

# 7

## Akselelator Dan Detektor Partikel

### Tujuan Perkuliahan:

Setelah mempelajari Bab 7 ini mahasiswa diharapkan dapat:

1. Memahami bagaimana partikel dipercepat.
2. Mengerti perbedaan antara pemercepat DC (*direct current*), linear dan melingkar.
3. Mengerti prinsip utama dari sinkrotron.
4. Mengetahui beberapa akselerator utama dunia.
5. Mengetahui interaksi partikel bermuatan dengan materi.
6. Mengetahui interaksi foton dengan materi.
7. Mengetahui prinsip dan bentuk detektor.
8. Mengetahui macam macam detektor.

### 7.1. Pemercepat partikel

Seperti telah dibahas sebelumnya model standar tidak dapat menerangkan semua hal. Partikel-partikel dan anti partikel yang diprediksikan oleh standar model belum semua ditemukan. Selain itu juga perlu lagi dicari bukti-bukti baru untuk memperkuat model standar atau bahkan bukti-bukti penyimpangan model standar sehingga memungkinkan terbentuk model baru. Untuk itu semua, diperlukan partikel yang berenergi sangat tinggi baik untuk menciptakan partikel baru ataupun mengeksplorasi stuktur partikel. Sampai awal tahun 1950, sumber partikel berenergi tinggi satu-satunya hanyalah sinar kosmik dan dengan mempelajari sinar kosmik ini telah menghasilkan penemuan-penemuan yang penting diantaranya penemuan positron dan pion. Untuk dapat mempercepat partikel, sekarang ini telah banyak dikembangkan mesin yang dapat melontarkan partikel yang panjang gelombangnya lebih kecil daripada jari-jari hadron yaitu sekitar  $10^{-15}$  m sehingga momentum  $p=h/\lambda$  haruslah beberapa ratus MeV/c. Mesin ini dikenal dengan akselerator partikel. Partikel dipercepat melalui interaksi elektromagnetiknya, sehingga hanya partikel bermuatan dan stabil yang dapat dipercepat.

Agar partikel dapat dipercepat maka partikel harus dilewatkan pada: (1) medan listrik yang sangat besar. Akselelator ini dikenal dengan akselelator DC. Contohnya: Tabung katoda, tetapi partikel dalam tabung katoda, partikel hanya dipercepat dengan energi sekitar 20 KeV sedangkan untuk menghasilkan partikel baru dibutuhkan puluhan giga elektron volt. Untuk mendapatkan energi yang demikian besarnya dibutuhkan medan listrik yang sangat besar, dan ini sukar diwujudkan karena keterbatasan teknologi. Untuk itu diperlukan alternatif lain yaitu (2) partikel dilewatkan melalui banyak medan listrik kecil yang membentuk garis atau lebih dikenal dengan akselelator linear (*Linac = Linear Accelerator*). Tetapi akselelator ini membutuhkan banyak kavitas RF dan lintasan yang panjang. Alternatif lain adalah (3) partikel dilewatkan melalui medan listrik yang kecil tetapi berkali-kali atau lebih dikenal dengan akselelator melingkar (*synchrotron*) yaitu medan listrik disusun dengan lintasan melingkar dengan medan magnet ditempatkan di cincinnya

Pada sub bab ini akan dibahas partikel apa saja yang dapat dipercepat dan bagaimana partikel ini dipercepat, macam-macam akselelator, akselelator utama dunia dan perkembangan terbaru dari pemercepat ini.

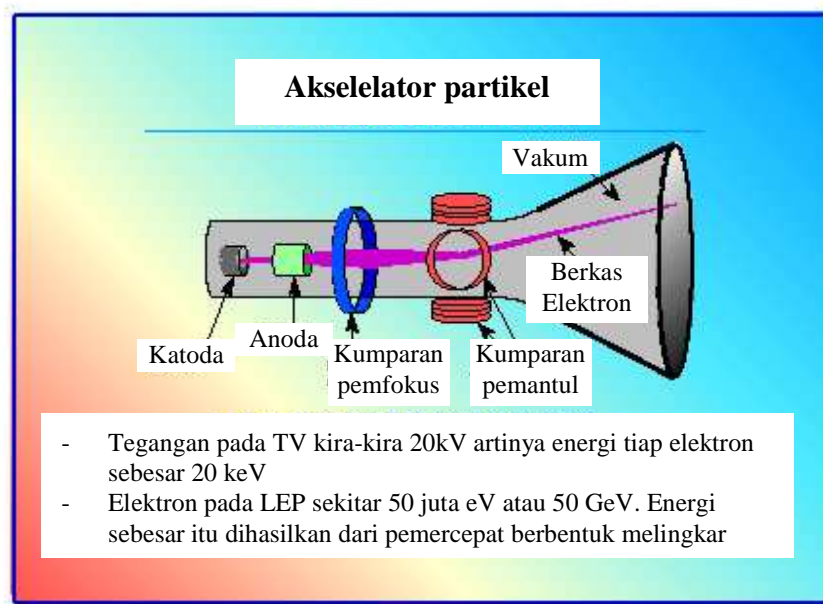
Akselelator dunia yang paling mutakhir saat ini adalah Tevatron di Laboratorium pemercepat Nasional Fermi di Chicago, Amerika Serikat yang aktif bekerja sejak tahun 1986. Pemercepat Tevatron ini menumbukan proton dan anti proton dengan energi pusat massanya sekitar 2 TeV. Karena anti proton sukar dihasilkan, maka saat ini sedang dikonstruksi pemercepat baru yang disebut *Large Hadron Collider (LHC)* di Cern, Genewa. Pemercepat LHC ini menumbukkan proton dan proton dengan energi pusat massanya sekitar 14 TeV yang akan aktif bekerja sekitar tahun 2007.

### **7.1.1. Partikel Dipercepat**

Akselelator adalah mesin penghasil partikel baru. Akselelator ini menyelesaikan dua pekerjaan. Pertama, karena semua partikel dapat berperilaku sebagai gelombang, para ahli fisika menggunakan akselelator untuk memperbesar momentum partikel sampai panjang gelombang partikel cukup kecil sehingga partikel itu dapat digunakan untuk menembus sampai ke dalam atom. Kedua, energi dari partikel berkecepatan tinggi digunakan untuk menciptakan partikel bermassa, sehingga dapat dipelajari struktur dan

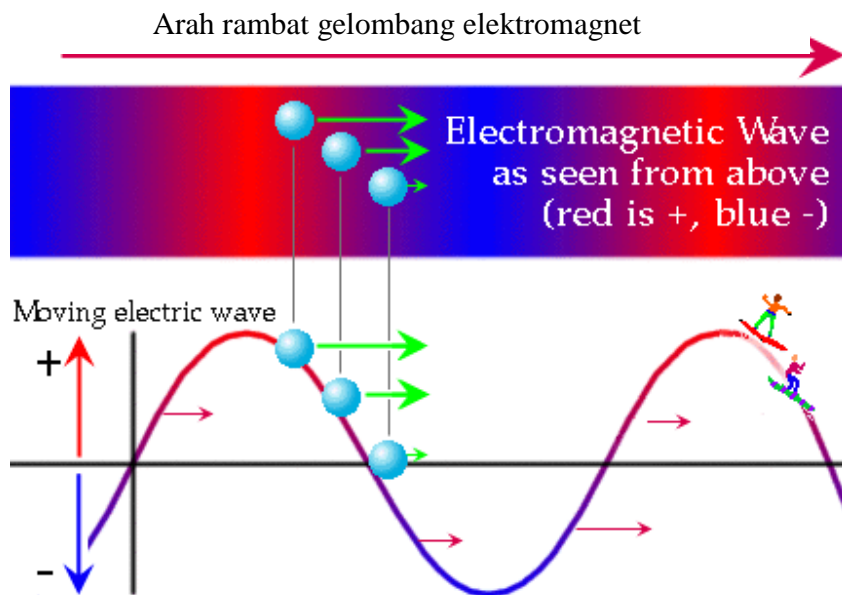
sifatnya. Pada dasarnya, akselerator mengambil suatu partikel, lalu partikel itu dipercepat dengan menggunakan medan elektromagnet dan menemukannya pada suatu target atau partikel lain. Lalu disekitar titik tumbukan ditempatkan detektor yang merekam semua yang terjadi.

Salah satu contoh akselerator partikel disekitar kita adalah TV dan komputer seperti diperlihatkan pada gambar 7.1.



Gambar 7.1 Tabung katoda: Akselerator sederhana

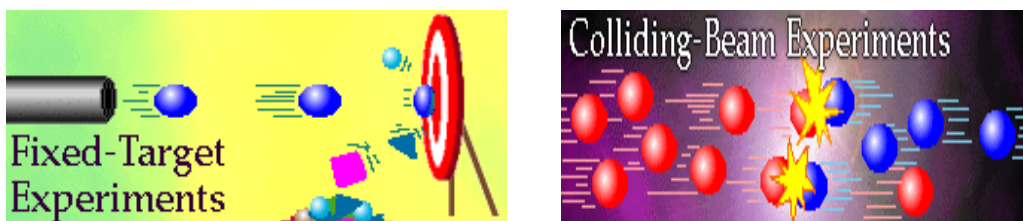
Partikel dipercepat melalui interaksi elektromagnetiknya (gambar 7.2), sehingga hanya partikel bermuatan dan stabil terhadap peluruhan (waktu hidup yang lama) yang dapat dipercepat. Partikel yang memenuhi 2 persyaratan tadi adalah elektron, proton dan inti stabil/ion berat beserta anti partikelnya. Akselerator mempercepat partikel bermuatan dengan medan listrik yang tinggi dimana medan listrik ini menarik atau menolak partikel. Medan listrik ini bergerak dan mendorong partikel untuk bergerak dan dipercepat. Dalam akselerator ini dibutuhkan ruang hampa agar partikel tidak bertumbukan dengan molekul udara.



Gambar 7.2. Partikel muatan positif yang dekat dengan puncak gelombang E-M mendapatkan gaya dorong yang lebih besar, semakin kecil medan listriknya semakin kecil gaya dorongnya.

Akselelator dapat diatur dalam dua tipe tumbukan yaitu *Fixed target experiment* dan *Colliding beams experiment*. Dalam tipe *fixed target experiment*, seberkas partikel berenergi tinggi menumbuk suatu target. Salah satu contohnya adalah experiment Rutherford. Dalam fixed target eksperimen memungkinkan untuk mempercepat partikel stabil tetapi tidak perlu bermuatan. Caranya adalah partikel stabil dan tidak bermuatan dijadikan target ( $\pi$ , K, p,  $\bar{p}$ , n, e,  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $\bar{\nu}$ ).

Sedangkan *colliding beams experiment*, dua berkas dari partikel berenergi tinggi saling bertumbukkan. Salah satu contohnya adalah proses tumbukan dalam anihilasi  $e^-e^+$ .



Gambar 7.3. *Fixed target* dan *Colliding beams experiment*

Akselelator partikel dengan *fixed-target experiment* telah menghasilkan penemuan-penemuan utama dalam fisika partikel diantaranya

Tabel 7.1

<b>Nama Pemercepat</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Partikel yang dipercepat</b>	<b>Energi (GeV)</b>	<b>Penemuan utama partikel</b>
Bevatron	Berkeley, California	Proton	7	Anti proton
SLAC	Stanford, California	Elektron	20	Struktur proton
PS	Genewa,Swiss	Proton	26	Arus neutral
AGS	Long Island, New York	Proton	40	$\Omega$ ,. 2 neutrino, pelanggaran CP dan studi dari quark c
FNAL	Illionis	Proton	500-1000	Studi dari quark b

Akselelator partikel dengan eksperimen colliding beam experiment juga telah menghasilkan penemuan-penemuan utama dalam fisika partikel diantaranya

Tabel 7.2

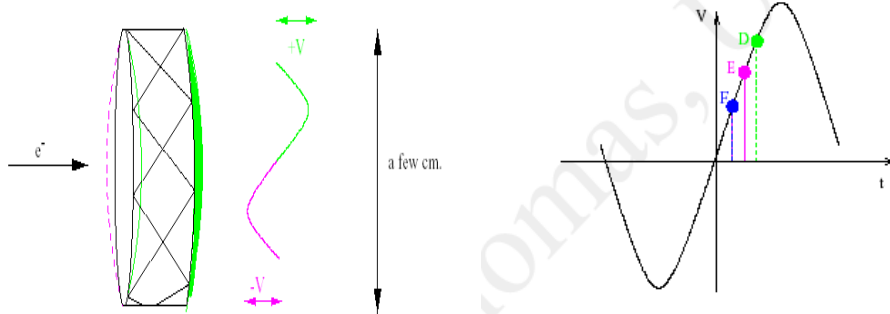
<b>Nama Pemercepat</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Tipe</b>	<b>Energi (GeV)</b>	<b>Penemuan utama partikel</b>
SPEAR	Stanford, California	$e^+e^-$	3-8	Quark c dan lepton tau
ISR	Genewa,Swiss	$\bar{p}p$	2062	Hadrons
PETRA	Jerman	$e^+e^-$	2615-46	Gluon
PEP	Stanford, California	$e^+e^-$	15-30	Waktu hidup quark b
CESR	Ithaca, New York	$e^+e^-$	8-16	Meson B
SPS	Genewa, Swiss	$\bar{p}p$	540-900	W dan Z
LEP	Genewa, Swiss	$e^+e^-$	100	3 neutrino

### 7.1.2. Bentuk Akselator Partikel: Linier dan Sinkrotron

**Linacs:** *Linear Accelerators*, dimana partikel datang dari ujung satu dan keluar di ujung yang lain. Salah satu linacs yang sederhana adalah pemercepat elektron di TV. Dalam tabung katoda TV, medan listrik yang digunakan dapat mempercepat elektron sampai

memiliki energi sekitar 20 KeV. Jika tabung katoda TV memiliki panjang sekitar 20 cm maka medan listrik dalam TV adalah 1 KV/cm. Linacs paling besar adalah SLAC (*Stanford Linear Accelerator Center*) yang memiliki panjang 3 km dan mempercepat elektron dan positron sampai 45 GeV. Ini artinya agar elektron dapat mencapai energi 100 GeV dalam SLAC ini, medan listrik untuk mempercepat partikel harus sekitar 30 MV/m.

Energi sebesar itu tidak dapat dicapai jika menggunakan medan listrik DC biasa yang digunakan pada tabung katoda TV tetapi harus digunakan Cavity RF.

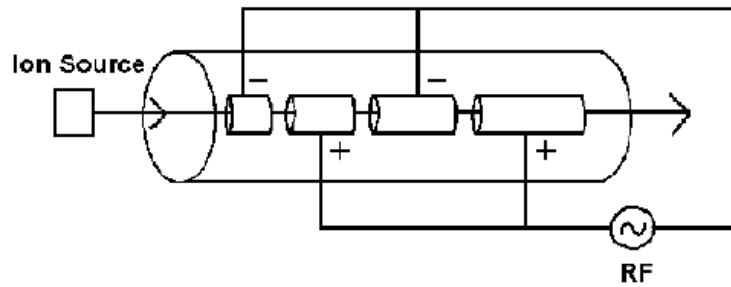


Gambar 7.4. Skema dari Cavity RF

Frekuensi RF mendorong elektron ke depan pada momen yang tepat. Lebar cavity RF sekitar beberapa cm dan fungsi cavity ini adalah tempat gelombang berdiri dimana tegangannya berubah tanda setelah sekumpulan elektron melewatinya untuk mempercepat sekumpulan elektron yang lain. Jika partikel yang datang uniform (sama banyak) setiap waktu, partikel yang datang ketika medan listrik positif akan dipercepat dan partikel yang datang ketika medan listrik negatif akan diperlambat sehingga akan membentuk sekumpulan partikel yang siap untuk dipercepat. Ukuran lebar cavity ini bergantung pada frekuensi RF yaitu setengah panjang gelombangnya.. Sebagai contoh:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{3 \times 10^8 \text{ s}^{-1}} = 1 \text{ m}. \quad (7.1)$$

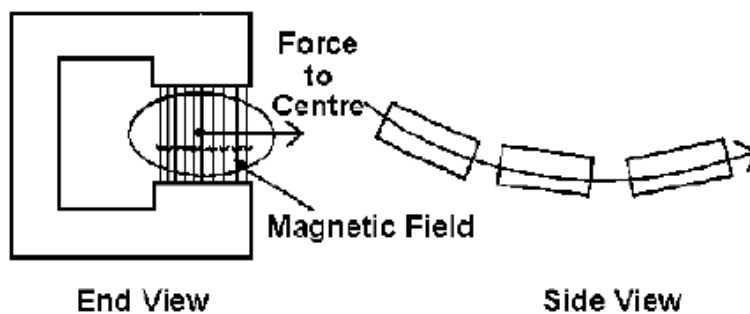
maka ukuran cavity haruslah 50 cm. Dibawah ini adalah skema sederhana dari LINACS.



Gambar 7.5. Akselelator Linier (Linacs)

**Synchotrons:** Akselelator yang dibangun dalam bentuk melingkar, dimana partikel bergerak melingkar beberapa kali lalu keluar dengan kecepatan tinggi.

Untuk membuat suatu benda bergerak melingkar, harus ada gaya konstan yang bekerja pada benda yang arahnya menuju ke pusat lingkaran. Dalam akselelator melingkar, medan listrik membuat partikel bermuatan dipercepat, dan medan magnet membuat partikel memiliki gaya konstan sehingga partikel bergerak dengan lintasan melingkar. Adanya medan magnet tidak menambah atau mengurangi energi dari partikel, hanya agar partikel bergerak melingkar. Magnet juga digunakan untuk mengarahkan berkas partikel bermuatan menuju target dan memfokuskan berkas partikel. Fungsi magnet disini seperti lensa optik untuk memfokuskan sinar. Dibawah ini adalah skema akselelator melingkar.



Gambar 7.6. Akselelator melingkar

Keuntungan akselelator melingkar dibandingkan dengan akselelator linier adalah partikel dalam akselelator melingkar bergerak melingkar beberapa kali sehingga partikel mendapatkan energi berkali-kali di setiap putarannya. Sehingga akselelator melingkar ini

menghasilkan energi yang sangat tinggi tanpa harus melewati akselerator yang sangat panjang seperti pada linacs. Terlebih lagi, karena partikel bergerak melingkar, banyak sekali kemungkinan partikel bertumbukkan di tempat itu sehingga ada kemungkinan tercipta partikel baru.

Tetapi di lain pihak, linacs lebih mudah dibangun dibandingkan akselerator melingkar (*synchrotron*) karena linacs tidak memerlukan magnet yang besar untuk membuat partikel bergerak melingkar. Selain itu akselerator melingkar memerlukan jari-jari yang sangat besar agar partikel mendapatkan energi cukup besar, sehingga akselerator ini mahal sekali untuk dibuat. Pertimbangan lain adalah bahwa partikel bermuatan ketika dipercepat, akan meradiasikan energi atau ada energi yang terbuang. Pada energi tinggi, energi yang terbuang akibat radiasi lebih besar untuk akselerator melingkar dibandingkan akselerator linier. Sebagai tambahan, kehilangan energi akibat radiasi lebih besar dalam mempercepat elektron (lebih ringan) dibandingkan proton (lebih berat). Oleh karena itu elektron dan positron hanya dapat dipercepat dalam akselerator linier atau akselerator melingkar yang jari-jarinya lebih besar.

### **7.1.3. Akselerator Utama Dunia**

Dalam proses untuk mempercepat partikel sampai memiliki energi yang tinggi, beberapa pemercepat digunakan berurutan. Akselerator seperti ini adalah akselerator kompleks diantaranya Fermilab dan CERN. Fermilab terdiri dari beberapa akselerator. Untuk mempercepat proton terdiri dari beberapa langkah. Pertama, proton dipercepat dengan metoda DC, lalu dipercepat oleh linac (akselerator linier) proton sampai 200 MeV. Setelah itu proton dipercepat dengan menggunakan sinkrotron sehingga memiliki energi 8 GeV, lalu dipercepat lagi dengan soinkontron yang lebih besar sehingga dipercepat hingga 500 GeV, dan sejak tahun 1986 proton tersebut dapat dipercepat lagi hingga 800 GeV dengan menggunakan *Superconducting* Tevatron. Beberapa akselerator kompleks di dunia telah banyak memberikan kontribusi baik dalam penemuan partikel-partikel baru maupun studi detail tentang partikel. Beberapa contoh dari akselerator kompleks utama dunia diantaranya:



**SLAC:** *Stanford Linear Accelerator Center*, di California, ditemukan quark charm dan lepton tau; sekarang ini salah satu akseleratornya sedang memproduksi meson B dalam jumlah besar

**Fermilab:** *Fermi National Laboratory Accelerator*, di Illionis, dimana quark bottom dan top dan neutrino tau ditemukan

**CERN:** *European Laboratory for Particle Physics*, di perbatasan Perancis-Swiss, dimana partikel W dan Z ditemukan

**BNL:** *Brookhaven National Lab*, di NewYork, beriringan dengan SLAC menemukan quark charm

**CESR:** *Cornell Electron-Positron Storage Ring*, di New York. CESR menyajikan studi tentang quark bottom

**DESY:** *Deutsches Electronen-Synchrotron*, di Jerman, diman gluons ditemukan

**KEK:** *High Energy Accelerator Research Organization*, di Jepang, yang sekarang ini salah satu akseleratornya sedang memproduksi meson B dalam jumlah besar

**IHEP:** *Institute for High-Energy Physics*, di China menyajikan studi tentang lepton tau dan quark charm



Gambar 7.7. Tevatron Fermilab

## 7.2. Detektor Partikel

Kebanyakan mekanisme dari detektor mengacu pada fakta bahwa partikel bermuatan berenergi tinggi melewati zat, partikel tersebut akan mengionisasi atom

sepanjang lintasannya. Tetapi partikel-partikel netral tidak menyebabkan ionisasi sehingga partikel-partikel tersebut tidak meninggalkan jejak. Lintasan partikel-partikel netral dideteksi dengan menganalisis jejak dari partikel bermuatan yang berinteraksi dengan partikel-partikel netral tersebut akibat adanya kekekalan energi dan momentum.

Untuk itu dalam sub bab detektor ini akan dibahas bagaimana interaksi partikel bermuatan dan foton dengan materi, prinsip, bentuk dan komponen-komponen dari detektor.

### 7.2.1 Interaksi partikel bermuatan dengan materi

Interaksi partikel bermuatan dengan materi dapat melalui berbagai cara, diantaranya:

#### a. Ionisasi

Ketika partikel bermuatan melewati materi, partikel tersebut akan kehilangan energi karena interaksi EM dengan elektron atomik material di sepanjang lintasan geraknya. Partikel bermuatan non elektron (partikel bermuatan yang berat), tumbukan dengan materi tidak begitu berarti karena energi yang diberikan pada inti materi tidak besar karena sama-sama memiliki massa yang besar, sedangkan untuk elektron, tumbukan dengan materi memiliki arti penting karena energi yang diberikan pada inti materi besar karena massa elektron jauh lebih kecil dibandingkan massa atomik materi.

Kehilangan energi akibat ionisasi diberikan oleh persamaan berikut

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi\alpha^2 (\hbar c)^2 N_a Z \rho}{mc^2 \beta^2 A(10^{-3} \text{ kg})} \left[ \ln \left( \frac{2mc^2 \gamma \beta^2}{I} \right) - \beta^2 \right] \quad (7.2)$$

dengan  $\frac{N_a Z \rho}{A(10^{-3} \text{ kg})}$  adalah kerapatan elektron dalam medium dan  $v$  adalah laju partikel datang.

#### b. Radiasi Cerenkov

Kelajuan cahaya pada medium yang indeks biasnya  $n$  adalah  $c/n$ . Partikel bermuatan dapat memiliki laju yang lebih besar dari kelajuan cahaya dalam medium. Ketika partikel

bermuatan lebih cepat dari laju cahaya dalam suatu medium, akan ada radiasi koheren yang dipancarkan.

### **Radiasi Transisi**

Ketika partikel bermuatan bergerak melewati perbatasan dua media, akan ada radiasi EM dalam jumlah kecil. Radiasi ini disebut dengan radiasi transisi. Radiasi ini terjadi karena partikel yang bergerak memiliki medan listrik yang bergantung dengan waktu, yang menimbulkan polarisasi yang bergantung pada waktu pada daerah yang dilintasi partikel.

### **c. Bremsstrahlung**

Semua partikel bermuatan ketika melewati materi, akan kehilangan energinya karena ionisasi. Tetapi khusus elektron dan positron, selain akan kehilangan energi akibat ionisasi juga karena radiasi pengeraman karena elektron dan positron memiliki massa yang yang kecil. Radiasi pengeraman dikenal dengan Bremsstrahlung. Proses Bremsstrahlung disebabkan oleh interaksi EM dengan inti atom dimana akan ada foton yang diradiasikan dari elektron dan positron yang memiliki percepatan. Kemungkinan besar tumbukkan dengan inti akan menghasilkan bremsstrahlung daripada tumbukan dengan elektron, ini dikarenakan probabilitas interaksi berbanding lurus dengan kuadrat muatan listrik. Karena daya radiasi sebanding dengan kuadrat percepatan, maka kehilangan energi akibat Bremsstrahlung berbanding terbalik dengan massa partikel. Elektron akan mengalami kehilangan energi akibat Bremsstrahlung yang lebih besar daripada partikel bermuatan yang berat seperti muon. Kehilangan energi akibat Bremsstrahlung adalah:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{dx}{\chi_o} \quad (7.3)$$

Karakteristik material dapat dilihat dari panjang radiasi ( $\chi_o$ ) yang didefinisikan sebagai jarak dimana energi berkurang sebesar 1/e karena Bremsstrahlung.

Bagaimana dengan interaksi partikel netral dengan materi? Secara umum partikel baik bermuatan maupun netral dapat berinteraksi inti. Ketika hadron yang berenergi tinggi (bermuatan atau netral) melalui materi, akan berinteraksi kuat dengan

inti, sehingga partikel akan mengalami kehilangan energi. Neutrino adalah partikel neutral yang stabil yang sama sekali tidak ada pengaruh ketika melewati materi baik karena ionisasi, radiasi transisi, bremsstrahlung atau interaksi inti. Materi hampir tidak berinteraksi dengan neutrino karena neutrino berinteraksi lemah.. Interaksi lemah hanya bisa dideteksi dengan menggunakan detector raksasa..

### **7.2.2. Interaksi foton dengan materi**

Saat berinteraksi dengan materi, foton dapat kehilangan energinya melalui 3 cara yaitu

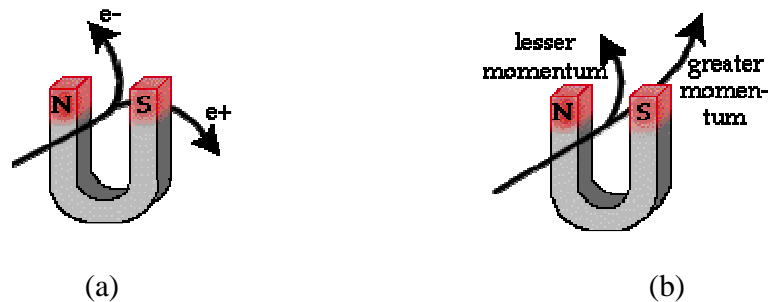
1. Efek fotolistrik : Foton datang mentransfer seluruh energinya pada elektron atomik material penyerap
2. Hamburan Compton. Foton datang memberikan sebagian energinya pada elektron atomik, foton baru memiliki frekuensi yang lebih rendah
3. Produksi pasangan. Foton datang dengan energi kira-kira 1,02 MeV dapat melakukan materialisasi menjadi pasangan elektron-positron.

### **7.2.3. Prinsip Detektor**

Interaksi antara partikel bermuatan dan foton dengan materi dijadikan dasar prinsip kerja detector terutama ionisasi. Detektor ionisasi terdiri dari sebuah anoda dan katode yang perbedaan tegangan antar kedua dibuat sangat tinggi. Ruang antara anoda dan katoda diisi dengan gas atau zat cair. Ketika partikel bermuatan melewati detector, atom-atom dalam medium akan terionisasi. Elektron dan ion bebas mengalir dalam medan listrik sehingga menghasilkan arus listrik sehingga akan menimbulkan pulsa tegangan pada rangkaian luar. Jika tegangannya rendah, arus berbanding lurus dengan tegangan, pada tegangan lebih besar, kestabilan dicapai. Pada tegangan yang lebih tinggi lagi ionisasi kedua dihasilkan dan kembali menghasilkan arus yang berbanding lurus dengan tegangan.

Detektor ini selain untuk mendeteksi partikel juga dapat untuk mengukur besaran-besaran muatan, kecepatan, momentum dan energi. Bagaimana cara mengukur besaran-besaran tersebut?

Salah satu komponen terpenting dari detektor adalah magnet yang menimbulkan medan magnet yang besar terutama pada alat pelacaknya (*tracker*). Untuk mengetahui tanda muatan partikel (+ atau -) dapat diidentifikasi dari arah lintasan partikelnya, karena partikel bermuatan dipengaruhi oleh medan magnet. Partikel netral tidak dipengaruhi oleh medan magnet. Itulah sebabnya pada pelacak (*tracker*) tidak teridentifikasi partikel netral.



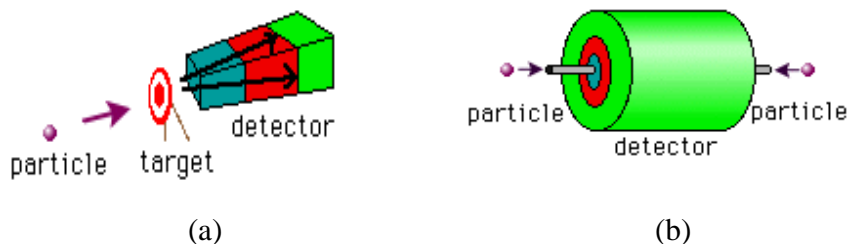
Gambar 7.8

- (a) Partikel bermuatan dalam medan magnet dan (b) Partikel dengan momentum dalam medan magnet.

Momentum partikel dapat dihitung dengan memperhatikan lintasan partikel setelah melewati medan magnet. Lintasan partikel dengan momentum yang lebih kecil lebih dapat dibelokkan dalam medan magnet daripada partikel dengan momentum yang lebih besar. Ini dikarenakan waktu yang diperlukan partikel dengan momentum yang lebih kecil untuk berinteraksi dengan medan magnet lebih lama daripada partikel dengan momentum yang lebih besar. Atau dapat dikatakan partikel dengan momentum yang besar memiliki inersia yang lebih besar daripada partikel dengan momentum yang lebih kecil. Untuk mengukur energi partikel dengan informasi momentum yang telah diukur dikalikan dengan kecepatan cahaya, ( $E=pc$ ).

#### 7.2.4. Bentuk-bentuk Detektor

Detector dapat dikategorikan berdasarkan tipe tumbukannya yaitu:



Gambar 7.9 (a) *Fixed target detector* (b) *Colliding Beam detector*.

### ***Fixed Target Detector***

Pada *fixed target experiment*, partikel yang dihasilkan umumnya bergerak lurus kedepan, sehingga bentuk detektor ini adalah kerucut. (lihat gambar). Salah satu contoh detektor dalam *Fixed target experiment* adalah *Multi-Particle Spectrometer* (MPS) di Fermilab. Spektrometer ini digunakan untuk mempelajari struktur Hadron. Berkas partikel yang datang (partikel yang telah dipercepat) dapat berupa partikel bermuatan positif ( $p$ ,  $K^+$ ,  $\pi^+$ ) atau bermuatan negatif ( $p$ ,  $K^-$ ,  $\pi^-$ ) dengan energi sebesar 200 GeV dan targetnya adalah hidrogen cair.

### ***Colliding Beam Detector***

Pada *Colliding beams experiment*, partikel yang dihasilkan bergerak ke segala arah, sehingga detector ini berbentuk bola atau pada umumnya berbentuk silinder. Salah satu contoh detector ini adalah UAI spectrometer di CERN. Detektor ini digunakan untuk mempelajari tumbukan proton dan anti proton pada energi tinggi.

## **7.2.5. Komponen-komponen Detektor**

Detektor dan komponen-komponen dari detektor diantaranya adalah

### **Geiger Muller.**

Pencacah ionisasi yang paling sederhana adalah tabung Geiger-Muller atau Pencacah Geiger, yang ditemukan pada tahun 1908 oleh Hans Geiger dan dimodifikasi oleh Wilhelm Muller. Pencacah Geiger terdiri dari kawat yang terisolasi listrik di dalam tabung berisi gas, biasanya campuran argon-alkohol. Tegangan listriknya yang dibutuhkan mencapai 1000 Volt. Ketika partikel bermuatan memasuki pencacah, ionisasi dihasilkan dalam gas dan menghasilkan arus listrik. Pencacah Geger ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi neutron, dengan mengisi tabung dengan Boron triflouride ( $BF_3$ ). Inti boron memiliki penampang lintang yang tinggi untuk menghasilkan partikel alpha ketika bertumbukan dengan neutron lambat.

### **Kamar kabut (*Cloud Chambers*)**

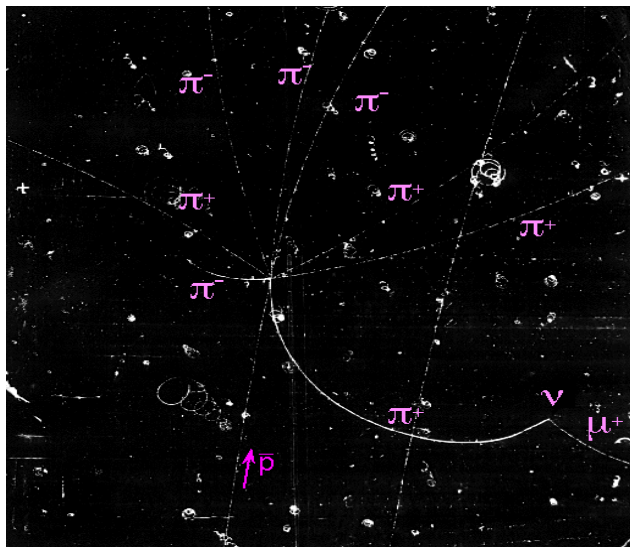
Kamar kabut ditemukan oleh C.T.R Wilson. Lintasan partikel bermuatan diukur dengan mendeteksi ion yang terionisasi oleh muatan tersebut dan dilewatkan pada medan magnet agar dapat ditentukan baik tanda maupun momentumnya. Kamar kabut ini telah digunakan untuk menemukan anti partikel (positron), muon dan quark strange (s).

### **Emulsi (*Emulsion*)**

Pada awal tahun 1910, ditemukan emulsi fotografi yang berisi butir-butir halide perak yang sangat sensitif terhadap radiasi ionisasi. Di dalam piringan fotografik ini akan terlihat lintasan butir perak sepanjang lintasan partikel bermuatan yang dapat diamati mikroskop. Emulsi ini digunakan untuk mendeteksi partikel dalam fixed target experiment. Emulsi ini telah digunakan untuk menemukan pion bermuatan dan interaksi lemahnya.

### **Kamar Gelembung (*Bubble Chamber*)**

Kamar gelombang ditemukan pada tahun 1952 oleh D Glaser. Prinsip kerjanya sama dengan kamar kabut. Cairan bertekanan tinggi seperti hidrogen di buat dalam keadaan *superheated* dengan menurunkan tekanan secara tiba-tiba. Gelembung akan terbentuk disekitar ion yang akibat ionisasi oleh partikel bermuatan. Kamar gelembung ini telah berhasil menemukan klasifikasi hadron dan interaksi neutrino dengan pertukaran  $Z^0$ .



Gambar 7.10. Hasil pendeteksian partikel dan anti partikel dari detektor kamar gelembung

### **Detektor silikon**

Detektor ionisasi dapat terbuat dari semikonduktor seperti silikon. Detektor semikonduktor ini memanfaatkan kenyataan bahwa lapisan tipis pada kedua sisi sambungan p-n kekurangan muatan pembawa. Bila bias mundur dipasang pada silikon, setiap elektron dan lubang yang ditimbulkan dalam daerah deplesi oleh partikel pengion akan tertarik ke ujung kristal sehingga menimbulkan pulsa tegangan. Detektor semikonduktor ini digunakan untuk pengukuran energi.

### **Kamar latu (*Spark chamber*)**

Kamar latu terdiri dari sejumlah keping logam sejajar dalam kamar yang berisi gas mulia seperti neon. Tegangan tinggi dipasang antara masing-masing pasangan keping. Jika partikel bermuatan melalui kamar ini, pelatuan terjadi sepanjang lintasan ion yang ditimbulkan oleh partikel itu karena bertambahnya konduktivitas gas. Hasil deretan ini dapat dipotret dan jika kamar itu diletakkan dalam medan magnet, muatan dan momentum partikel dapat ditentukan dari lengkungan lintasannya.

### **Pencacah Cerenkov**

Pencacah Cerenkov ini digunakan untuk mendapatkan informasi tentang laju partikel. Ketika dikombinasikan dengan pengukuran momentum, akan didapatkan informasi massa atau identitas lain dari partikel. Pencacah Cerenkov digunakan khususnya untuk memisahkan pion kaon dan proton. Pencacah ini dibuat dengan mengisi kontainer besar dengan gas dan cermin agar terlihat gambaran cahayanya.

### **Kalorimeter Elektromagnetik**

Kalorimeter digunakan untuk mengukur energi total partikel. Ada dua tipe kalorimeter, yaitu kalorimeter elektromagnetik dan kalorimeter hadron. Kalorimeter EM (*electromagnetic*) digunakan untuk mengukur energi elektron, positron dan foton dengan menggunakan prinsip interaksi EM dengan inti. Yang teramati dalam kalorimeter berupa pancaran EM, biasanya terdeteksi dalam kamar kabut. Proses interaksi adalah



Bremsstrahlung dan produksi pasangan. Banyaknya elektron, positron dan foton yang dihasilkan sebanding dengan energi dari partikel datang.

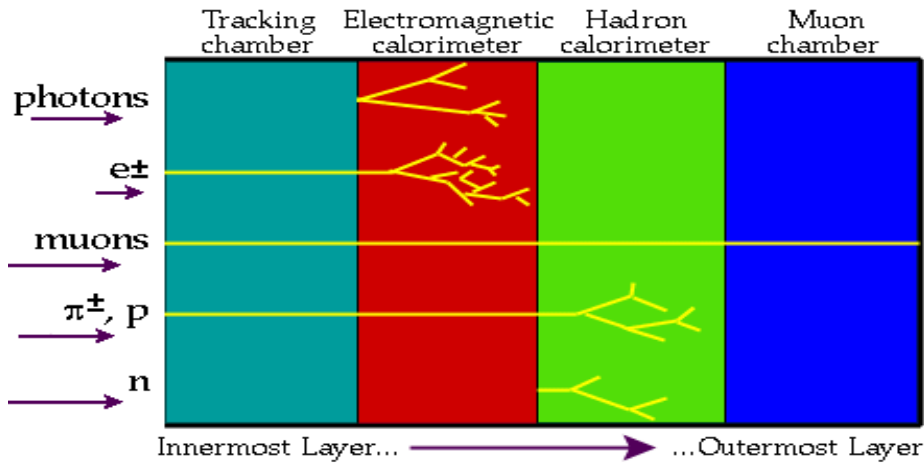
### **Kalorimeter Hadron**

Kalorimeter hadron digunakan untuk mengukur energi hadrons. Hadron yang memiliki waktu hidup yang panjang untuk dapat memasuki kalorimeter adalah proton, pion bermuatan, kaon bermuatan, neutron dan kaon netral yang berumur panjang. Prosesnya sama seperti kalorimeter hadron tetapi interaksinya kuat.

### **Spektrometer partikel**

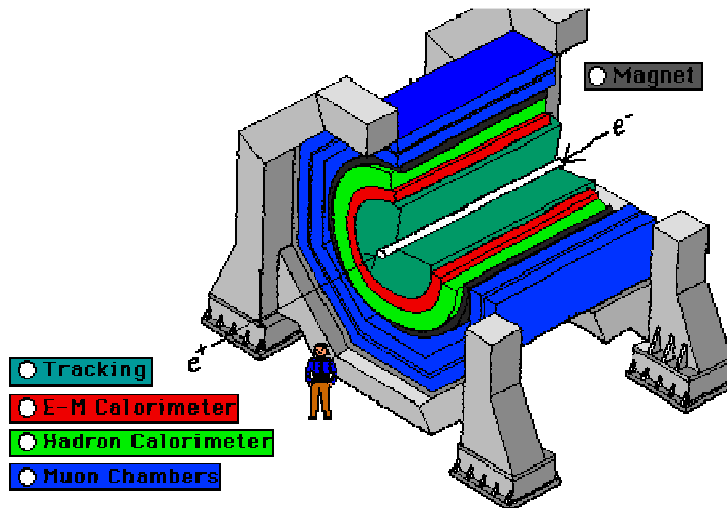
Partikel stabil yang diketahui adalah, foton, elektron, neutrino, proton dan anti partikel-partikelnya. Selain itu partikel-partikel itu teramati tidak stabil, biasanya meluruh, kadang beberapa kali meluruh menjadi dua atau lebih partikel-partikel stabil. Parameter yang digunakan untuk mendeteksi partikel sebelum meluruh adalah dengan menggunakan parameter waktu hidup partikel  $\times$  laju cahaya ( $c\tau$ ) yang sama dengan  $\gamma c\tau$  yaitu panjang lintasan partikel sebelum partikel meluruh. Foton, elektron dan muon dideteksi oleh interaksi EM. Proton, kaon dan pion dideteksi melalui interaksi EM dan kuat dengan materi sedangkan neutron dan kaon netral dideteksi oleh interaksi kuat dengan materi Neutrino tidak dapat terdeteksi karena interaksinya yang begitu lemah dengan materi.

Detektor energi tinggi modern didesain untuk membedakan partikel-partikel oleh interaksinya dengan materi. Salah satu acuannya dengan menggunakan interaksi acuan dari 8 partikel seperti pada gambar 7.11.



Gambar 7.11. Interaksi acuan 8 partikel dalam detektor energi tinggi modern.

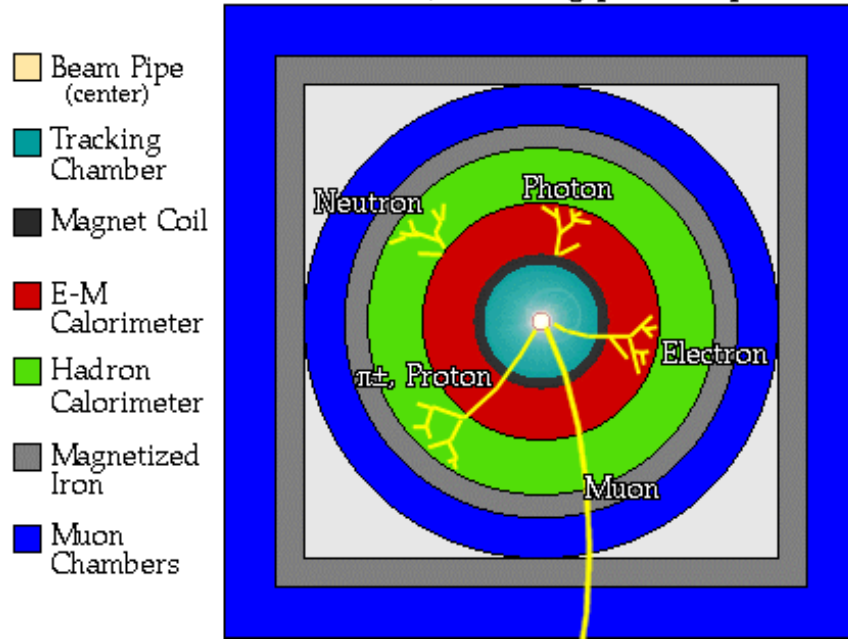
Komponen-komponen detektor yang ideal adalah harus terdiri dari komponen-komponen (1) Pelacak (tracking) partikel bermuatan dalam suatu medan magnetik untuk menentukan partikel (2) kalorimeter elektromagnetik untuk mengukur foton dan energi elektron (3) Kalorimeter hadronik untuk mengukur energi hadron dan (4) Kamar Muon (Muon Chamber). Komponen-komponen detektor modern diperlihatkan pada gambar 7.12.



Gambar 7.12. Komponen-komponen dari detektor modern

Salah satu contohnya adalah colliding beam detektor yang dilihat dari sisi penampang lintangnya. Pada gambar 14 diperlihatkan bentuk lintasan partikel dan komponen-komponen dari detektornya.

A detector cross-section, showing particle paths



Gambar 7.13. Penampang lintang detektor dan lintasan partikel

## Rangkuman

- Partikel dipercepat melalui interaksi elektromagnetiknya (gambar 7.2), sehingga hanya partikel bermuatan dan stabil terhadap peluruhan (waktu hidup yang lama) yang dapat dipercepat. Partikel yang memenuhi 2 persyaratan tadi adalah elektron, proton dan inti stabil/ion berat beserta anti partikelnya. Akselerator mempercepat partikel bermuatan dengan medan listrik yang tinggi dimana medan listrik ini menarik atau menolak partikel. Medan listrik ini bergerak dan mendorong partikel untuk bergerak dan dipercepat
- Agar partikel dapat dipercepat maka partikel harus dilewatkan pada: (1) medan listrik yang sangat besar (akselerator DC) (2) banyak medan listrik kecil yang membentuk garis (Linac = *Linear Accelerator*) dan (3) medan listrik yang kecil tetapi berkali-kali atau lebih dikenal dengan akselerator melingkar (Synchrotron)
- Interaksi partikel bermuatan dengan materi dapat melalui berbagai cara, diantaranya: Ionisasi, Radiasi Cerenkov, radiasi Transisi dan Bremstrahlung sedangkan interaksi foton dengan materi adalah efek foto listrik, hamburan Compton dan produksi pasangan.
- Bentuk-bentuk detektor dibedakan atas *fixed target detector* dan *colliding beam detector*.
- Komponen-komponen detektor modern dimulai dari terdalam sampai yang terluar adalah 1) Pelacak (tracking) partikel bermuatan dalam suatu medan magnetik untuk menentukan partikel (2) kalorimeter elektromagnetik untuk mengukur foton dan energi elektron (3) Kalorimeter hadronik untuk mengukur energi hadron dan (4) Kamar Muon (Muon Chamber).

## Soal-soal Latihan

1. Jelaskan perbedaan antara akselerator DC, akselerator linier (RF) dan akselerator melingkar! Apa keuntungan dan kerugian dari ketiga macam akselerator tersebut?
2. Turunkan secara kuantitatif mengapa colliding beam experiment menghasilkan energi yang lebih besar dari pada target fixed experiment

3. Mengapa prinsip dari detektor didominasi oleh ionisasi dibandingkan interaksi lainnya?
4. Tentukan komponen detektor apa sajakah yang harus dimiliki detektor modern. Gambarkan susunan penempatan komponen-komponen tersebut dari lapisan terdalam sampai lapisan terluar!
5. Suatu detektor partikel modern mendeteksi sejumlah partikel. Tentukan lintasan partikel-partikel  $K^-$ ,  $\nu_e$ ,  $\gamma$ ,  $\mu^+$  dan  $K^0$  di dalam detektor modern!