutasi induksi pada tanaman untuk memperoleh mutan atau varietas baru yang lebih unggul. Beberapa contoh hasil mutasi induksi pada tanaman di Jepang menggunakan berkas ion sebagai berikut:

1. **NAGATOMI, dkk**, tahun 1996 melakukan iradiasi pada biji *cultivator* padi *Nippon-bare* dan *Hitome-bare* dengan ion $^4\text{He}^{2+}$ (100 MeV, 20 nA) dan dengan ion $^{12}\text{C}^{5+}$ (220 MeV, 0,02 nA). Diperoleh hasil mutasi induksi yang secara visual ditunjukkan dengan sifat resistensi yang tinggi terhadap penyakit busuk daun (*bacterial leaf*), berbunga satu minggu lebih awal dan produksinya naik 20 %^[7].

2. **NAGATOMI, dkk**, tahun 1997, juga melakukan penelitian pada tanaman bunga *chrysanthemum cultivar Taihei* (bunganya berwarna pink). Hasil mutasi ini sangat menakjubkan sehingga dikenal dengan sebutan "*Flowers of TIARA*". Tunas *chrysanthemum* diiradiasi dengan ion $^{12}\text{C}^{5+}$ (220 MeV, 5-20 Gy, 0,02 nA, 10 μm). Hasil mutasi induksi yang diperoleh secara visual ditandai dengan perubahan warna yang sangat fantastis. Dari 165 mutan yang diperoleh 0,3 % berbunga putih, 4,5 % berbunga merah muda, 0,2 % berbunga merah tua, 0,3 % orange, 0,29 % kuning dan 10,2 % berwarna *strip-strip* yang komplek^[8].
3. **TAKASHI, TIARA**, tahun 1998 melakukan penelitian dengan menggunakan biji *wheat (Triticum aestivum) cultivar Gunna-2*. Irradiasi menggunakan ion $^{12}\text{C}^{5+}$ (220 MeV, 5-20 Gy, 10 nA) dan juga menggunakan ion $^4\text{He}^{2+}$ (100 MeV, 25-300 Gy). Hasil mutasi induksi yang diperoleh secara visual ditandai dengan bentuk tubuh tanaman yang pendek, berbunga lebih awal dan resisten terhadap karat daun^[9].
4. **YASUYUKI, dkk** tahun 1998 melakukan penelitian terhadap rumput *Bentgrass cultivar pennecross*. Rumput jenis ini mempunyai nilai ekonomis yang tinggi karena dibudidayakan untuk rumput lapangan golf. Dalam eksperimennya, 2000 biji rumput *Bentgrass* diiradiasi dengan ion $^{12}\text{C}^{5+}$ (220 MeV) dan juga menggunakan ion $^4\text{He}^{2+}$ (50 MeV). Hasil mutasi induksi yang terjadi adalah peningkatan kecepatan tumbuh dan kecepatan tumbuh tunas yang berbeda nyata dengan induknya. Selain itu pengujian resistensi terhadap penyakit *Brown patch disease (Rhizotonia solani L)* menunjukkan sifat resistensi yang tinggi^[10].
5. **MINAMI, dkk**, tahun 1998 melakukan penelitian mutasi induksi pada tanaman *Brassica napus cultivar Lisandra*. Seluruh bunga diiradiasi dengan berkas ion selama 3 hari setelah selesai penyerbukan. Pada penelitian ini digunakan ion $^4\text{He}^{2+}$ (100 MeV, 15, 30 dan 50 Gy). Hasil mutasi induksi yang terjadi adalah berupa stimulasi pertumbuhan vegetatif yang signifikan bila dibandingkan dengan tanaman induknya^[11].
6. **NOBUHIRO KUDO, dkk** tahun 1998 melakukan penelitian mutasi induksi pada tanaman *Strawberry vultivar GSC-I (Fragaria xananasa)*. Irradiasi dilakukan dengan ion $^4\text{He}^{2+}$ (100 MeV, 10 - 200 Gy, 0,02 nA). Hasil mutasi induksi yang diperoleh adalah tanaman *strawberry* tersebut menjadi lebih resisten terhadap penyakit yang disebabkan oleh jamur *Glomerella cingulata*, tipe tanaman yang pendek dan perubahan pada bentuk cabang-cabangnya^[12].
7. **TOMONORI SUZUKI, dkk**, tahun 1997 melakukan penelitian iradiasi berkas ion pada tanaman tembakau (*Nicotiana tabacum L.*). Sebanyak 13700 biji tembakau diiradiasi dengan ion $^{12}\text{C}^{5+}$ (200 MeV, 10-80 Gy, 0,02 nA). Hasil seleksi tanaman diperoleh 5.579 bibit tanaman yang tumbuh normal. Bibit tanaman tersebut kemudian diinfeksi dengan virus PVY-T. Diperoleh 174 tanaman yang sehat dan tidak terserang virus PVY-T^[13].
8. **TOMONORI SUZUKI, dkk**, tahun 1998 juga melakukan penelitian untuk jenis tembakau yang lain. Sebanyak 200 biji, masing-masing dari 6 galur tanaman tembakau diiradiasi dengan ion $^{12}\text{C}^{5+}$ (17-160 Gy) dan dengan ion $^4\text{He}^{2+}$ (10-700 Gy). Diperoleh mutasi induksi yang secara visual ditunjukkan dengan sifat resistensi yang tinggi terhadap penyakit *Yellow Spotted Disea*^[13].
9. **HASE, dkk**, tahun 1997 melakukan mutasi tanaman tembakau *cultivar consoltation-402* dan *NC-402*. Biji tembakau kering diiradiasi dengan ion $^{12}\text{C}^{5+}$ (220 MeV, 0-40 Gy). Mutasi yang terjadi adalah perubahan warna daun. Daun-daun menjadi berwarna *yellow green, yellow* dan *light green*. Selain itu juga terjadi penurunan *survival* tanaman secara drastis^[14].

KESIMPULAN

Dari kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan akselerator ion untuk mutasi induksi pada dasarnya adalah pemanfaatan kemampuan berkas ion yang dihasilkan oleh akselerator untuk mengubah

struktur genetik yang berupa gen atau kromosom yang terdapat di dalam inti sel mutasi sehingga menghasilkan jenis atau varitas baru dengan harapan mempunyai karakter yang lebih baik.

Adapun jenis akselerator ion yang diperlukan adalah akselerator ion yang dapat menghasilkan berkas ion dengan energi ion hingga 350 MeV. Jenis akselerator tersebut misalnya adalah siklotron AVF (*Azimuthally Varying Field*). Mutasi induksi biasanya menggunakan ion-ion H, He, C, Ar, Ne, Ni, Al, Xe, Au dengan dosis ion dari 10 sampai 250 Gy, arus ion dari 0,01 sampai 100 nA, lama iradiasi 5 sampai 30 detik.

Fasilitas akselerator ion yang ada di P3TM belum dapat untuk melakukan litbang mutasi induksi karena energi berkas ion yang dihasilkan terlalu rendah. Pengembangan fasilitas merupakan langkah yang dapat ditempuh meskipun hal tersebut saat ini masih merupakan suatu rencana jangka panjang mengingat dana yang diperlukan untuk tujuan tersebut tidak sedikit. Sedangkan akselerator siklotron yang ada di P2RR BATAN Serpong saat ini khusus menghasilkan berkas proton dengan energi antara 24 MeV hingga 27 MeV. Aplikasi berkas proton tersebut adalah untuk produksi radioisotop dan untuk eksperimen TLA (*thin layer analysis*)^[15]. Bila siklotron tersebut akan dimanfaatkan untuk mutasi induksi maka perlu dikaji apakah karakteristik berkas proton yang dihasilkan oleh siklotron tersebut memenuhi persyaratan untuk aplikasi mutasi induksi.

DAFTAR ACUAN

- [1] TANAKA, R., *et. al.*, *Recent Technical Progress in Application of Ion Accelerator Beams to Biological Studies in TIARA*, Presented at the First Asian Particle Accelerator Conference (APAC 98) held at KEK Tsukuba Japan, March 23-27, 1998.
- [2] MURYONO, H., *Pemanfaatan Akselerator Untuk Mendapatkan Mutasi Induksi Pada Tanaman Pertanian dan Hortikultura*, Makalah Rakor Akselerator II, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 29 Juni 2000.
- [3] HIROSHI, W., *The Flowers of TIARA*, Look Japan, p. 187-188, February, 1998.
- [4] MURYONO, H., *Kajian Pemanfaatan Laboratorium Berbasis Akselerator Dalam Bidang Bioteknologi*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol. 3, No. 2, Desember 2001.
- [5] YAZID, M., *dkk.*, *Studi Tentang Karakterisasi Akselerator Untuk Aplikasi di Bidang Bioteknologi*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol. 2, No. 1, November 2000.
- [6] SAIDOH, M., *The Present Status of TIARA and Its Research Activities Using Ion Accelerator Beams*, Presented at BATAN-JAIF Bilateral Seminar on Accelerator Technology and Its Applications, Yogyakarta, August 25-26, 1998.
- [7] NAGATOMI, S., *et. al.*, *Mutation Induction Through Ion Beam Irradiation in Rice*, p. 41-43, JAERI-Review, 1996.
- [8] NAGATOMI, S., *et. al.*, *Enlargement of Potential Chimera on Chrysanthemum Mutants Regenerated from $^{12}\text{C}^{5+}$ Ion Beam Irradiated Explants*, p.48-50, JAERI-Review, 97-015-1997.
- [9] TAKAHASHI, T., *et. al.*, *Mutation Induced by Ion Beam (C^{5+} and He^{2+}) Irradiation in Wheat*, JAERI Review, 98-016-1998, p 60-61.
- [10] YASUYUKI ITO, *et. al.*, *Effect of Ion Beams on The Seed Germination and in Vitro Regeneration of Creeping Bent Grass*, JAERI Review, 98-016-1998, p. 65-68.
- [11] MINAMI, H., *et. al.*, *Effect of Helium Ions Irradiation in Sexual Reproduction Stages on Seed Production and Germination of Brassica Napus*, JAERI Review, 1996.
- [12] KUDO, N., *et. al.*, *Induction Mutation in Strawberry and Hydrangea by Ion Beam Irradiation Effect of Ion Beam Irradiation on Shoot Regeneration of Strawberry Callus and Germination of Hydrangea Seed*, p.62-64, JAERI-Review, 98-016-1998.

- [13] SUZUKI, T., *et. al.*, *Induction of Mutation in Tobacco by Ion Beam Irradiation Effects of Ion Beam on Germination Rate, Survival Rate and Morphology*, TIARA Annual Report 1997, p. 52-54.
- [14] HASE, Y., *Development of Novel Resistant Lines to Tobacco Yellow Spotted Streak Disease by Ion Beam Irradiation*, p. 50-52, JAERI-Review, 97-016-1997.
- [15] HARI SURYANTO, dkk, *A Recent Evaluation of Performance and Development of the Modified BATAN's Cyclotron*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol. 3, No. 2, November 2001.

TANYA JAWAB

Eko P.

- Apakah untuk mutasi induksi yang berbeda jangkauan (*range*) parameter yang bapak sebutkan masih dalam *range*?

- Apakah untuk jenis akselerator yang berbeda parameter tersebut juga berlaku?

Djoko SP

- Parameter-parameter untuk mutasi induksi sebagaimana disebutkan dalam makalah berlaku untuk semua jenis mutasi induksi yang menggunakan berkas ion sebagai mutagen fisik.
- Untuk jenis akselerator yang berbeda (bukan siklotron AVF), maka parameter-parameter untuk mutasi induksi juga harus dipenuhi (meliputi arus, dosis, profil berkas, energi, dsb).

Tono Wibowo

- Apa keunggulan mutasi induksi menggunakan berkas ion?

Djoko SP

- Keunggulan mutasi induksi menggunakan berkas ion adalah nilai LET (*linear energy transfer*) dan prosentase laju mutasi lebih tinggi dari pada menggunakan jenis mutagen lainnya (sinar γ , berkas elektron, bahan kimia).