

TOPIK 6: FIZIK NUKLEAR

6.1 REPUTAN RADIOAKTIF

1. Reputan radioaktif merupakan proses **nukleus tidak stabil** menjadi nukleus **stabil** dengan memancarkan **sinaran radioaktif**.
2. Proses ini dikatakan spontan kerana ia **tidak dipengaruhi** oleh mana-mana **faktor-faktor fizikal** seperti suhu, tekanan, masa, dan lain-lain.
3. Terdapat tiga jenis sinaran radioaktif, iaitu **zarah alfa ( $\alpha$ )**, **zarah beta ( $\beta$ )** dan **sinar gama ( $\gamma$ )**.

CIRI-CIRI TIGA JENIS SINARAN RADIOAKTIF

SINARAN RADIOAKTIF	ZARAH ALFA	ZARAH BETA	SINARAN GAMMA
SIMBOL	${}^4_2\alpha$	${}^0_{-1}\beta$	$\gamma$
SIFAT SEMULAJADI	Cas Positive, nucleus helium, He	Elektron	Neutral sinaran elektromagnet
CAS	+2 cas elektrik	-1 cas elektrik	0
LAJU	$(1/20) \times$ kelajuan cahaya, c	3 % - 99 % kelajuan cahaya, c	kelajuan cahaya
TENAGA	Untuk sumber tertentu, semua zarah $\alpha$ yang dipancarkan dengan KE sama	Bagi punca $\beta$ -zarah tertentu dipancarkan mempunyai pelbagai KE	Tiada
MEDAN ELEKTRIK			
MEDAN MAGNET	<p> <math>\alpha</math> - heavy (small deviation)  <math>\beta</math> - light (large deviation)                      - opposite direction to alpha  <math>\gamma</math> - no deviation                 </p>		
KUASA ION	Kuat	Sederhana	Lemah
KUASA PENEMBUASAN	Rendah	Sederhana	Kuat
DIHALANG OLEH	A thin sheet of paper	A few millimeters of aluminium	A few centimeters of lead or concrete
JULAT DI UDARA	Beberapa sentimeter	Beberapa meter	Beberapa ratus meter

TIPS SPM

1. Proses pereputan di mana **nukleus atom tidak stabil** memancarkan zarah-zarah subatom atau radiasi.
2. Apabila nukleus radioaktif mereput, nukleusnya terputus, mengeluarkan zarah alfa atau zarah beta dan tenaga, dan membentuk atom baru dengan elemen yang berbeza.
3. Nukleus sebelum pereputan dipanggil nuklid induk dan produk pereputan adalah nuklid 'anak'.
4. Nuklid induk X berubah ke nuklid anak Y.

**PERUBAHAN BILANGAN BILANGAN PROTON DAN NUKLEON DALAM KEREPUTAN RADIOAKTIF**

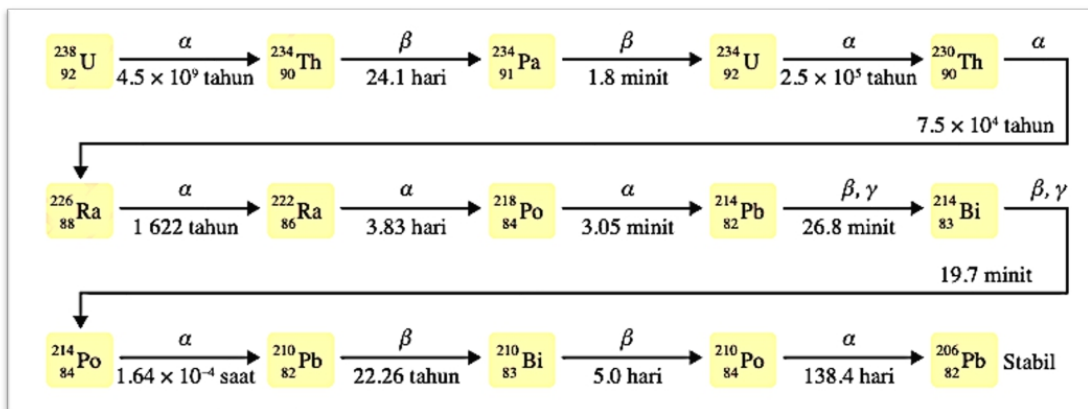
PEREPUTAN ALFA	PEREPUTAN BETA	PANCARAN GAMMA
${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_ZX + \gamma$
<p>Mengakibatkan nuklid 'anak' mempunyai 2 proton kurang dan 2 neutron kurang daripada nuklid induk.</p> <p>Nombor proton Z berkurangan dengan 2 dan nombor nukleon A berkurangan dengan 4.</p>	<p>Satu perubahan neutron untuk proton dan elektron semasa pereputan beta.</p> <p>Proton kekal dalam nukleus dan elektron yang dipancarkan sebagai zarah beta.</p> <p>Nukleus kehilangan neutron tetapi beroleh proton.</p> <p>Nombor proton bertambah sebanyak 1, nombor nukleon masih tidak berubah.</p>	<p>pancaran Gamma tidak mengubah struktur nukleus, ia hanya menghasilkan nukleus yang lebih stabil.</p> <p>Sinar gamma yang dipancarkan pada masa yang sama bersama-sama dengan zarah alfa atau zarah beta.</p> <p>Apabila nukleus melepaskan alfa atau zarah beta, sering terdapat beberapa tenaga berlebihan yang dihasilkan yang akan dikeluarkan sebagai sinar gamma.</p>
<p><b>CONTOH:</b></p> ${}^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^4_2He$ ${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^4_2He$	<p><b>CONTOH:</b></p> ${}^{239}_{91}Pa \rightarrow {}^{239}_{92}U + {}^0_{-1}e$ ${}^{14}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + {}^0_{-1}e$	<p><b>CONTOH:</b></p> ${}^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^4_2He + \gamma$ ${}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{27}Co + \gamma$

**ALAT PENGESAN RADIOAKTIF**

NO	PANCARAN RADIOAKTIF	ALAT PENGESAN	TUJUAN
1.	Beta dan gamma.	Filem fotografi	Tidak boleh menembusi logam
2.	Alpha dan beta	Kerajang emas	Kuasa pengionan yang kuat
3.	Alpha, beta dan gamma	Cloud Chambers	Trek alfa tebal dan lurus. Beta - nipis dan berpusar Gamma - nipis daripada beta.
4.	Alpha, beta dan gamma	Geiger - Muller Tube (G.M Tube)	Alfa adalah cas positif, tidak seperti cas tertarik dalam medan elektrik yang kuat antara kedua-dua elektrod.
5.	Alpha, beta dan gamma	Geiger - Muller Tube (G.M Tube)	Pendedahan radiasi lebih satu minggu - Satu tiub GM yang berkaitan dengan skala. Keamatan minimum radiasi. - Satu tiub GM disambungkan kepada meter kadar.

### SIRI PEREPUTAN

1. Apabila suatu nukleus radioaktif yang tidak stabil mereput, nukleus baharu yang terbentuk juga mungkin tidak stabil.
2. Nukleus baharu akan mengalami satu siri reputan berterusan sehingga nukleus yang stabil terbentuk. Rajah 6.1 menunjukkan satu siri reputan lengkap uranium-238 ke plumbum-206 dan separuh hayat masing-masing.



Rajah 6.1 Siri reputan uranium-238

### SEPARUH HAYAT

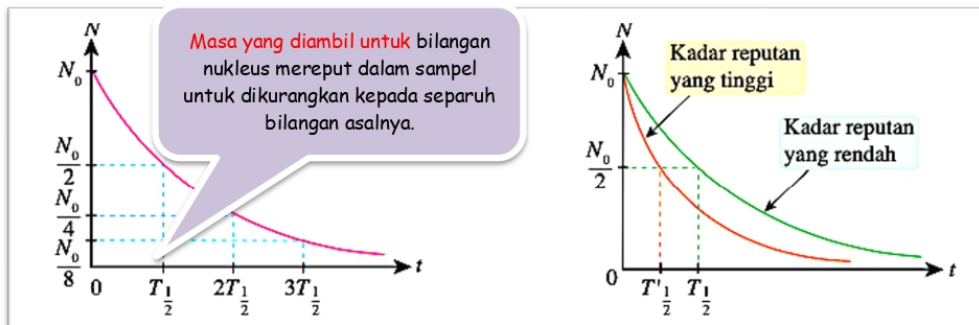
1. **Separuh hayat** ( $T_{\frac{1}{2}}$ ) masa yang diambil untuk separuh daripada bilangan asal nukleus radioaktif bagi suatu sampel radioaktif mereput.
2. Uranium-238 ialah unsur radioaktif yang mempunyai separuh hayat yang panjang, iaitu kira-kira 5 000 juta tahun.
3. Unsur ini terperangkap semasa pembentukan batu-batuan. Uranium-238 yang terperangkap akan mereput dan akhirnya membentuk plumbum-206 yang stabil.
4. Proses reputan ini mengambil masa yang lama kerana kadar reputannya rendah. Dengan penentuan nisbah plumbum-206 kepada uranium-238 dalam suatu sampel batu, usia batu-batuan dapat dianggarkan.
5. Semakin tinggi nisbah tersebut, semakin berusia batu-batuan. Kaedah pengukuran geologi ini juga dapat menganggarkan usia Bumi kita.
6. **Radioisotop** ialah isotop dengan nukleus tidak stabil yang boleh memancarkan sinaran radioaktif.

### TIPS SPM

1. Kadang-kadang nuklid 'anak' daripada radioaktif tidak masih tidak stabil. Ia akhirnya akan reput lagi mengakibatkan radionuklid yang juga tidak stabil.
2. Proses ini berterusan sebagai satu **siri pereputan radioaktif** sehingga mengakibatkan nuklid yang stabil tercapai.
3. Setiap kerosakan akan mengeluarkan sama ada zarah alfa atau satu zarah beta dan mungkin sinar gamma.

**MENENTUKAN SEPARUH HAYAT BAHAN SUMBER RADIOAKTIF DARIPADA GRAF LINGKUNG REPUTAN**

1. **Aktiviti** bahan radioaktif ialah bilangan pereputan sesaat daripada nukleus tidak stabil. Ia juga dikenali sebagai **kadar pereputan**.
2. Setiap pereputan sepadan dengan pelepasan satu zarah atau satu foton.
3. Oleh kerana bilangan nukleus mereput berkurang dengan masa, aktiviti bahan radioaktif juga berkurang dengan masa.
4. Aktiviti ini boleh diukur dengan menggunakan **tiub GM** disambungkan kepada meter kadar.
5. Unit SI bagi aktiviti adalah **Becquerel (Bq)**. **1 Bq = 1 pereputan sesaat**.



**Q:** Pa mengambil 20.8 jam untuk mengecut dari 80 g 5 g. Berapa separuh hayat yang ada?

**A:**

80g  $\xrightarrow{T_{1/2}}$  40g  $\xrightarrow{T_{1/2}}$  20g  $\xrightarrow{T_{1/2}}$  10g  $\xrightarrow{T_{1/2}}$  5g  
 Proses pereputan telah mengambil masa 4  $\times$   $T_{1/2}$  hayat.

$$N = \left(\frac{1}{2}\right)^n N_0$$

N = Jumlah zarah radioisotop selepas n separuh hayat

No = Zarah radioisotope asal  
 n = bilangan separuh hayat

**Q:** Dalam 30 hari, aktiviti yang sampel penurunan radioisotope untuk 1 per 8 daripada aktiviti asalnya. Kira setengah hayatnya.

**A:**

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n N = \left(\frac{1}{8}\right) N$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n = \left(\frac{1}{2^3}\right)$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n = \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

$$n = 3$$

$$\therefore 3 \times T_{1/2} = 30 \text{ days}$$

$$T_{1/2} = 10 \text{ days}$$

Element	Nuclide	Half-life
Polonium - 218	$^{218}_{84}\text{Po}$	3.05 minutes
Protactinium - 234	$^{234}_{91}\text{Pa}$	6.75 hours
Radon - 222	$^{222}_{86}\text{Rn}$	3.82 days
Thorium - 234	$^{234}_{90}\text{Th}$	24.1 days
Radium - 226	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1620 years
Thorium - 230	$^{230}_{90}\text{Th}$	$8.0 \times 10^4$ years
Uranium - 234	$^{234}_{92}\text{U}$	$2.47 \times 10^5$ years
Uranium - 238	$^{238}_{92}\text{U}$	$4.51 \times 10^9$ years

**Jadual 6.1:** Separuh hayat bagi beberapa element bahan radioaktif

**TIPS SPM**

**SPM 2022**

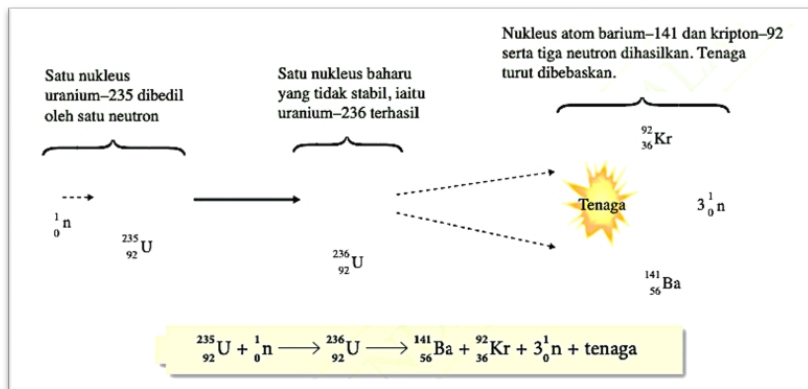
1. Menentukan separuh hayat bagi suatu bahan radioaktif daripada graf lengkung reputan.
2. Menentukan bilangan aktiviti selepas beberapa proses reputan.

## 6.2 TENAGA NUKLEAR

**Tenaga nuklear** dikenali sebagai tenaga atom yang dibebaskan semasa tindak balas nuklear seperti reputan radioaktif, pembelahan nukleus dan pelakuran nukleus.

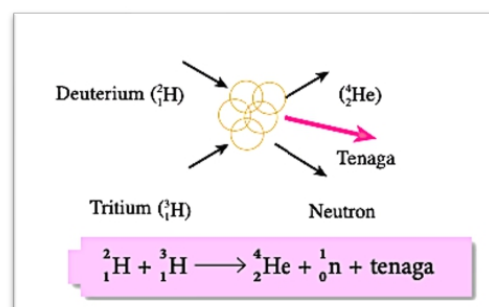
### PEMBELAHAN NUKLEAS

- Pembelahan nukleus** ialah tindak balas nuklear apabila satu nukleus yang berat membelah menjadi dua atau lebih nukleus yang lebih ringan dengan membebaskan tenaga yang banyak.
- Perbezaan antara pembelahan nuklear dan pereputan radioaktif:**
  - nukleus ini dibahagikan kepada dua serpihan besar jisim kurang sama
  - Terdapat kecacatan jisim ketara
  - neutron lain yang dipancarkan



### PELAKURAN NUKLEAS

- Pelakuran nukleus** ialah tindak balas nuklear apabila nukleus yang kecil dan ringan bercantum untuk membentuk satu nukleus yang berat dengan membebaskan tenaga yang banyak.
- Tindak balas ini berlaku pada keadaan **suhu dan tekanan yang amat tinggi**.
- Pelakuran nukleus melibatkan deuterium dan tritium bagi menghasilkan nukleus helium yang lebih berat. Tenaga dan satu neutron turut dibebaskan.



#### TIPS SPM

- Atom adalah terlalu kecil untuk diukur dalam kilogram atau gram
- Jisim atom, nukleus dan proton diukur dalam unit jisim atom (uja)
- $1 \text{ a.m.u} = \frac{1}{12} \times \text{jisim C - 12 atom}$
- $1 \text{ a.m.u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

**PERBEZAAN DI ANTARA PEMBELAHAN NUKLEAR DAN PELAKURAN NUKLEAR**

	<b>PELAKURAN NUKLEAR</b>	<b>PEMBELAHAN NUKLEAR</b>
<b>DEFINISI</b>	Satu proses yang menggabungkan dua nukleus ringan untuk membentuk nukleus yang lebih berat, membebaskan sejumlah besar tenaga semasa proses tersebut.	Proses membelah nukleus yang lebih berat kepada dua nukleus ringan dan memancar beberapa neutron dan tenaga.
<b>DI MANA PUNCA TENAGA?</b>	Pengurangan dalam jisim apabila dua cahaya mengakibatkan radionuklid fuis bersama-sama, ditukar menjadi tenaga	Pengurangan jumlah jisim serpihan berbanding dengan jisim mengakibatkan radionuklid asal ditukarkan kepada tenaga
<b>PROSES YANG TERLIBAT</b>	Nukleus cahaya pada kelajuan yang tinggi dan suhu yang sangat tinggi mengatasi daya tolakan dan fuis untuk membentuk nukleus tunggal	Zarah bergerak, cth. neutron, memukul dan memecahkan nukleus berat dan menghasilkan neutron cukup untuk memecahkan nukleus lain (tindak balas rantai)
<b>BOLEHKAH KADAR TINDAK BALAS DIKAWAL?</b>	Sukar dikawal	Boleh dikawal
<b>CONTOH</b>	Pelakuran adalah proses dalam tenaga matahari	Pembelahan adalah proses dalam reaktor nuklear



Sejumlah besar tenaga yang dihasilkan oleh **MATAHARI** datang dari tindak balas gabungan nuklear.

Matahari mempunyai **suhu yang sangat tinggi** untuk memberi **tenaga kinetik tinggi**.

1. Kedua-dua pembelahan nuklear dan pelakuran **membebaskan** sejumlah besar **tenaga**. Sumber tenaga ini adalah dari kehilangan jisim dalam tindak balas nuklear.
2. Jumlah bagi jisim zarah sebelum tindak balas adalah lebih daripada jumlah jisim zarah selepas tindak balas.
3. Kecacatan jisim adalah [**jumlah jisim sebelum tindak balas - jumlah jisim selepas tindak balas**]
4. Jisim dan tenaga boleh ditukar.
5. **Kehilangan jisim** dalam tindak balas nuklear bermakna **jisim telah berubah kepada tenaga**.
6. Hubungan di antara jisim dan tenaga:

$$E = mc^2$$

Di mana

E = tenaga dibebaskan, dalam joule, J

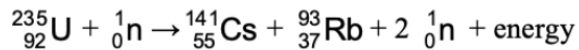
m = kehilangan jisim atau kecacatan jisim, dalam kg

c = kelajuan cahaya =  $3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

**Menyelesaikan Masalah yang Melibatkan Tenaga Nuklear daripada Reputan Radioaktif dan Tindak Balas Nuklear**

**CONTOH 1:**

Tindak balas nuklear diwakili oleh persamaan berikut:



Cacat jisim yang terhasil dalam tindak balas ialah 0.19585 u.

[1 u =  $1.66 \times 10^{-27}$  kg, Kelajuan cahaya,  $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ]

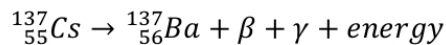
Kira tenaga yang dibebaskan.

$$\begin{aligned} m &= 0.1958 \times 1.66 \times 10^{-27} \\ &= 3.25028 \times 10^{-28} \text{ kg} \\ E &= mc^2 \\ &= 3.25028 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 2.9253 \times 10^{-12} \text{ J} \end{aligned}$$

**CONTOH 2:**

Radioisotop yang digunakan dalam penyinaran makanan ialah Cesium-137.

Pereputan Cesium-137 diwakili oleh persamaan berikut:



Elemen	Unit Jisim Atom (u)
Cesium	${}_{55}^{137}\text{Cs}$ 136.907089
Barium	${}_{56}^{137}\text{Ba}$ 136.905827
Beta particle	$\beta$ 0.000549

1 u =  $1.66 \times 10^{-27}$  kg  
Laju cahaya,  $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

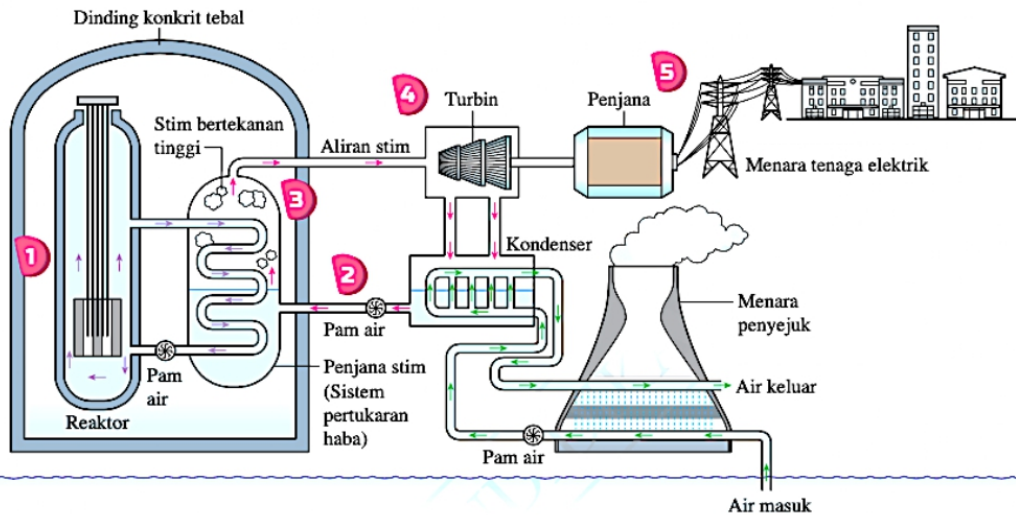
b) Kira tenaga yang dibebaskan daripada pereputan radioaktif.

$$\begin{aligned} E &= 1.1836 \times 10^{-30} \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 1.0652 \times 10^{-13} \text{ J} \end{aligned}$$

a) Tentukan cacatan jisim dalam kg.

$$\begin{aligned} \text{Cacat jisim} &= 136.907089 - 136.905827 - 0.000549 \\ &= 0.000713 \text{ u} \\ &= 0.000713 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ &= 1.1836 \times 10^{-30} \text{ kg} \end{aligned}$$

**PENJANAAN TENAGA ELEKTRIK DALAM REAKTOR NUKLEAR**



- 1** Pembelahan nukleus uranium-235 dan tindak balas berantai menghasilkan tenaga haba.
- 2** Air dipam ke dalam teras reaktor bagi menyerap tenaga haba yang dihasilkan oleh pembelahan nukleus.
- 3** Pendidihan air menghasilkan stim yang bertekanan tinggi. Stim ini akan disalurkan ke turbin.
- 4** Turbin diputar oleh stim yang bertekanan tinggi dan seterusnya memutar magnet atau gegelung dalam penjana. Stim tersebut akan terkondensasi menjadi air.
- 5** Tenaga elektrik yang dijana dihantar melalui sistem penghantaran bekalan kuasa kepada pengguna.

SPM 2021

1. Pengubahsuaian reaktor nuklear

TIPS SPM

## Penggunaan pembelahan nuklear dalam penjanaan elektrik

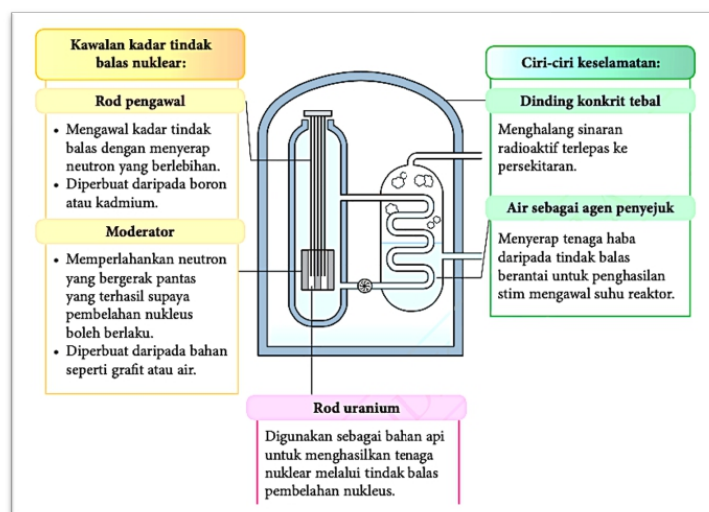
### KELEBIHAN

- Kos tenaga nuklear hampir sama dengan arang batu, jadi ia tidak mahal.
- Ia tidak menghasilkan asap atau karbon dioksida.
- Ia tidak menyumbang kepada kesan rumah hijau.
- Ia menghasilkan kurang sisa daripada bahan api fosil.
- Ia menghasilkan sejumlah besar tenaga daripada sejumlah kecil bahan api.
- Stesen janakuasa nuklear memerlukan lebih sedikit bahan api berbanding stesen yang menggunakan bahan api fosil.
- Rizab bahan api nuklear yang besar di dunia.
- Prosedur keselamatan dalam pentadbiran reaktor nuklear sangat maju dan selamat.
- Menghasilkan radioisotop yang berguna sebagai hasil sampingan yang boleh digunakan dalam industri, perubatan, pertanian dan penyelidikan.

### KEBURUKAN

- Kos awal untuk mereka bentuk dan membina stesen janakuasa nuklear adalah sangat tinggi.
- Selalu ada risiko kemalangan. Jika tindak balas berantai di luar kawalan, letupan atau kebocoran atau sejumlah besar bahan radioaktif mungkin berlaku.
- Rod bahan api terpakai sangat panas dan sangat radioaktif dengan separuh hayat yang sangat panjang.
- Prosedur yang mahal diperlukan untuk menyejukkan rod dan menyimpannya.
- Air panas yang dilepaskan dari stesen janakuasa nuklear boleh menyebabkan pencemaran haba.
- Orang yang bekerja di stesen janakuasa nuklear dan mereka yang tinggal berdekatan mungkin terdedah kepada sinaran yang berlebihan.

*Kawalan kadar tindak balas nuklear dan ciri-ciri keselamatan yang terdapat dalam sebuah reaktor nuklear.*



- Di dalam reaktor nuklear, tindak balas pembelahan nukleus uranium-235 menghasilkan dua nukleus anak, tiga neutron yang bergerak pantas dan membebaskan tenaga yang besar.
- Neutron-neutron tersebut akan membedil nukleus uranium-235 yang lain dan akan membebaskan neutron yang lebih banyak melalui pembelahan nukleus yang berterusan.
- Tindak balas berterusan ini dikenali sebagai **tindak balas berantai**.

