

# Terapi Kanker dengan Iradiasi Proton

**Rochestri Sofyan**

*Pusat Penelitian Teknik Nuklir, Badan Tenaga Atom Nasional, Bandung*

## ABSTRAK

Radioterapi dengan proton merupakan modalitas baru dalam penanganan kanker. Cara ini mempunyai ketelitian lebih tinggi dibandingkan dengan terapi menggunakan foton. Proton mendepositkan hampir seluruh energinya pada akhir lintasannya. Dengan memperhitungkan jarak penetrasi melalui pengaliran energi proton dari akselerator, proton akan sanggup mendepositkan hampir seluruh energinya pada target. Terapi dengan proton merupakan cara pemusnahan sel kanker dengan selektivitas tinggi, sehingga sanggup mengurangi kerusakan pada jaringan sehat di sekitarnya serta efek samping yang ditimbulkannya. Cara ini sangat penting artinya terutama pada kasus tertentu dengan letak sel kanker yang sangat berdekatan dengan organ vital yang sensitif.

Tinjauan ini membahas efek biologi radiasi dan pengendalian distribusi dosis dari proton, serta manfaat aplikasinya.

## PENDAHULUAN

Hingga saat ini penyakit kanker masih tetap tercatat sebagai penyebab utama kematian penduduk dunia. Kebanyakan penderita meninggal karena kanker menyebar ke berbagai organ yang vital seperti paru-paru, hati dan otak. Sebagian lagi kanker mengganggu aktivitas yang vital atau fungsi tubuh yang vital seperti bernafas, makan dan pencernaan. Apabila kanker dapat dimusnahkan sedini mungkin di tempat asalnya, maka penderita dapat terhindar dari resiko kematian.

Sebagaimana diketahui, teknik pengobatan kanker yang banyak ditempuh adalah dengan radioterapi. Radiasi menggunakan foton dengan dosis yang dianggap optimal dapat mengontrol berbagai jenis kanker, akan tetapi sulit dipastikan apakah radiasi mengenai jaringan kanker secara tepat. Jaringan normal juga dapat menerima dosis yang sama dan mengalami kerusakan. Akibatnya, sering digunakan dosis di bawah optimal untuk mengurangi paparan pada jaringan sehat, dengan segala akibat efek sampingnya. Terapi dengan proton sangat berbeda dengan cara terapi dengan foton. Cara ini merupakan konsep

baru sebagai transformasi konsep fisika ke dalam penanganan medis praktis, dalam upaya mencari jalan ke arah efek penyembuhan yang lebih efisien yang dapat memberi kenyamanan pada pasien. Dapatlah dikatakan bahwa terapi kanker dengan proton merupakan teknik radioterapi dengan standar ketelitian baru. Fasilitas untuk terapi dengan proton yang beroperasi di berbagai negara dapat dilihat pada **Tabel 1**.

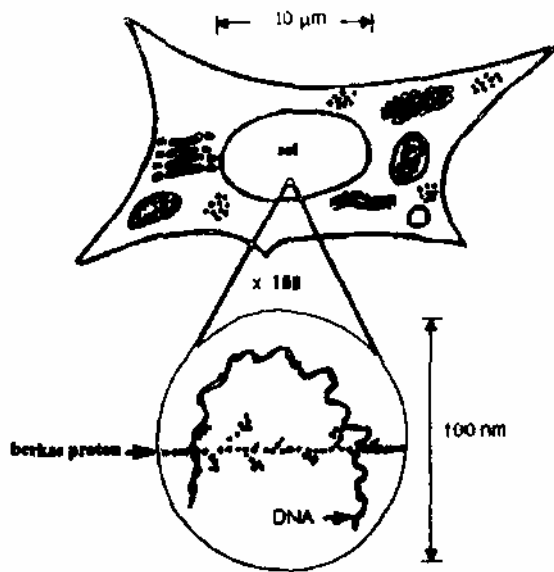
## EFEK BIOLOGI RADIASI

Pada setiap pusat atom dalam semua molekul atau bahan termasuk sel kanker, terdapat inti atom, yang dikelilingi oleh partikel bermuatan negatif atau elektron. Apabila suatu partikel bermuatan dengan energi tinggi seperti proton atau bentuk radiasi lain mengenai orbital elektron tersebut, maka muatan positif proton akan menarik muatan negatif dari elektron, dan mengeluarkannya dari orbital yang disebut sebagai peristiwa ionisasi. Peristiwa ionisasi akan mengubah konfigurasi elektron atom dan seterusnya karakteristik dari molekul juga akan mengalami perubahan. Transformasi ini merupakan konsep dari pemanfaatan

Tabel 1. Fasilitas untuk terapi dengan proton di berbagai negara.

Nama Tempat	Negara	Jumlah Pasien	Jumlah Pasien	Periode beroperasi
Berkeley	Amerika Serikat	740	30	1955 - 1957
Uppsala	Swedia	185	73	1957 - 1976
		190	65	1988 - 1995
Boston	Amerika Serikat	160	6444	1961 - 1995
Dubna	Rusia	680	84	1967 - 1974
		680	39	1987 - 1995
Moskow	Rusia	200	2877	1969 - 1995
Gatchine	Rusia	1000	904	1975 - 1994
Chiba	Jepang	86	86	1979 - 1993
Tsukuba	Jepang	250	462	1983 - 1995
Viliagen	Switzerland	72	1785	1984 - 1994
Clatterbridge	Inggris	62	620	1989 - 1995
Loma Linda	Amerika Serikat	250	1262	1990 - 1995
Louvain-la-Neuve	Belgia	90	21	1991 - 1993
Orsey	Perancis	200	468	1991 - 1994
Nice	Perancis	65	474	1991 - 1994
Faure	Afrika Selatan	200	67	1993 - 1995
Indiana	Amerika Serikat	200	1	1993 - 1993
Sacramento	Amerika Serikat	68	19	1994 - 1994
Vancouver	Canada	520	2	1995 - 1995
Total Pasien			15.781	

semua radiasi pengion untuk terapi; karena peristiwa ionisasi, radiasi dapat menyebabkan kerusakan molekul di dalam sel, termasuk DNA sebagai materi genetik (**Gambar 1**), yang berlanjut dengan kerusakan pada fungsi vital sel yaitu proses pembelahan sel. Secamreoritis, enzim dapat membantusal untuk memulihkan kerusakan DNA, akan tetapi dalam hal kerusakan yang cukup intensif, enzim tidak lagi sanggup memperbaiki kerusakan. Pada kasus seperti ini, sel kanker mengalami kerusakan yang permanen untuk selanjutnya menuju ke kematian.

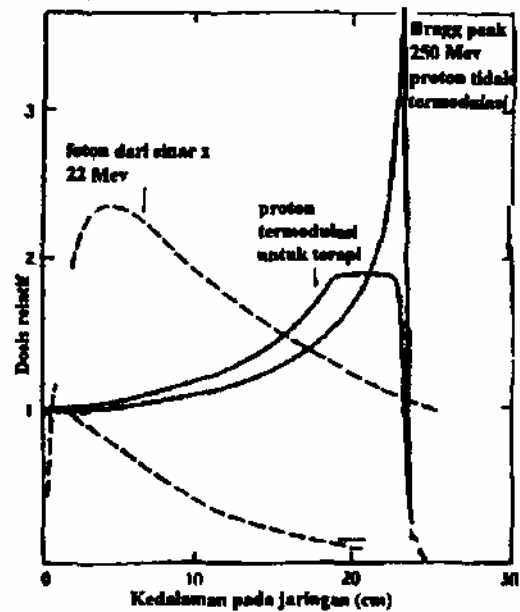


Gambar 1. Peristiwa ionisasi atau eksetasi yang terjadi di dalam sel hidup yang mengalami iradiasi dengan proton. Radikal aktif yang dihasilkan pada peristiwa ionisasi dan eksitasi dapat merusak molekul DNA dalam suatu kromosom.

Efek biologi berbagai jenis radiasi tidak hanya bergantung pada dosis yang diberikan, akan tetapi bergantung pula pada distribusi dosis secara mikroskopik yang biasa dinyatakan sebagai *linear energy transfer (LET)*, yang ekivalen dengan  $dE/dx$ . Partikel bermuatan seperti proton mempunyai LET yang relatif tinggi dibandingkan dengan foton. Demikian pula harga *relative biological effectiveness (RBE)*-nya. Bergantung pada besarnya energi, RBE proton berkisar antara 1 - 16, sedang RBE (foton = 1. Dengan demildan make radiasi dengan proton lebih efektif daripada dengan foton.

### PENGENDALIAN DISTRIBUSI DOSIS

Proton mcnrpakan partikel bermuatan yang dihasilkan oleh mesin akselerator. Pada penggunaannya, pengendalian distribusi dosis pada daerah target merupakan kunci utama berhasilnya suatu penanganan tumor. Kelebihan sifat proton adalah mendepositkan atau memberikan hampir selumh energinya pada seat akhir lintasannya, sehingga kemungkinan terjadinya paparan radiasi sekunder yang lateral sangat kecil. Jaringan lain kecuali target hanya menerima dosis yang sangat kecil bahkan pada beberapa daerah tertentu tidak menerima sama sekali. Para pakar fisika menyebutkan pembebasan energi proton di akhir lintasannya ini sebagai *Bragg peak*. Suatu berkas proton mono energi menghasilkan *Bragg peak* yang mempunyai lebar hanya beberapa milimeter, sebingga terlalu kecil untuk kebanyakan volume target dari berbagei kasus. Puncak ini kemudian digeser disesuaikan dengan setiap keperluan terapi melalui modulasi energi (**Gambar 2**). Sebagai contoh, suatu tipe akselerator yang dioperasikan di *Loma Linda University Medical Center, USA* menghasilkan energi proton yang dapat divariasikan secara kontinu, sehingga kedalaman target dapat divariasikan, antara 3



Gambar 2. Perbandingan kedalaman distribusi dosis sinar x (foton) dan berkas elektron dengan distribusi dosis berkas proton yang tidak dan telah mengalami modulasi. Diambil dari publikasi Particle Radiation Medical Science Centre (PARMS), Univ Tsukuba, Tsukuba, Jepang

mm sampai 38 cm. Tipe akselerator semacam ini disebut sinkrotron.

Ditinjau dari sifat antaraksi proton dengan materi dan sifat penetrasinya dalam jaringan hidup, maka dengan pengaturan energi proton yang digunakan, proton akan sanggup mendepositkan hampir seluruh energinya pada jaringan tumor (target), yang merupakan cara pemusnahan sel kanker dengan selektivitas tinggi, sehingga sanggup mengurangi kerusakan pada jaringan sehat di sekelilingnya. Diperkenalkannya metode terapi dengan proton, merupakan modalitas bam yang telah lama ditunggu oleh para ahli di bidang onkologi.

### MANFAAT APLIKASI

Pada kasus tertentu, dengan letak sel kanker sangat berdekatan dengan organ yang vital, terapi dengan proton akan sangat membantu; proton akan sanggup memberikan radiasi penyembuhan pada kanker prostat, dengan efek samping yang sangat minimal pada kandung kencing dan usus besar. Pada terapi dengan sinar X dengan energi 18 Mev, pada posisi penyinaran dari arah depan/atas, maka sinar X akan mendepositkan sebagian besar energinya pada usus halus dan kandung kencing sebelum sampai ke jaringan tumor (**Gambar 3**). Berbeda dengan sinar X, proton melalui pengaturan energi akan sanggup mendepositkan energinya secara maksimal pada jaringan tumor kelenjar prostat, dengan dosis yang relatif sangat kecil pada usus halus dan kandung kencing (**Gambar 4**). Iradiasi dari arah samping dengan sinar x 18 Mev, maka energi banyak terdeposit pada tulang pinggul (**Gambar 5**), sedang proton dapat mendepositkan energi pada daerah prostat dengan radiasi yang minimal pada struktur yang normal (**Gambar 6**).

Keuntungan dari terkonsentrasinya dosis juga terjadi pada penanganan tumor yang ada pada mata bagian dalam, seperti pada melanoma okuler. Penanganan dengan proton sangat efektif dan memuaskan karena dapat menyelamatkan berbagai jaringan yang sensitif pada mata, sehingga penglihatan pasien tidak terganggu. Penanganan konvensional untuk kasus ini adalah dengan mengangkat mata pasien, yang selain dapat



Gambar 3. Iradiasi kanker prostat dari arah depan/atas dengan sinar x (foton).



Gambar 4. Iradiasi kanker prostat dari arah depan/atas dengan proton.



Gambar 5. Iradiasi kanker prostat dari arah samping, dengan sinar x (foton).

mengakibatkan cacat penampilan juga hilangnya penglihatan. Metode ini telah banyak membantu penyembuhan kanker di bagian otak, kepala leher dan rahim.

### PENUTUP

Terapi dengan proton dengan sifatnya yang unik ditinjau dari segi keuntungan klinis dalam pengontrolan dan penanganan kanker, dapat memberikan sumbangan yang berarti terhadap kesembuhan dan sekaligus pengurangan rasa sakit pada pasien. Keakuratan teknik ini dapat lebih ditingkatkan apabila ditunjang oleh teknik imaging, untuk dapat mengkonfirmasi volume dan posisi dari target yang hendak diiradiasi, terutama pada bagian tertentu seperti kepala dan otak. Dengan tersedianya peralatan seperti antara lain *X-ray Computed Tomography (CT Scanner)* dan *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*, maka para



Gambar 6. Iradiasi kanker prostat dari arah samping dengan proton

ahli medik dapat memperhitungkan posisi dan ukuran tumor, untuk melakukan terapi yang lebih efektif.

Dengan sangat berkurangnya kerusakan pada jaringan sehat, maka potensi untuk timbulnya efek samping seperti mual, pusing dan diare pasca penyinaran menjadi sangat berkurang. Dengan mengambil fraksi penyinaran sebanyak 20, pasien dapat menjalani iradiasi hanya sekali dalam satu hari, 5 kali dalam seminggu, sehingga untuk seluruh terapi diperlukan waktu satu bulan. Dapatlah dikatakan bahwa terapi kanker dengan proton merupakan cara noninvasif baru yang sangat potensial.

#### KEPUSTAKAAN

1. Freidlander G, Kennedy JW, Macias ES. and Miller, JM. Nuclear end Radiochemistry, 3<sup>rd</sup> ed. John Wiley & Son Intersci Publ N Y : (1981); pp. 206-10
2. Yang T C, Craise LM, Mei M. Present status and peespectives of heavy ion studies on cells and organisms. *Proc. Int Conf on Evolution in Beam Appl* Takasaki, Japan; 1991 : 5 - 8.
3. Suit P H, Urie, M. Proton beams in radiation therapy. *J. Natl. Cancer Inst.* 84 : 1992; 155 - 164.
4. Tsuju H et al Clinical Result of Fractionated proton thrapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*; 25: 1992: 49 -60.
5. Proton treatment and the control of cancers. Loma Linda UMC Proton Treatment Centre Newsletter 1996.



Th. 1959, pria Congo .....  
 manusia pertama diketahui  
 mengidap virus HIV.