



MODUL  
TEMA 17

# Menjaga Bumi Tetap Lestari

FISIKA PAKET C SETARA SMA/MA KELAS XII



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan  
Direktorat Jenderal PAUD, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah  
Direktorat Pendidikan Masyarakat dan Pendidikan Khusus  
Tahun 2020



MODUL  
TEMA 17

# Menjaga Bumi Tetap Lestari

FISIKA PAKET C SETARA SMA/MA KELAS XII



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan  
Direktorat Jenderal PAUD, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah  
Direktorat Pendidikan Masyarakat dan Pendidikan Khusus  
Tahun 2020

Fisika Paket C Setara SMA/MA Kelas XII  
Modul Tema 17 : Menjaga Bumi Tetap Lestari

- **Penulis:** Drs. Sanserlis F. Toweula, M.Si.
- **Editor:** Dr. Samto; Dr. Subi Sudarto  
Dra. Maria Listiyanti; Dra. Suci Paresti, M.Pd.; Apriyanti Wulandari, M.Pd.
- **Diterbitkan oleh:** Direktorat Pendidikan Masyarakat dan Pendidikan Khusus–Direktorat Jenderal Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah–Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

iv+ 72 hlm + ilustrasi + foto; 21 x 28,5 cm

## Kata Pengantar

Pendidikan kesetaraan sebagai pendidikan alternatif memberikan layanan kepada masyarakat yang karena kondisi geografis, sosial budaya, ekonomi dan psikologis tidak berkesempatan mengikuti pendidikan dasar dan menengah di jalur pendidikan formal. Kurikulum pendidikan kesetaraan dikembangkan mengacu pada kurikulum 2013 pendidikan dasar dan menengah hasil revisi berdasarkan peraturan Mendikbud No.24 tahun 2016. Proses adaptasi kurikulum 2013 ke dalam kurikulum pendidikan kesetaraan adalah melalui proses kontekstualisasi dan fungsionalisasi dari masing-masing kompetensi dasar, sehingga peserta didik memahami makna dari setiap kompetensi yang dipelajari.

Pembelajaran pendidikan kesetaraan menggunakan prinsip flexible learning sesuai dengan karakteristik peserta didik kesetaraan. Penerapan prinsip pembelajaran tersebut menggunakan sistem pembelajaran modular dimana peserta didik memiliki kebebasan dalam penyelesaian tiap modul yang di sajikan. Konsekuensi dari sistem tersebut adalah perlunya disusun modul pembelajaran pendidikan kesetaraan yang memungkinkan peserta didik untuk belajar dan melakukan evaluasi ketuntasan secara mandiri.

Tahun 2017 Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan, Direktorat Jendral Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat mengembangkan modul pembelajaran pendidikan kesetaraan dengan melibatkan Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru dan tutor pendidikan kesetaraan. Modul pendidikan kesetaraan disediakan mulai paket A tingkat kompetensi 2 (kelas 4 Paket A). Sedangkan untuk peserta didik Paket A usia sekolah, modul tingkat kompetensi 1 (Paket A setara SD kelas 1-3) menggunakan buku pelajaran Sekolah Dasar kelas 1-3, karena mereka masih memerlukan banyak bimbingan guru/tutor dan belum bisa belajar secara mandiri.

Kami mengucapkan terimakasih atas partisipasi dari Pusat Kurikulum dan Perbukuan Kemdikbud, para akademisi, pamong belajar, guru, tutor pendidikan kesetaraan dan semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan modul ini.

Jakarta, 1 Juli 2020  
Plt. Direktur Jenderal



Hamid Muhammad

**Modul Dinamis:** Modul ini merupakan salah satu contoh bahan ajar pendidikan kesetaraan yang berbasis pada kompetensi inti dan kompetensi dasar dan didesain sesuai kurikulum 2013. Sehingga modul ini merupakan dokumen yang bersifat dinamis dan terbuka lebar sesuai dengan kebutuhan dan kondisi daerah masing-masing, namun merujuk pada tercapainya standar kompetensi dasar.

## Daftar Isi

Kata Pengantar .....	iii
Daftar Isi .....	iv
Petunjuk Penggunaan Modul .....	1
Tujuan yang Diharapkan Setelah Mempelajari Modul .....	2
Pengantar Modul .....	2
<b>UNIT 1 KARATERISTIK INTI ATOM .....</b>	<b>5</b>
A. Partikel Penyusun Inti Atom .....	5
B. Isotop, Isobat, Isoton dan Massa Atom .....	7
C. Gaya Inti dan Kestabilan Inti Atom .....	9
D. Defek Massa dan Energi Ikat Inti Atom .....	10
Penugasan .....	12
Latihan .....	13
<b>UNIT 2 RADIOAKTIVITAS .....</b>	<b>14</b>
A. Apakah Radioaktivitas itu? .....	14
B. Daya Tembus Sinar Radioaktif .....	15
C. Mengapa Zat Radioaktif Meluruh .....	16
D. Aktivitas Radiasi dan Waktu Paruh .....	19
E. Energi yang Dihasilkan oleh Reaksi Inti .....	22
Penugasan .....	26
Latihan .....	26
<b>UNIT 3 LESTARIKAN SUMBER ENERGI .....</b>	<b>27</b>
A. Sumber Energi Tak Terbarukan .....	28
B. Sumber Energi Terbarukan .....	33
C. Reaktor Atom (Nuklir) .....	41
D. Pemanfaatan Reaktor Nuklir .....	44
Penugasan .....	46
Latihan .....	47
Rangkuman .....	48
Uji Kompetensi .....	50
Kunci Jawaban dan Pembahasan .....	53
Penilaian .....	67
Kriteria Pindah Modul .....	69
Saran Referensi .....	70
Daftar Pustaka .....	70
Profil Penulis .....	72



## MENJAGA BUMI TETAP LESTARI



### Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ini disusun untuk Paket C kelas XII. Disusun secara berurutan sesuai dengan tahapan pengetahuan yang perlu dikuasai. Dimulai dengan penjelasan dan pemahaman konsep, disertai latihan untuk penguatan pemahaman konsep. Untuk memperdalam dan atau memperluas pemahaman, Anda wajib menyelesaikan tugas pelengkap berupa pertanyaan yang bersifat aplikasi dalam kehidupan nyata sehari-hari. Tentu saja tugas ini dapat Anda selesaikan apabila Anda benar-benar sudah menguasai konsepnya. Di akhir pembelajaran disediakan beberapa pertanyaan sebagai tes formatif untuk mengukur pemahaman dan penguasaan Anda tentang materi yang telah dipelajari.

1. Untuk memandu Anda belajar ikutilah tahapan pembelajaran berikut ini:
2. Berdoalah sebelum memulai belajar
3. Bacalah dengan cermat materi yang disajikan sampai benar-benar memahami konsepnya.
4. Tandai materi yang kurang dipahami untuk didiskusikan dengan tutor atau dengan teman
5. Kerjakan latihan yang disajikan di modul
6. Selanjutnya Anda wajib mengerjakan tugas pelengkap
7. Apabila sudah memahami dengan baik dan benar, Anda boleh mengerjakan soal tes formatif

## Tujuan yang Diharapkan Setelah Mempelajari Modul

Setelah mempelajari modul ini peserta didik diharapkan memahami karakteristik inti atom, hubungannya dengan radioaktivitas dan keterbatasan sumber energi. Pemahaman konsep yang benar akan membantu warga belajar untuk menjelaskan berbagai dampak radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari serta mengelolanya untuk kesejahteraan hidup manusia. Dengan pemahaman yang benar tentang keterbatasan sumber energi saat ini, warga belajar memahami tentang sumber-sumber energi alternatif dan mampu merencanakan pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif tersebut bagi kehidupan umat manusia. Hasil akhir yang diharapkan ialah warga belajar memiliki sikap sosial dan spiritual yang benar tentang radioaktivitas dan keterbatasan sumber energi yang diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

## Pengantar Modul

Kisah pak Suryono ini menarik untuk dipelajari terutama karena dampak pelestarian lingkungan (baca: bumi) yang ditimbulkannya. Mungkin pak Suryono tidak menyadari hal tersebut, tetapi dunia memantau sepak terjangnya yang berani. Terbukti pria asal Desa Pinang, Kabupaten Siak, Riau itu bisa mendunia? Pada tahun 2016 lalu, Suryono sukses menjadi pembicara di forum internasional. Suryono ditunjuk menjadi perwakilan Indonesia dalam Konferensi Tingkat Tinggi PBB tentang perubahan iklim yang diadakan di Maroko. Konferensi itu dihadiri oleh banyak negara di dunia. Tercatat, ada 190 negara yang turut hadir.

Suatu anugerah Tuhan yang tak pernah diduga oleh siapapun, tetapi diberikan kepada seseorang yang melakukan hal-hal benar dalam hidupnya. Jangan lewatkan untuk membaca salah satu kisahnya berikut ini.

### Kisah Suryono, Pemilik Sawit yang Sukses Ubah Nasib Jadi Petani Hortikultura

Oleh Chaidir Anwar Tanjung - detikNews

**Siak** - Pada umumnya, lahan kosong akan disulap menjadi perkebunan kelapa sawit yang dianggap lebih ekonomis. Tapi berbeda dengan petani yang satu ini. Dia justru terbalik, dari lahan sawitnya diubah menjadi lahan pertanian hortikultura atau ladang sayuran di Riau. Suryono (40) itulah nama lengkap petani warga Dusun Suka Jaya, Desa Pinang Sebatang Barat Kecamatan Tualang, Kabupaten Siak, Riau. Ayah tiga anak ini, memiliki lahan 2 hektare (ha) yang dulunya dia tanami perkebunan sawit. Akan tetapi, pria yang tekun ini justru tidak ingin berlama-lama menjadi petani kelapa sawit. Dengan tekatnya, dia mengubah lahan sawitnya yang telah berumur 10 tahun menjadi lahan pertanian hortikultura.

Di lahan 2 ha itu, secara perlahan dia jadikan lahan pertanian seperti bayem, kacang panjang,



sumber: Chaidir Anwar T/detikcom

terong, pepaya, dan melon. Dia ini tergolong nekat, mengubah lahan pertanian kelapa sawit menjadi hortikultura yang jarang dilakukan masyarakat.

Untuk mengubah itu semua, memang harus ditempa kesabaran. Sebelum mengubahnya, terlebih dahulu pria ini ikut dalam pelatihan pertanian hortikultura yang dilakukan PT Arara Abadi Forestry perusahaan bergerak bidang Hutan Tanaman Industri (HTI) di bawah PT Indah Kiat Pulp and Paper (IKPP) di Riau di bawah kelompok Sinar Mas Group.

“Mendapat pelatihan, penyuluhan serta pendampingan pemasaran bersama perusahaan, saya mencoba untuk mengubah keberuntungan nasib. Alhamdulillah, lebih baik jadi petani sayuran dari pada petani sawit,” ujar pria ini. Jika selama ini memiliki lahan sawit 2 ha, Suryono memang bisa memanen sebulan dua kali. Rata-rata dari lahan sawit dia hanya kerjakan sendiri untuk memanen dengan hasil 2 sampai 3 ton per bulan. Dengan harga sawit normal, dia bisa berpenghasilan maksimal Rp3 juta per bulan.

Tapi itu cerita dulu, di bawah tahun 2008. Kini dengan lahan yang sama, justru Suryono bisa membawa para tetangganya untuk ikut bekerja di ladang sayurnya. Ada 9 orang pekerjanya baik yang dibayar bulanan atau mingguan yang saban hari bekerja di ladangnya. Rasanya tak masuk akal memang, lahan yang sama sampai mempekerjakan 9 orang. Tapi pria ini merincikan, dengan lahan 2 ha itu dia bisa membuat bedeng tanaman bayam dengan ukuran lebar 2,5 meter panjang 25 meter. Batasan itu dia petak-petak untuk tanaman bayam. Ada 9 bedeng atau petak khusus untuk bayam.

Dengan menabur bibit bayam, dalam waktu 15 hari sudah bisa dipanen. Untuk satu bedeng, untuk sekali panen bisa menghasilkan Rp600 ribu. Bayangkan saja, dia memiliki 9 bedeng tanaman bayam. Ini belum lagi, sayuran kacang panjangnya, terong, timun, cabai, buah pepaya. Semua hasil sayuran ini dia jual langsung ke pasar. Harga yang dia tawarkan untuk satu ikat bayam minimal Rp1.500.

Untuk menunjang keberhasilan tanaman sayurnya, Suryono tidak menampik kalau dia mendapat bantuan dari Sinar Mas. Perusahaan ini membantu untuk membuat embung atau sumur. Air itulah yang saban hari disedot dengan mesin untuk menyiram tanamannya.

“Perusahaan memberikan bantuan membuat embung secara gratis. Namun begitupun saya meminjam modal tanpa bunga untuk modal membeli bibit,” kata Suryono kepada detikcom, Senin (18/7/2016). Ada sekitar Rp4,1 juta dia diberikan modal. Uang itu dia jadikan modal untuk membeli bibit melon. Sayangnya, buah melon yang dia tekuni gagal panen. Ini karena cuaca ekstrem di Riau yang mempengaruhi hasil panennya.

Walau demikian, pria ini tak kapok. Dia tetap menekuni bidang pertanian sayuran. Kini di lahan 2 ha itu, dia bisa mendapatkan penghasilan Rp25 juta per bulan hanya dengan bercocok tanam sayuran. “Dari jumlah itu, Rp9 juta untuk bayar pekerja, Rp5 juta beli pupuk, sisinya keuntungan. Saya bisa menyekolahkan tiga anak saya,” kata Suryono. Suryono pun kini mengajak teman-temannya untuk beralih menjadi petani sayur ketimbang kelapa sawit. Tapi memang katanya, tidak semudah itu untuk beralih, butuh proses yang lama.

Maklum saja, karena sudah bertahun-tahun lamanya, selama ini masyarakat bergantung pada hasil perkebunan sawit. Peluang pasar sayuran masih jauh lebih baik, dan kebutuhan sayuran terus meningkat. “Saya dulu awalnya juga bingung apa iya bisa lebih baik jadi petani sayur dari pada sawit. Tapi setelah saya ikut pelatihan di perusahaan Sinarmas, kini hidup saya jauh lebih baik,” kata Suryono.

Padahal, Suryono ini dulunya adalah pemimpin demo ke perusahaan. Lahan miliknya memang berada di tengah-tengah kawasan HTI. Secara aturan, lahan itu masuk dalam perizinan perusahaan. Namun, Suryono cs selalu menolak untuk dipindah. Karena terus berkonflik, akhirnya dilakukan pendekatan. Lahan yang dikuasi Suryono cs harus sesuai dengan aturan hanya boleh ditanami pohon kehidupan. Pohon kehidupan yang diatur pemerintah adalah, non kelapa sawit. Sayuran dan karet, diperbolehkan. Kini, upaya yang dilakukan perusahaan sudah membuahkan hasil, walau belum 100 persen.

“Masih ada lahan sawitnya namun butuh waktu untuk memberikan pengertian kepada kelompok petani saya,” kata Suryono sekaligus Ketua Kelompok Tani Jaya. Di desa ini, ada 770 ha lahan yang dilakukan pendampingan oleh perusahaan. Lahan seluas itu harus menjadi lahan pertanian kehidupan yang tentunya non sawit. Inilah peran perusahaan dalam menjalankan aturan yang telah ditetapkan pemerintah untuk masyarakat yang berada di areal konsesi perusahaan.

Dari kisah Pak Suryono ini ada satu aspek lagi yang belum diungkapkan, yaitu dampak negatif terhadap bumi (tanah dan air), tanaman kepala sawit dituding sebagai tanaman yang rakus air. Benarkah demikian? Mengapa tanaman kelapa sawit mendapat stempel seperti ini? Ini salah satu aspek yang menarik untuk dicari kebenarannya. Silahkan menelusuri berbagai tulisan untuk mencari tahu. Misalnya di <http://faperta.ipb.ac.id/buletin/2017/08/14/kelapa-sawit-benarkah-rakus-air/>

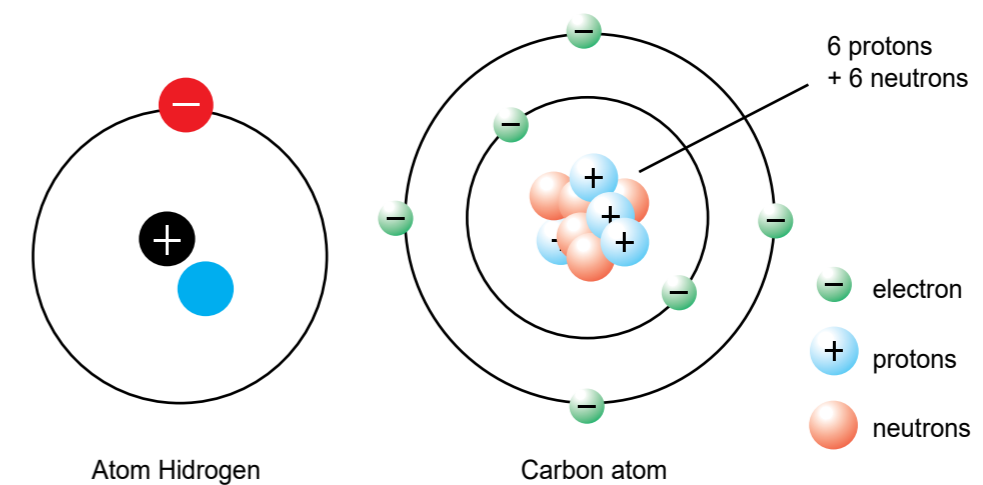
## UNIT 1

# KARAKTERISTIK INTI ATOM

Untuk memahami karakteristik inti atom Anda sebaiknya membaca kembali modul tentang Teori Atom pada mata pelajaran Kimia. Sebab dibagian ini penjelasan tentang teori atom tidak diuraikan. Tetapi konsepnya sangat diperlukan untuk memahami beberapa karakteristik inti atom. Jadi untuk memudahkan Anda belajar, disilahkan membaca terlebih dahulu beberapa konsep tentang teori atom.

### A. Partikel Penyusun Inti Atom

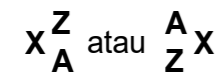
Diketahui bahwa sebuah atom dibangun oleh sejumlah partikel elementer yaitu elektron (e), proton (p) dan neutron (n). Proton (p) yang bermuatan positif dan neutron (n) yang tidak bermuatan listrik merupakan 2 partikel elementer yang membangun inti atom. Gambar 1 berikut memperlihatkan struktur atom Hidrogen (H) dan atom Carbon (C) berdasarkan teori atom Bohr (Niels Henrik David Bohr, 1885 – 1962).



Gambar 1. Struktur Atom Hidrogen dan Karbon

Atom hidrogen memiliki 1 proton (bermuatan positif) dan 1 elektron (bermuatan negatif). Demikian pula atom karbon memiliki 6 proton dan 6 elektron. Sehingga dalam kondisi ini atom hidrogen dan karbon dinamakan atom netral. Jadi suatu atom dinamakan netral apabila jumlah elektron sama dengan jumlah proton.

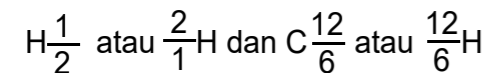
Berdasarkan teori atom disimpulkan diketahui bahwa inti atom terdiri dari sejumlah partikel tidak bermuatan yang dinamakan neutron dan sejumlah partikel bermuatan positif yang dinamakan proton. Proton dan neutron berada ditengah-tengah sebagai pusat atom sedangkan elektron bergerak mengelilingi inti dengan lintasan-lintasan tertentu. Berdasarkan kriteria ini sebuah atom dituliskan dengan lambang



Di mana X melambangkan nama atom, Z melambangkan jumlah proton, A melambangkan nomor massa atom. Selisih dari nomor massa dan jumlah proton melambangkan jumlah neutron di dalam inti atom.

$$A - Z = n \text{ jumlah neutron}$$

Berdasarkan aturan ini, atom hidrogen dan karbon dituliskan dengan lambang



Nomor massa menyatakan banyaknya proton dan neutron di dalam inti atom ( $A = Z + n$ ). Untuk atom-atom netral berlaku ketentuan banyaknya proton menunjukkan banyaknya elektron. Inti atom disebut juga nuklida, diambil dari bahasa inggris "nucleus". Sedangkan proton dan neutron sebagai partikel penyusun inti atom disebut juga "nucleon".

#### Contoh 1

Tentukan banyaknya proton dan neutron pada nuklida  $O \begin{matrix} 16 \\ 8 \end{matrix}$  dan  $Co \begin{matrix} 60 \\ 27 \end{matrix}$

#### Pembahasan:

Atom dituliskan sebagai  $X \begin{matrix} Z \\ A \end{matrix}$  atau  $\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X$

Untuk  $\begin{matrix} 16 \\ 8 \end{matrix}$  (oksigen)

Jumlah proton,  $Z = 8$

Nomor massa,  $A = 16$

Jumlah Neutron  $n = A - Z = 16 - 8 = 8$

Untuk  $Co \begin{matrix} 60 \\ 27 \end{matrix}$  (Cobalt)

Jumlah proton,  $Z = 27$

Nomor massa,  $A = 60$

Jumlah Neutron,  $n = A - Z = 60 - 27 = 33$



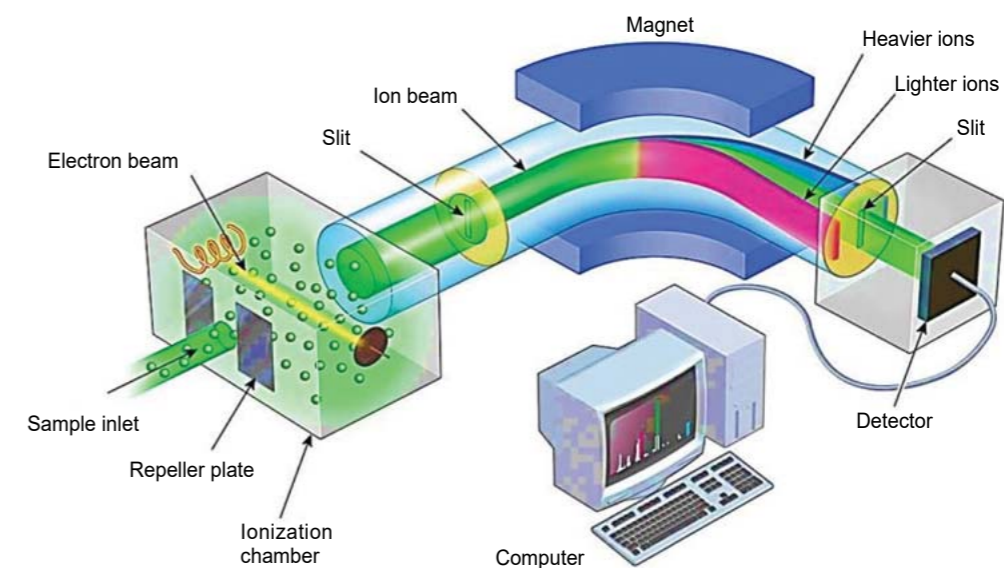
## B. Isotop, Isobar, Isoton dan Massa Atom

Spektrometer adalah alat untuk mengukur massa sebuah atom dengan teliti. Dengan meliwtakan beberapa atom yang sama ke dalam spektrometer, maka jari-jari lintasan dapat diketahui. Atom-atom yang sama tetapi memiliki jari-jari lintasan yang berbeda menunjukkan bahwa atom yang sama tersebut memiliki massa yang berbeda.

Sebagai contoh atom neon (Ne) dengan nomor massa berbeda  $\begin{matrix} 20 \\ 10 \end{matrix} Ne$  dan  $\begin{matrix} 22 \\ 10 \end{matrix} Ne$

Nuklida  $\begin{matrix} 20 \\ 10 \end{matrix} Ne$  memiliki 10 proton dan 10 neutron, tetapi nuklida  $\begin{matrix} 22 \\ 10 \end{matrix} Ne$  memiliki 10 proton

dan 12 neutron. Kedua nuklida Ne ini dinamakan isotop karena merupakan atom yang sama tetapi jumlah neutronnya berbeda. Jadi, isotop merupakan nuklida-nuklida yang sama tetapi memiliki jumlah netron dalam inti yang berbeda.



Gambar 2. Ilustrasi spektrometer massa

Nuklida  $\begin{matrix} 3 \\ 1 \end{matrix} H$  merupakan isotop dari nuklida atom hidrogen jika dibandingkan dengan nuklida helium  $\begin{matrix} 3 \\ 2 \end{matrix} He$  keduanya memiliki nomor massa (A) yang sama tetapi jumlah proton berbeda. Dua

atom yang memiliki nomor massa (A) yang sama dan jumlah proton berbeda dinamakan isobar. Tetapi nuklida  ${}^3_1\text{H}$  dan  ${}^4_2\text{He}$  dan masing-masing memiliki jumlah neutron yang sama di dalam intinya sehingga keduanya dinamakan isoton.

Massa inti dapat diukur dengan teliti menggunakan alat spektrometer massa. Proton memiliki muatan yang sama dengan elektron namun massanya sekitar 1836 kali massa elektron. Tetapi massa proton hampir sama dengan massa neutron.

Massa atom dinyatakan dalam satuan massa atom (sma). Di mana 1 sma sama dengan  $\frac{1}{12}$  massa isotop karbon-12 ( ${}^{12}_6\text{C}$ ). Jadi,

$$1 \text{ sma} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Dengan menggunakan konsep energi relativistik  $E = m \cdot c^2$ , maka sebuah inti atom dengan massa 1 sma, akan memiliki energi sebesar

$$E = 1,66 \times 10^{-27} \cdot 9 \times 10^{16} = 14,94 \times 10^{-11} \text{ Joule}$$

Dengan menggunakan satuan elektron volt (eV) diperoleh,

$$E = (14,94 \times 10^{-11} \times 0,624 \times 10^{19} = 9,315 \times 10^8 \text{ eV} = 931,5 \text{ MeV})$$

Maka dapat didefinisikan bahwa,

$$1 \text{ sma} = 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2} \text{ di mana } c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berdasarkan aturan ini diperoleh massa partikel-partikel elementer yaitu

- massa proton = 1,007276 sma
- massa neutron = 1,008665 sma
- massa elektron = 0,000549 sma

### Contoh 2

Hitunglah massa atom Helium?

### Pembahasan:

Nuklida  ${}^4_2\text{He}$  memiliki 2 proton, 2 elektron dan 2 neutron

- Massa 2 proton =  $2 \times 1,007276 \text{ sma} = 2,014552 \text{ sma}$
- massa 2 neutron =  $2 \times 1,008665 \text{ sma} = 2,017330 \text{ sma}$
- massa 2 elektron =  $2 \times 0,000549 \text{ sma} = 0,001098 \text{ sma}$

$$\text{Massa Nuklida } {}^4_2\text{He} = 4,032980 \text{ sma}$$

Hasil ini sebanding dengan massa atom relatif  $A = 4 \text{ sma}$

## C. Gaya Inti dan Kestabilan Inti Atom

Inti atom terdiri dari proton bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan. Berdasarkan konsep elektrostatik muatan sejenis akan tolak menolak. Sehingga beberapa proton yang membentuk inti atom tidak mungkin berkumpul, sebaliknya akan berpecah. Jadi berdasarkan jenis muatannya di dalam inti atom terjadi gaya Coulomb atau gaya elektrostatis yang sifatnya tolak menolak. Secara matematis ditulis,

$$F_c = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$F_c$  adalah gaya elektrostatis/gaya Coulomb, k adalah konstanta dielektrik medium,  $q_1$  dan  $q_2$  muatan proton 1 dan proton 2, dan r adalah jarak  $q_1$  dan  $q_2$ .

Menurut teori gravitasi Newton, dua benda-benda bermassa  $m_1$  dan  $m_2$  akan memiliki gaya gravitasi yang sifatnya tarik menarik. Secara matematis ditulis,

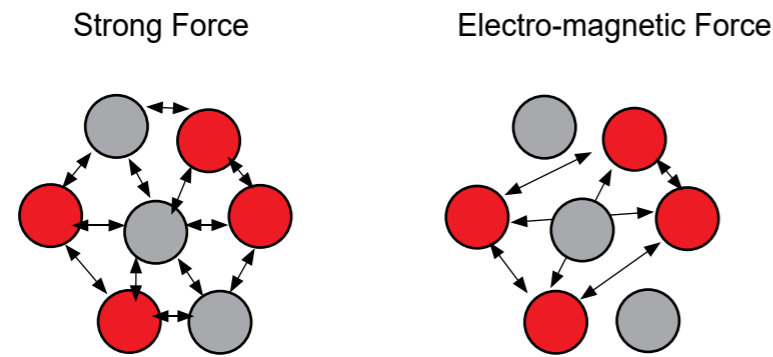
$$F_g = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$F_g$  adalah gaya gravitasi, G adalah konstanta gravitasi umum, massa proton 1 dan proton 2, dan r adalah jarak  $m_1$  dan  $m_2$ . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya Coulomb 2 kali lebih besar dari gaya gravitasi antar proton di dalam inti atom. Sehingga gaya gravitasi tidak dapat mengimbangi gaya coulomb, dan proton tidak mungkin berkumpul di tengah-tengah atom.

Tetapi hasil penelitian Rutherford menyatakan bahwa proton dan neutron berkumpul menjadi satu di tengah-tengah atom yang dinamakan inti atom. Tampaknya teori elektrostatik dan fakta penemuan bertentangan. Selain itu beberapa proton yang berada di dalam nuklida tidak mengganggu stabilitas inti atom. Bagaimana menjelaskan ini?

Penjelasan dari fakta eksperimen Rutherford yaitu kecenderungan inti atom berbentuk bulat dan





Gambar 3. Perbandingan interaksi partikel yang menghasilkan gaya inti dan gaya elektrostatis

dengan ikatan kuat antara proton dan neutron adalah adanya gaya lain selain gaya gravitasi dan gaya elektrostatis. Gaya yang lain ini harus mampu mengatasi dan mengimbangi gaya elektrostatis. Demikian juga apabila ada penambahan jumlah proton di dalam inti atom, maka gaya elektrostatis juga akan bertambah. Gaya yang mengimbangi gaya elektrostatis sehingga inti atom tetap stabil dinamakan gaya nuklir atau gaya inti.

Gaya nuklir (inti) ini haruslah gaya yang kuat dan bersifat tarik menarik. Karena itu jangkauan jaraknya harus pendek. Jarak ideal untuk gaya inti antar neutron adalah  $2 \times 10^{-15}$  m. Gaya inti kuat ini dibentuk oleh gaya tarik menarik antara proton dan proton, neutron dan neutron, juga antara proton dan neutron, Gambar 3. Selain Konsep gaya inti ini sangat sesuai untuk menjelaskan kecenderungan inti berkumpul di tengah-tengah atom dan mengeliminasi gaya elektrostatis.

## D. Defek Massa dan Energi Ikat Inti Atom

### 1. Defek Massa ( $\Delta m$ )

Inti atom terdiri dari dua partikel elementer proton dan neutron. Dengan spektrometer massa partikel pembentuk inti atom dapat diukur dengan teliti. Hasil pengukuran massa inti ternyata tidak sama dengan hasil penjumlahan massa proton dan massa neutron (massa nucleon). Massa inti ternyata lebih kecil daripada massa nukleon. Selisih massa nuklida dan massa inti disebut defek massa ( $\Delta m$ ). Secara matematis ditulis

$$\Delta m = (m_p + m_n) - m_i$$

Pada persamaan ini

$\Delta m$  adalah massa defek

$m_p$  adalah massa proton

$m_n$  adalah massa neutron

$m_i$  adalah massa inti atom

### 2. Energi Ikat Inti (E)

Defek massa pada inti atom tidak hilang begitu saja, tetapi menjadi energi untuk mengikat nuklida. Energi untuk mengikat nuklida (proton dan neutron) dinamakan energi ikat inti. Adanya energi ikat inti merupakan penjelasan mengapa beberapa proton yang bermuatan positif dapat berkumpul membentuk inti atom.

Energi ikat inti atom dihitung berdasarkan teori relativitas yaitu

$$E = \Delta m \cdot c^2 = \{(m_p + m_n) - m_i\} \cdot c^2$$

Pada persamaan ini,

E adalah energi ikat inti (J)

$\Delta m$  adalah massa defek (kg)

c adalah kecepatan cahaya (m/s)

Apabila massa defek dinyatakan dalam satuan sma, di mana  $1 \text{ sma} = 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$  maka energi ikat inti dapat dituliskan sebagai

$$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV}$$

Energi ikat inti berkaitan dengan energi yang harus diberikan untuk memisahkan nuklida pembentuknya.

### Contoh 3

Sebuah atom Hidrogen dengan massa 1,007825 sma, bergabung dengan sebuah neutron untuk membentuk sebuah atom deuteron  ${}^2_1\text{D}$  dengan massa 2,014102 sma. Berapakah defek massa dan energi ikat deuteron? [ $m_n = 1,00866501 \text{ sma}$ ,  $m_e = 0,00054858 \text{ sma}$ ,  $1 \text{ sma} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ].

### Pembahasan:

Untuk melakukan perhitungan ingat  $X^A_Z$  atau  ${}^A_ZX$

Massa proton

$$m_p = m_H - m_e = 1,007825 - 0,00054858 = 1,0072765 \text{ sma}$$

Massa inti Deuteron:

${}^2_1\text{D}$  berarti  $Z = 1$  proton,  $A = 2$  sehingga jumlah  $N = 2 - 1 = 1$  neutron

$$m_{\text{inti D}} = m_D - m_e = 2,014102 - 0,00054858 = 2,0135534 \text{ sma}$$

Menghitung massa defek  ${}^2_1\text{D}$ :

$$\Delta m = (m_p + m_n) - m_D = (1,0072765 + 1,00866501) \text{ sma} - 2,0135534 \text{ sma}$$

$$\Delta m = 2,01594151 \text{ sma} - 2,0135534 \text{ sma}$$

$$\Delta m = 0,002388 \text{ sma}$$

$$\Delta m = 0,002388 \times 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta m = 3,965 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

Menghitung energi ikat:

$$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV}$$

$$E = (0,002388) \times 931,5 \text{ MeV}$$

$$E = 2,23 \text{ MeV}$$

Jadi ketika sebuah neutron di tambahkan kepada inti atom hidrogen menjadi atom Deuteron, maka sejumlah massa yang dimiliki partikel-partikel pembentuk inti diakumulasikan untuk membentuk energi ikat. Energi ikat inilah yang mempersatukan partikel inti.

## LATIHAN

1. Hitung jumlah proton dan neutron di dalam nuklida berikut ini:
  - a.  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$
  - b.  ${}^{73}_{32}\text{Ge}$
  - c.  ${}^{126}_{52}\text{Te}$
2. Hitung defek massa dan energi ikat dari atom dalam MeV jika massa intinya 125,903322 sma?  
( $m_n = 1,008665 \text{ sma}$ ,  $m_p = 1,007825 \text{ sma}$ ,  $m_e = 0,000549 \text{ sma}$ ,  $1 \text{ sma} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$ )
3. Hitung energi ikat inti persatuan nukleon (energi rata-rata) dari atom  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  dan  ${}^{238}_{92}\text{U}$ .

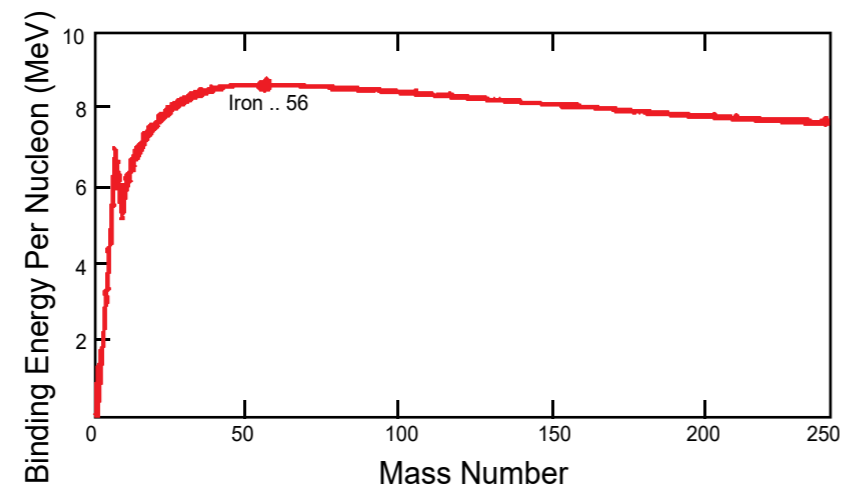
## PENUGASAN

Energi ikat inti belum menggambarkan kestabilan suatu nuklida (inti atom)

Seperti diperlihatkan pada gambar 4.

Diskusikan dalam kelompok Anda cara mendeskripsikan kestabilan inti atom.

Temukan 4 hal tentang kestabilan inti atom dari grafik tersebut?



Gambar 4. Grafik kestabilan inti atom

## A. Apakah Radioaktivitas itu?

Peristiwa radioaktif diperkenalkan pertama kali oleh Henri Becquerel (1895) ketika sedang mempelajari gejala fluoresens dan fosforesens pada berbagai zat. Fluoresens merupakan gejala pemancaran cahaya yang berbeda oleh sebuah benda yang menerima cahaya dari luar. Sedangkan

Fosforesens merupakan gejala pemancaran cahaya oleh sebuah benda tertentu selama beberapa waktu, setelah terpapar oleh cahaya dari luar. Gejala fosforesens paling mudah ditemui pada jarum penunjuk waktu sebuah arloji. Gambar 5. Memperlihatkan sebuah arloji yang menunjukkan gejala fosforesens di dalam gelap.

Becquerel menggunakan unsur uranium ( $U^{238}$ ) dalam penyelidikannya. Salah satu kenyataan yang ditemuinya ialah uranium ( $U^{238}$ ) memancarkan cahaya walaupun tidak terpapar cahaya. Untuk meyakinkan penemuannya, uranium ( $U^{238}$ ) ditempatkan dalam kotak berlapis timah, tertutup rapat dan disimpan selama beberapa bulan dalam ruang gelap. Walaupun sudah tertutup rapat dan disimpan beberapa bulan di ruang gelap ternyata unsur uranium tersebut tetap mampu menghitamkan pelat fotografi yang diletakkan disekeliling kotak.

Ini berarti unsur uranium ( $U^{238}$ ) tetap melakukan aktivitas memancarkan cahaya dari dirinya sendiri dan dengan daya tembus yang kuat pula. Berdasarkan struktur partikel elementernya ternyata unsur uranium ( $U^{238}$ ) termasuk inti yang tidak stabil. Sehingga diduga bahwa unsur-unsur yang tidak stabil secara spontan memancarkan cahaya. Pemancaran cahaya secara spontan



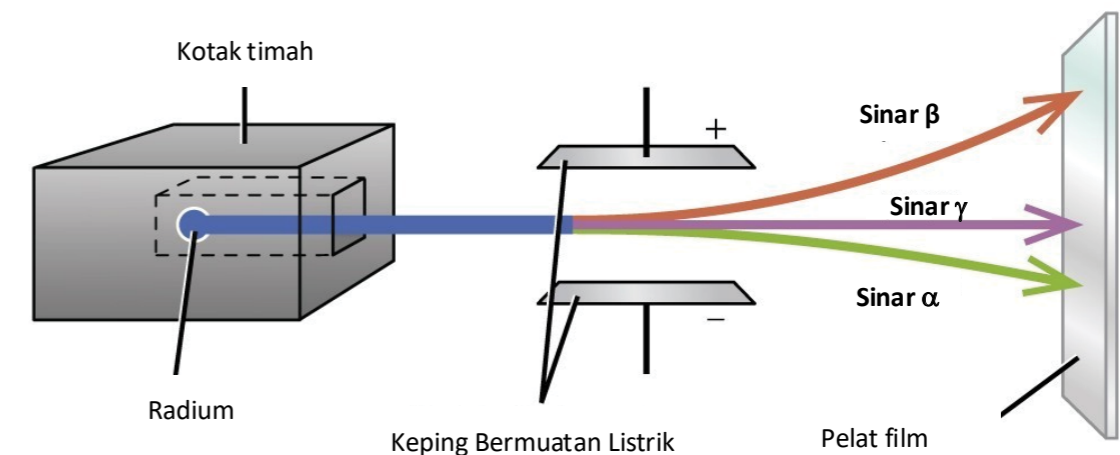
Gambar 5. Gejala fosforesens pada jarum penunjuk waktu arloji.

dan terus-menerus ini dinamakan radiasi. Peristiwa pemancaran sinar secara spontan yang dilakukan oleh unsur tidak stabil seperti unsur uranium ( $U^{238}$ ) dinamakan **radioaktivitas**. Istilah radioaktivitas merupakan akronim dari kata radiasi dan aktivitas. Diberikan dan dikemukakan pertamakali oleh Marie Curie. Kemudian Marie Curie dan Pierre Curie menemukan unsur radioaktif alami lainnya yaitu Polonium dan Radium.

Uranium ( $U^{238}$ ) merupakan unsur radioaktif alami yang pertama kali ditemukan dan dipublikasikan oleh Henri Becquerel. Ketika menemukan gejala radioaktivitas tersebut belum diketahui bahwa radiasi sinar yang dipancarkan berbahaya bagi tubuh manusia. Penelitian yang lebih mendalam dan meluas tentang radiasi sinar radioaktif, diketahui sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena menyebabkan ionisasi molekul di dalam sel-sel tubuh. Dampaknya ialah mutasi genetik dan kerusakan sel.

## B. Daya Tembus Sinar Radioaktif

Ernest Rutherford (1899) melakukan percobaan dalam rangka penelitian tentang radioaktif. Gambar 6 berikut menggambarkan skema percobaan Rutherford. Unsur Radium yang ditempatkan dalam kotak kecil timah hitam diletakkan dalam medan magnetik. Dia menemukan 3 berkas sinar yang terpisah karena ada pembelokan arah di dalam medan magnetik tersebut.



Gambar 6. Diagram percobaan Rutherford

Dengan memperhatikan arah sinar yang dibelokkan, Rutherford menyimpulkan sinar yang tidak dibelokkan sebagai sinar radioaktif yang tidak bermuatan listrik, dinamakan sinar  $\gamma$ . Sinar yang dibelokkan ke kanan sebagai sinar yang bermuatan positif, dinamakan sinar  $\alpha$ . Dan sinar yang dibelokkan ke kiri sebagai sinar yang bermuatan yang negatif, dinamakan sinar  $\beta$ .

Hasil penelitian tentang daya tembus sinar-sinar radioaktif menghasilkan kategori bahan yang ditembus yang diperlihatkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Daya Tembus Sinar Radioaktif

Sinar Radioaktif	Daya Ionisasi	Daya Tembus	Bahan yang dapat Ditembus	Sifat	Karakter di dalam Medan Magnit dan Listrik
Alpha ${}^4_2\text{He}$	Sangat kuat	Lemah	Kertas 1 lembar	Partikel	Dibelokan lemah
Beta ${}^0_{-1}\beta$	Kuat	Kuat	Kayu, aluminium	Partikel	Dibelokan sangat kuat
Gama ${}^0_0\gamma$	Lemah	Sangat kuat	timbal	Gelombang	Tidak dibelokan

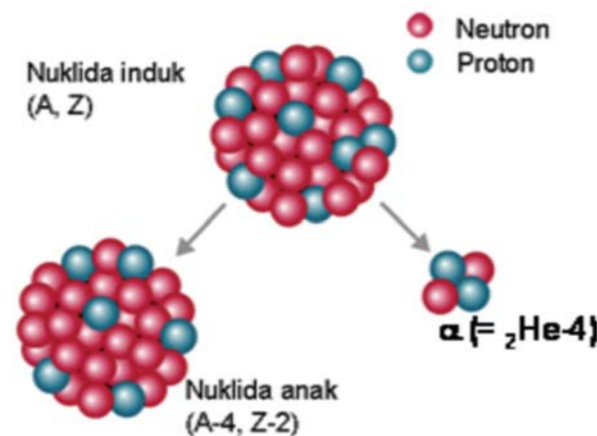
### C. Mengapa Unsur Radioaktif Meluruh?

Ada tiga gaya konservatif yang bekerja di dalam inti atom, yaitu gaya gravitasi, gaya elektrostatis dan gaya ikat inti. Gaya gravitasi relatif sangat kecil sehingga dampaknya pada inti atom cukup kecil. Gaya elektrostatis cenderung hendak memisahkan proton dengan proton lainnya karena bermuatan positif. Tetapi Gaya inti mengatasi kerja gaya elektrostatis sehingga proton dengan proton lainnya tetap terkumpul membentuk inti atom bersama dengan dengan neutron yang tidak bermuatan. Kestabilan sebuah inti atom akan ditentukan oleh komposisi gaya-gaya pembentuk inti atom.

Keadaan stabil akan dicapai apabila gaya ikat inti cukup besar dari gaya elektrostatisnya. Apabila gaya inti seimbang dengan gaya elektrostatis maka atom dikatakan berada dalam kondisi kristis. Ketika gaya elektrostatis lebih besar dari gaya inti maka atom demikian disebut atom tidak stabil.

Atom-atom yang berada dalam keadaan tidak stabil ini akan berusaha dengan sendirinya untuk mencapai kondisi statbil dengan cara melepaskan sejumlah partikel. Partikel yang dibebaskan bisa berupa proton murni ( ${}^1_1\text{p}$ ), partikel helium ( ${}^4_2\text{He}$ ) yang disebut juga partikel alpha, partikel neutron ( ${}^1_0\text{n}$ ) atau partikel lainnya. Proses penglepasan partikel secara spontan oleh unsur tidak stabil ini dinamakan peluruhan.

**Peluruhan Sinar Alpha.** Suatu inti yang tidak stabil dapat meluruh menjadi inti yang lebih



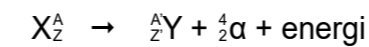
Gambar 7. Diagram peluruhan inti dengan melepaskan partikel alpha

ringan dengan memancarkan partikel alfa (inti atom helium). Pada peluruhan alpha terjadi pembebasan energi. Energi yang dibebaskan akan menjadi energi kinetik partikel alpha dan inti anak. Inti anak memiliki energi ikat per nukleon yang lebih tinggi dibandingkan induknya.

Jika inti memancarkan sinar  $\alpha$  ( ${}^4_2\text{He}$ ), maka inti tersebut kehilangan 2 proton dan 2 neutron, sehingga berkurang 2, n berkurang 2, dan A berkurang 4. Secara matematis ditulis

$$Z' = Z - 2; n' = n - 2; A' = A - 4$$

Persamaan peluruhannya,



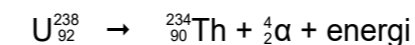
#### Contoh 4

Peluruhan inti atom uranium

$$\text{Jumlah proton dalam inti atom} = 92$$

$$\text{Jumlah neutron} = 238 - 92 = 146$$

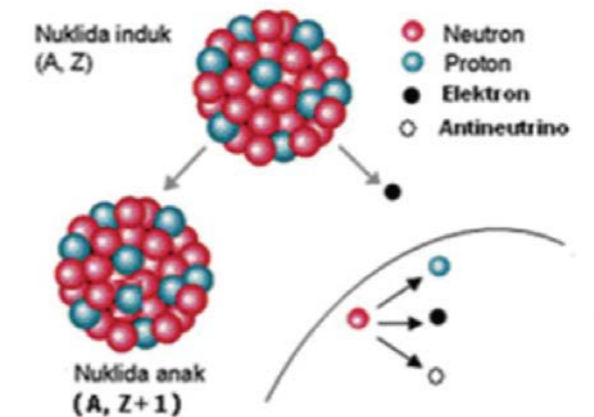
Persamaan peluruhan,



Inti induknya  $U_{92}^{238}$  dan inti anaknya adalah  ${}_{90}^{234}\text{Th}$ . Inti anak yang dihasilkan merupakan unsur radioaktif yang masih mengalami peluruhan melalui pelepasan sejumlah partikel.

**Peluruhan Sinar Beta.** Salah satu bentuk peluruhan sinar beta adalah peluruhan neutron. Neutron akan meluruh menjadi proton, elektron, dan antineutrino ( ${}^0_{-1}\beta$ ). Antineutrino merupakan partikel netral yang mempunyai energi, tetapi tidak memiliki massa. Peluruhan sinar beta bertujuan agar perbandingan antara proton dan neutron di dalam inti atom menjadi seimbang sehingga inti atom tetap stabil.

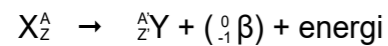
Jika inti radioaktif memancarkan sinar beta ( $\beta$ ) maka nomor massa inti tetap (jumlah nukleon tetap), tetapi nomor atom berubah. Proses peluruhan dengan penglepasan partikel betha,



Gambar 8. Diagram peluruhan inti atom dengan melepaskan partikel betha

$$Z' = Z + 1; n' = n + 1; A' = A$$

Persamaan peluruhannya,



X adalah inti induk dan Y adalah inti anak.

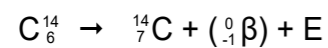
### Contoh 5

Peluruhan inti atom uranium  $C_6^{14}$

$$\text{Jumlah proton dalam inti atom} = 6$$

$$\text{Jumlah neutron} = 14 - 6 = 7$$

Persamaan peluruhan,



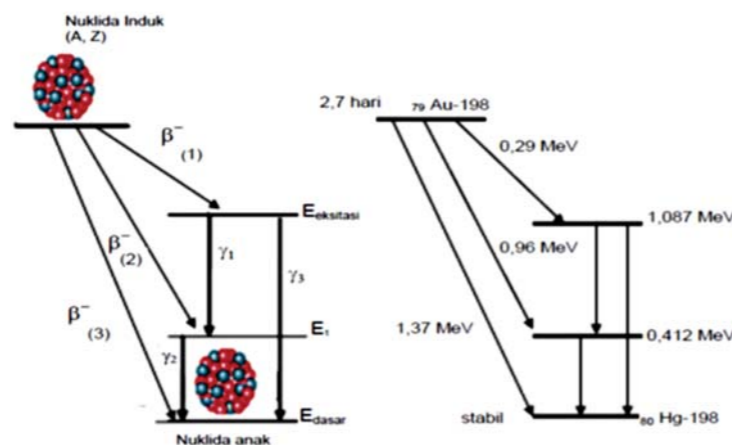
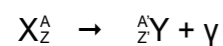
### Peluruhan Sinar Gamma.

Suatu inti atom yang berada dalam keadaan tereksitasi dapat kembali ke keadaan dasar (*ground state*) yang lebih stabil dengan memancarkan sinar gamma. Peristiwa ini dinamakan peluruhan sinar gamma. Atom yang tereksitasi biasanya terjadi pada atom yang memancarkan sinar alfa maupun sinar beta, karena pemancaran sinar gamma biasanya disertai pemancaran sinar alfa dan sinar beta. Peluruhan gamma hanya mengurangi energi saja, tetapi tidak mengubah susunan inti.

Inti atom dapat berada pada keadaan eksitasi, yaitu keadaan inti yang tingkat energinya lebih tinggi dari keadaan dasarnya. Keadaan eksitasi inti ini dihasilkan dari tumbukan dengan partikel lain. Sinar gama juga dihasilkan oleh inti atom tidak stabil yang meradiasikan sinar gama melalui emisi partikel beta.

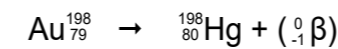
Persamaan peluruhan sinar gama:

$$Z' = Z; n' = n; A' = A$$

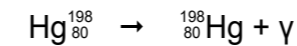


Gambar 9. Diagram peluruhan inti atom dengan melepaskan radiasi sinar gama.

### Contoh 6



${}_{80}^{198}Hg$  berada dalam keadaan eksitasi yang bertransformasi ke keadaan stabil (keadaan dasar) dengan memancarkan sejumlah energi gelombang elektromagnetik dalam bentuk sinar gama.



## D. Aktivitas Radiasi dan Waktu Paruh

Aktivitas radiasi disebut juga laju peluruhan. Aktivitas radiasi merupakan proses perubahan jumlah zat radioaktif tiap satu satuan waktu. Misalkan dalam satu atom terdapat N inti radioaktif. Anggap bahwa dalam tiap detik inti atom yang meluruh dN partikel. Maka aktivitas radiasinya adalah

$$R = - \frac{dN}{dt}$$

R adalah aktivitas radiasi (laju peluruhan), dN adalah banyaknya inti yang meluruh, dan dt adalah interval waktu peluruhan. Tanda negatif untuk menyatakan bahwa jumlah N akan berkurang dalam satu satuan waktu.

Rpeluang inti yang meluruh tiap detik meluruh  $10^{-10}$  partikel. Maka aktivitas radiasinya adalah  $10^{20} \times 10^{-10} = 10^{10}$  inti/detik. Secara matematis dapat ditulis

$$R = \lambda \cdot N$$

R adalah aktivitas radiasi, N adalah jumlah inti mula-mula dan  $\lambda$  konstanta peluruhan.

Dengan menggabungkan kedua persamaan ini diperoleh persamaan peluruhan secara eksponensial. Apabila mula-mula terdapat jumlah inti mula-mula  $N_0$  dan banyaknya inti setelah waktu peluruhan t detik, maka diperoleh hubungan N dan  $N_0$  adalah

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

N adalah jumlah inti setelah t detik peluruhan,  $N_0$  jumlah inti mula-mula,  $\lambda$  konstanta peluruhan dan t lamanya peluruhan yang diamati.

Dari hubungan aktivitas radiasi  $R = \lambda \cdot N$ , maka aktivitas radiasi dapat juga dihitung dengan persamaan

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

R aktivitas radiasi setelah waktu  $t$  peluruhan,  $R_0$  aktivitas radiasi mula-mula,  $\lambda$  konstanta peluruhan dan  $t$  lamanya peluruhan yang diamati. Aktivitas Radiasi (laju peluruhan) diberi satuan Curie (Ci).

Di mana

$$1 \text{ Ci} = 3 \times 10^{10} \text{ peluruhan/detik}$$

$$1 \text{ mCi} = 10^{-3} \text{ Ci} \text{ dan } 1 \mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci}$$

Untuk menyederhanakan pengamatan dan perhitungan peluruhan suatu zat radioaktif dilakukan dengan menghitung waktu paruh.

**Waktu paruh** adalah waktu yang digunakan inti atom untuk aktivitas radiasi hingga sisa inti setengah dari jumlah inti semula. Waktu paruh dengan simbol  $T_{1/2}$  dinyatakan dalam konstanta peluruhan yaitu

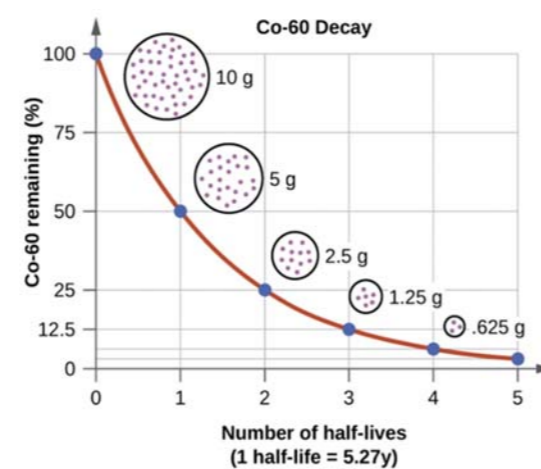
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Hubungan waktu paruh dengan jumlah inti atom sebelum dan sesudah peluruhan dinyatakan dengan persamaan

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \text{ dan } R = R_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$N$  adalah jumlah inti setelah  $t$  detik peluruhan,  $N_0$  jumlah inti mula-mula,  $R$  aktivitas radiasi setelah waktu  $t$  peluruhan,  $R_0$  aktivitas radiasi mula-mula  $\lambda$  konstanta peluruhan,  $t$  lamanya peluruhan yang diamati, dan  $T_{1/2}$  adalah waktu paruh.

Persamaan ini menunjukkan bahwa hubungan jumlah atom mula-mula ( $N_0$ ), Jumlah atom setelah peluruhan ( $N$ ) dan waktu paruh merupakan hubungan eksponensial. Sehingga grafik antara jumlah atom terhadap waktu paruhnya akan menunjukkan grafik fungsi eksponensial seperti diperlihatkan pada Gambar 10. Waktu yang diperlukan Co-60 untuk



Gambar 10. Diagram waktu paruh Cobalt-60

meluruh menjadi separuhnya (5g) adalah 5,27 tahun). Tabel 2 berikut memberikan informasi waktu beberapa unsur radioaktif yang diperoleh dari berbagai percobaan.

Tabel 2. Waktu Paruh Beberapa Unsur Radioaktif

No	Nomor Atom	Unsur	Massa Atom	Sinar	$t_{1/2}$
1	92	U	238	alfa	$4,5 \times 10^9$ th
2	90	Th	234	beta	24,1 hari
3	91	Pa	234	beta	1,14 menit
4	92	U	234	alfa	$2,35 \times 10^5$ th
5	90	Th	230	alfa	$8,3 \times 10^4$ th
6	88	Ra	226	alfa	1620 th
7	86	Rn	222	alfa	3,82 hari
8	84	Po	218	alfa	3.05 menit
9	82	Pb	214	beta	26,8 menit
10	83	Tl	214	beta	19,7 menit
11	84	Pb	214	beta + alfa	$1,5 \times 10^{-4}$ detik
12	81	Bi	210	alfa	1,32 menit
13	82	Po	210	beta	22 th
14	83	Bi	210	beta	5 th
15	84	Po	210	beta	140 hari
16	82	Pb	206	alfa	-

### Contoh 7

Waktu paruh Actinium-222 ( $t_{1/2}$ ) 5 detik.

- Hitung konstanta peluruhannya?
- Hitung kemungkinan inti untuk meluruh dalam waktu 1 detik?
- Jika semula ada 1 gr berapakah aktivitas radiasinya?
- Berapa jumlah peluruhan yang terjadi setiap detik ketika usia yang diamati tersisa 1 menit?

### Pembahasan

- Konstanta peluruhan ( $\lambda$ )

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{5} = 0,139 \text{ inti/sekon}$$

- Kemungkinan peluruhan tiap detik sama dengan konstanta peluruhan yaitu 0,139
- Aktivitas Radiasi =  $R$

$$R = \lambda N$$

Hitung N dahulu.

Dalam 1 mol  $Ac^{222}$  terdapat  $6,02 \times 10^{23}$  partikel (Bilangan Avogadro)

Massa 1 mol  $Ac^{222} = 222$  gram

Dalam 1 gram  $Ac^{222}$  terdapat:

$$\frac{6,02 \times 10^{23}}{222} = 2,71 \times 10^{21} \text{ atom}$$

$$R = \lambda \cdot N$$

$$R = (0,139) \cdot 2,71 \times 10^{21}$$

$$R = 3,77 \times 10^{20} \text{ peluruhan tiap detik}$$

$$R = \frac{3,77 \times 10^{20}}{3,7 \times 10^{10}} \text{ Ci} = 1,02 \times 10^{10} \text{ Ci}$$

d. Aktivitas peluruhan dalam  $t = 1$  menit

$$R = R_0 e^{-\lambda \cdot t}$$

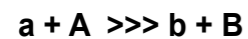
$$R = (1,02 \times 10^{10}) e^{-(0,139) \cdot 60}$$

$$R = 1,02 \times 10^{10} \times 2,39 \times 10^{-4}$$

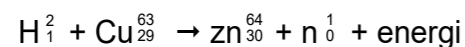
$$R = 2,4 \times 10^6 \text{ Ci}$$

## E. Energi yang Dihasilkan oleh Reaksi Inti

Reaksi inti merupakan peristiwa perubahan suatu inti menjadi inti lain. Pada peristiwa ini seberkas partikel ditembakkan pada suatu target berupa inti atom A. Setelah reaksi dihasilkan inti atom baru, B, dan disertai pembebasan partikel. Persamaan reaksinya secara matematis ditulis



Misalkan sebuah deuteron ( $H_1^2$ ) ditembakkan pada inti atom tembaga ( $Cu_{29}^{63}$ ). Setelah reaksi terjadi sebuah neutron ( $n_0^1$ ) dibebaskan dan dihasilkan inti atom baru seng ( $Zn_{30}^{64}$ ). Persamaan reaksinya:



Pada suatu reaksi inti atom berlaku beberapa ketentuan yang harus dipenuhi:

1. Jumlah proton dan netron sebelum dan sesudah reaksi sama banyaknya
2. Berlaku hukum kekekalan energi
3. Berlaku hukum kekekalan momentum
4. Berlaku hukum kekekalan momentum sudut

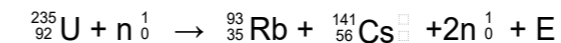
Reaksi inti dimanfaatkan untuk menghasilkan berbagai isotop radioaktif. Pola yang digunakan adalah dengan meradiasi sebuah inti atom stabil dengan partikel sehingga dibentuk sebuah inti tidak stabil yang bersifat radioaktif. Proses reaksi inti umumnya menghasilkan energi yang sangat besar, sehingga harus dilakukan di dalam reaktor atom agar dapat dikendalikan.

Ada dua jenis reaksi inti yaitu fisi dan fusi.

**Fisi** adalah peristiwa terbelahnya inti atom (inti induk) menjadi dua inti baru (inti anak) karena penembakan dengan partikel neutron, disertai pembebasan partikel dan energi yang besar. Fisi dimungkinkan terjadi pada inti berat, dan dibutuhkan energi pembelahan inti sebesar  $5 \leq E \leq 6$  MeV. Namun energi yang dihasilkan dari pembelahan inti ini sangat besar. Besar energi yang dihasilkan dapat ditentukan dengan menghitung massa defek dan energinya ditentukan dengan persamaan kesetaraan massa dan energi.

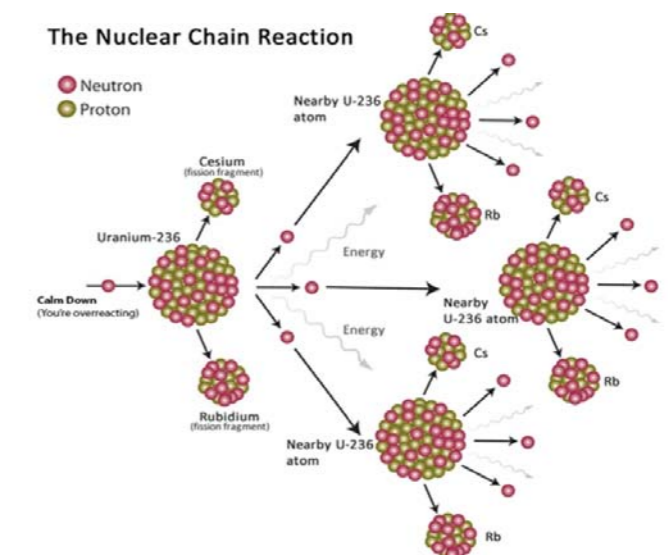
Reaksi pembelahan inti yang populer dilakukan ialah terhadap inti Uranium (U-235). Apabila pembelahan inti tersebut terjadi di alam bebas maka akan dihasilkan reaksi berantai disertai pembebasan sejumlah zat radioaktif dan energi yang sangat besar. Inilah yang terjadi ketika bom atom dijauhkan di Hiroshima dan Nagasaki pada masa perang dunia ke-2. Sejarah mencatat dampak dari energi dan zat radioaktif yang dihasilkan menimbulkan kerusakan pada lingkungan dan kematian manusia yang sangat dahsyat. Karena itu agar energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan maka reaksi fisi ini harus dikendalikan di dalam reaktor atom.

Contoh reaksi fisi pada Uranium-235 ditunjukkan pada reaksi berikut



Hasil penelitian di dalam reaktor atom diketahui bahwa untuk membelah sebuah inti berat diperlukan energi sekitar 7,6 MeV. Pada atom U-235 akan dibebaskan energi sebesar 200 MeV. Energi sebesar ini 80 % sebagai energi kinetik inti anak, dan sisanya 2 % digunakan untuk energi kinetik neutron baru, dalam bentuk sinar gamma dan betha.

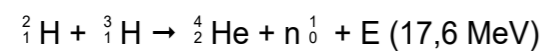
Dalam sekali pembelahan inti akan dibebaskan pula sejumlah neutron baru yang bergerak dengan energi kinetik tertentu. Neutron baru ini berpotensi mengenai inti anak sehingga terjadi lagi



Gambar 10. Diagram Reaksi Berantai U-235

reaksi fisi. Jika peristiwa ini terjadi tanpa dikendalikan maka prosesnya dinamakan fisi berantai. Animasi reaksi berantai silahkan mengunjungi situs berikut ini [https://javalab.org/en/nuclear\\_chain\\_reaction\\_en/](https://javalab.org/en/nuclear_chain_reaction_en/).

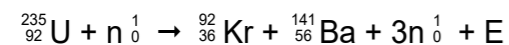
Reaksi inti yang kedua ialah Fusi. Fusi merupakan kebalikan dari fisi. Fisi adalah reaksi penggabungan 2 inti atom anak menjadi satu inti atom induk. Fenomena yang dihasilkan sama dengan fusi, yaitu pembebasan sejumlah partikel dan energi yang sangat besar bahkan lebih besar dari fusi. Salah satu contoh reaksi fisi adalah penggabungan deuteron dan triton menjadi inti helium



Reaksi fusi umumnya terjadi di matahari karena atom-atom ringan memiliki energi kinetik yang cukup besar untuk bergabung. Dalam reaksi penggabungan inilah dibebaskan energi yang sangat besar.

#### Contoh 8

Berapakah energi yang dibebaskan dalam reaksi fusi berikut?



Untuk massa U-235 = 235,045733 sma, massa Ba-141 = 140,9177 sma, massa Kr-92 = 91,8854 sma dan massa n-1 = 1,008665 sma

#### Pembahasan:

Dalam reaksi inti berlaku hukum kekekalan massa

$$\sum m_{\text{sebelum reaksi}} = \sum m_{\text{setelah reaksi}}$$

$$m_{\text{U-235}} + m_n = m_{\text{Kr-92}} + m_{\text{Ba-141}} + 3 m_n$$

$$\Delta m = (m_{\text{U-235}} + m_n) - (m_{\text{Kr-92}} + m_{\text{Ba-141}} + 3 m_n)$$

$$\Delta m = 235,045733 + 1,008665 - (91,8854 + 140,9177 + 3,025995)$$

$$\Delta m = 0,2253 \text{ sma}$$

Energi yang dibebaskan dalam sekali reaksi fusi adalah

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 0,2253 \cdot c^2 \frac{931,5 \text{ MeV}}{c^2} \times = 209,9 \text{ MeV} = 210 \text{ MeV}$$

$E = 210 \text{ MeV}$  ini adalah untuk satu kali reaksi fusi. Pertimbangkanlah energi yang dihasilkan jika terdapat sejumlah 1 gr inti atom U-235 dan reaksi fusi tidak dikendalikan.

#### Contoh 9

Hitunglah energi yang dihasilkan dalam reaksi penggabungan 2 deuteron?

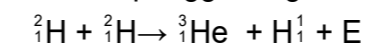
Massa deuteron = 2,014102 sma, massa triton = 3,016049 sma, dan massa hidrogen = 1,007825.

Pembahasan

Dalam reaksi inti berlaku hukum kekekalan massa

$$\sum m_{\text{sebelum reaksi}} = \sum m_{\text{setelah reaksi}}$$

Reaksi penggabungan inti



$$m_{\text{H-2}} + m_{\text{H-2}} = m_{\text{H-3}} + m_{\text{H-1}}$$

$$\Delta m = m_{\text{H-2}} + m_{\text{H-2}} - m_{\text{H-3}} - m_{\text{H-1}}$$

$$\Delta m = (2,014102 + 2,014102) - (3,016049 + 1,007825)$$

$$\Delta m = 0,0433 \text{ sma}$$

Energi yang dibebaskan dalam sekali reaksi fusi adalah

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 0,0433 \cdot c^2 \frac{931,5 \text{ MeV}}{c^2} \times = 4,0 \text{ MeV}$$

Jadi jika dua deuteron dengan energi 0,25 MeV bertumbukan akan bergabung menjadi triton. Bayangkan Anda memiliki 1 gram deuteron yang bergabung menjadi triton, berapakah energi yang dihasilkan dalam reaksi fisi tersebut?



## PENUGASAN

Tugas ini harus dikerjakan secara mandiri. Anda harus membuat satu tulisan tentang pemanfaatan radioisotop (sinar radioaktif) dalam berbagai bidang seperti: kedokteran dan pertanian. Tulisan Anda harus dimuat dalam 1 lembar ukuran folio, diketik dengan spasi 1,0 ukuran huruf 12 Times New Roman. Tulisan Anda harus memuat Judul Tulisan, Jenis radioisotop, cara memperoleh/menghasilkan, pemanfaatan, hasil pemanfaatan.

## LATIHAN

Soal latihan berikut ini bermaksud memberikan penguatan atas konsep-konsep radioaktivitas dan melatih Anda menggunakannya untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan. Kerjakanlah bersama teman-teman Anda dan konfirmasi penyelesaiannya dengan tutor. Selamat berlatih.

1. Berapakah perbandingan jumlah suatu material dengan keadaan awalnya setelah 5 tahapan peluruhan?
2. Waktu paruh Radium 1260 tahun. Berapakah lamanya waktu yang diperlukan untuk meluruh sehingga tinggal  $1/16$  dari jumlah semula?
3. Suatu sample Radium sebanyak 2 mg mempunyai  $5,36 \times 10^{18}$  atom. Jika waktu paruh Radium 1620 tahun, berapakah banyaknya atom Radium yang meluruh setelah 3240 tahun?
4. Dalam suatu reaksi termonuklir 0,001 kg hidrogen diubah menjadi 0,000993 kg Helium. Berapakah energi yang dilepaskan jika efisiensi generator 5 %. Berapakah energi listrik yang dihasilkan?
5. Suatu reaktor fusi menggunakan deutron sebagai bahan bakar dan menghasilkan daya 200 Megawatt. Reaksi yang berlangsung adalah
6. Hitung berapa banyak bahan bakar yang digunakan tiap hari jika reaktor itu mempunyai efisiensi 25 %. Massa deutron 2,0141 sma dan massa helium 4,0026 sma.

## UNIT 3 LESTARIKAN SUMBER ENERGI

Energi adalah suatu kemampuan untuk melakukan kerja atau kegiatan. Dalam kehidupan manusia selalu terjadi kegiatan, dan untuk kegiatan otak dan kegiatan otot diperlukan energi. Energi itu diperoleh melalui proses oksidasi (pembakaran) zat makanan yang masuk dalam tubuh berupa makanan. Kegiatan manusia lainnya dalam memproduksi barang dan transportasi juga memerlukan energi yang diperoleh dari bahan sumber energi atau sumber daya energi. Selama ini, listrik dihasilkan oleh bahan bakar yang berupa minyak bumi.

Sementara itu, minyak bumi sendiri adalah sumber daya alam yang ketersediaannya tidak terbatas. Artinya, pada saat tertentu, di masa mendatang, minyak bumi akan habis. Menilik dari kenyataan, yang telah diketahui secara meluas ini, diperlukan adanya sumber-sumber energi alternatif guna membangkitkan tenaga listrik; agar minyak bumi bisa dihemat sekaligus mempersiapkan untuk masa depan. Sumber daya energi adalah sumber daya yang dapat diolah oleh kehidupan kita sangat bergantung kepada ketersediaan energi.



sumber: www.carlosloret.com

Gambar 12. Angin sebagai Sumber energi



sumber: www.pinterest.de

Gambar 13. Air sebagai Sumber energi

Ketersediaan energi di Indonesia sangat bergantung kepada bahan bakar fosil. Sekarang, ketersediaan bahan bakar fosil sudah hampir habis. Coba kalian bayangkan apa yang akan terjadi jika bahan bakar habis? Apa yang harus kita lakukan agar kebutuhan energi dapat tetap terpenuhi?

## A. Sumber Energi Tak Terbarukan

Sumber energi tak terbarukan merupakan material/bahan yang diperoleh dari alam yang dapat diubah menjadi energi di mana massa bahan tersebut habis diproses menjadi energi. Kemajuan teknologi yang sangat tinggi dan berubah sangat cepat sangat membantu untuk mengeksplorasi sumber-sumber energi di alam sekaligus menyebabkan pemanfaatannya sangat besar.

Ada 3 bagian besar eksplorasi sumber energi di alam yang pemafaatannya sangat besar dalam kehidupan manusia, yaitu minyak bumi, gas dan batubara. Kita akan membahasnya dalam uraian berikut.

### 1. Minyak Bumi dan Gas

Terbentuknya minyak bumi dan gas di alam melalui proses yang berlangsung jutaan tahun. Ada 3 teori terbentuknya minyak bumi,

#### a. Teori Organik (Biogenetik)

Minyak Bumi dan Gas Alam terbentuk dari beraneka jasad organik seperti hewan dan tumbuhan yang mati dan tertimbun endapan pasir dan lumpur. Kemudian endapan lumpur ini menghanyutkan senyawa pembentuk minyak bumi ini dari sungai menuju ke laut dan mengendap di dasar lautun selama jutaan tahun. Akibat pengaruh waktu, temperatur dan tekanan lapisan batuan di atasnya menyebabkan organisme itu menjadi titik-titik minyak ataupun gas.

#### b. Teori Anorganik

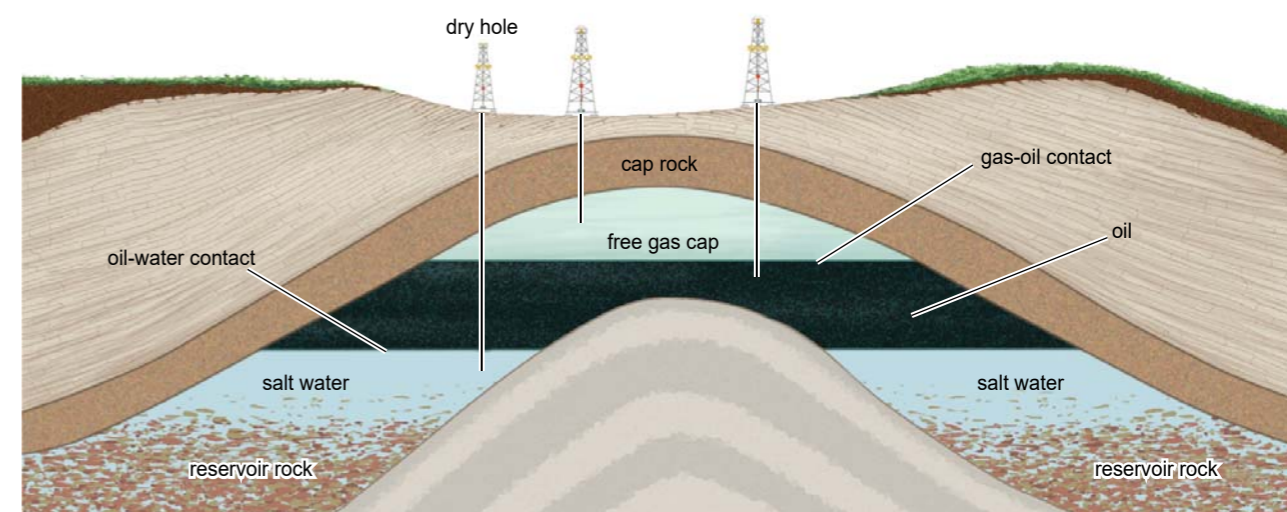
Minyak bumi terbentuk karena aktivitas bakteri. Unsur seperti oksigen, belerang dan nitrogen dari zat yang terkubur akibat aktivitas bakteri berubah menjadi zat minyak yang berisi hidrokarbon.

#### c. Teori Duplex

Merupakan gabungan teori organik dan Anorganik yang menjelaskan bahwa minyak bumi dan gas alam terbentuk dari berbagai jenis organisme laut baik hewan maupun tumbuhan. Akibat pengaruh waktu, temperatur, dan tekanan, maka endapan Lumpur berubah menjadi batuan sedimen.

Menurut berbagai teori tersebut, minyak bumi terbentuk dari jasad renik yang berasal dari hewan atau tumbuhan yang sudah mati. Jasad renik tersebut kemudian terbawa air sungai bersama lumpur dan mengendap di dasar laut. Akibat pengaruh waktu yang mencapai ribuan bahkan jutaan tahun, temperatur tinggi, dan tekanan oleh lapisan di atasnya, jasad renik berubah menjadi titik-titik dan gelembung minyak atau gas.

Lumpur yang bercampur dengan jasad renik tersebut kemudian berubah menjadi batuan sedimen yang berpori, sedangkan titik minyak dan gas bergerak ke tempat yang tekanannya rendah dan terakumulasi pada daerah perangkap (*trap*) yang merupakan batuan kedap. Pada



sumber: www.britannica.com

Gambar 13. Ilustrasi lokasi minyak dan gas bumi yang terbentuk jutaan tahun.

daerah perangkap tersebut, gas alam, minyak, dan air terakumulasi sebagai deposit minyak bumi. Rongga bagian atas merupakan gas alam, sedangkan cairan minyak mengambang di atas deposit air.

Batuan lunak yang berasal dari Lumpur yang mengandung bintik-bintik minyak dikenal sebagai batuan induk (*Source Rock*). Selanjutnya minyak dan gas ini akan bermigrasi menuju tempat yang bertekanan lebih rendah dan akhirnya terakumulasi di tempat tertentu yang disebut dengan perangkap (*Trap*).

Dalam suatu perangkap (*trap*) dapat mengandung (1) minyak, gas, dan air, (2) minyak dan air, (3) gas dan air. Jika gas terdapat bersama-sama dengan minyak bumi disebut dengan *Associated Gas*. Sedangkan jika gas terdapat sendiri dalam suatu perangkap disebut *Non Associated Gas*.

Karena perbedaan berat jenis, maka gas selalu berada di atas, minyak di tengah, dan air di bagian bawah. Karena proses pembentukan minyak bumi memerlukan waktu yang lama, maka minyak bumi digolongkan sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui (*unrenewable*).

## 2. Batubara

Batubara adalah Sumber Daya Alam (SDA) yang tidak dapat diperbarui dikarenakan proses pembuatan dan pembentukannya membutuhkan jutaan tahun lamanya. Elliot (1981) seorang ahli geokimia berpendapat bahwa batubara merupakan batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur-unsur karbon, hydrogen, serta oksigen sebagai komponen unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan. Singkatnya, batubara dapat diartikan sebagai batuan karbonat berbentuk padat, rapuh, berwarna coklat tua sampai hitam, dapat terbakar, terjadi dikarenakan perubahan tumbuhan secara kima dan fisik.

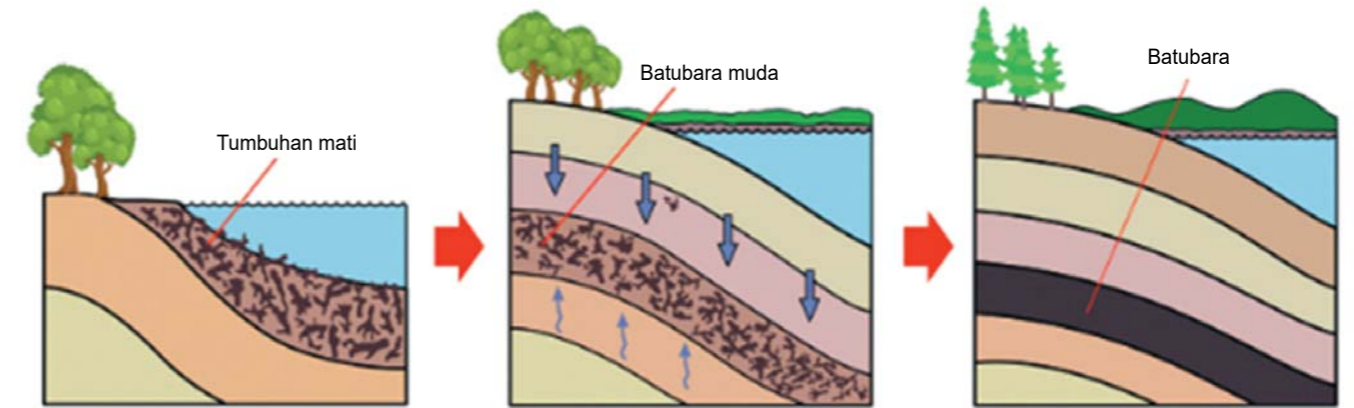


sumber: metrotvnews.com

Gambar 14. Penambangan terbuka batubara di Kalimantan Timur.

Batubara tidak termasuk kedalam batuan mineral. Batubara tercipta dari pembusukan bagian-bagian tumbuhan. Sisa-sisa tumbuhan yang membentuk gambut kemudian mengendap pada suatu tempat. Karena adanya tekanan dari penimbunan dan adanya gerakan tanah, kumpulan gambut tersebut akhirnya berubah menjadi batubara. Batubara terbukti memiliki banyak manfaat. Gambar 15 menunjukkan proses penambangan dan pemanfaatan batubara

di Indonesia. Sumber batu bara yang tersebar di seluruh kepulauan, menjadikan Indonesia sebagai penghasil batubara terbesar di dunia. Batubara juga digunakan sebagai sumber energi, contohnya adalah sebagai bahan bakar kereta api dan kapal laut. Batubara memiliki presentase jumlah karbon yang tinggi sehingga mudah terbakar. Karbon-karbon tersebut dapat diolah manusia untuk menjadi sumber energi. Energi batubara banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap, kereta api bermesin uap, mesin uap, dan jumlah sedikit untuk kompor batubara.



sumber: 4.bp.blogspot.com

Gambar 15. Ilustrasi lokasi batubara yang terbentuk jutaan tahun.

di Indonesia. Sumber batu bara yang tersebar di seluruh kepulauan, menjadikan Indonesia sebagai penghasil batubara terbesar di dunia.

Batubara juga digunakan sebagai sumber energi, contohnya adalah sebagai bahan bakar kereta api dan kapal laut. Batubara memiliki presentase jumlah karbon yang tinggi sehingga mudah terbakar. Karbon-karbon tersebut dapat diolah manusia untuk menjadi sumber energi. Energi batubara banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap, kereta api bermesin uap, mesin uap, dan jumlah sedikit untuk kompor batubara.

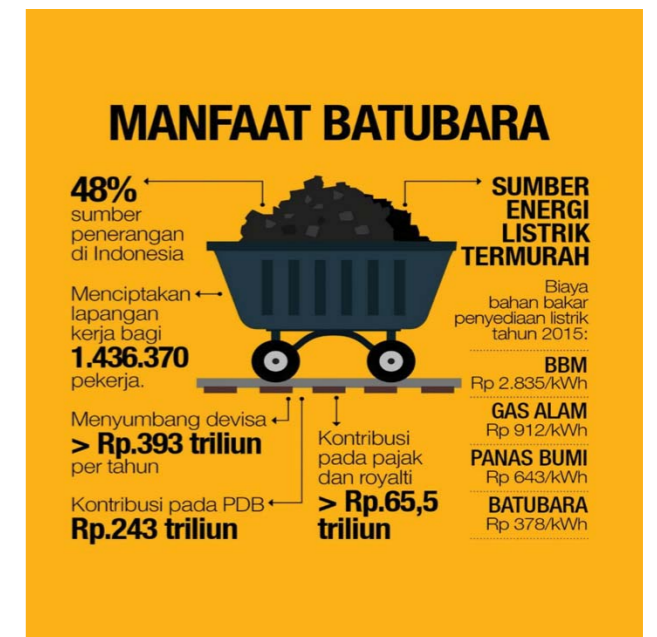
## 3. Nuklir (Uranium)

Sama halnya dengan batubara, Uranium juga terdapat di alam. Uranium merupakan suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang U dengan nomor atom 92. Yang memiliki sifat beracun, berwarna putih keperakan dan termasuk ke dalam radioaktif alami, uranium termasuk ke seri aktinida yang sangat radioaktif.

Secara garis besar metode penambangan uranium dapat di bagi menjadi 3 metode, yaitu:

### a. Penambangan permukaan (*surface mining*)

Penambangan permukaan merupakan metode penggalian mineral di dekat permukaan bumi. Tiga jenis pertambangan permukaan yang paling umum adalah pertambangan terbuka, pertambangan strip, dan penggalian. Lihat juga penambangan dan penambangan batu bara.



sumber: www.apbi-icma.org

Gambar 16. Pemanfaatan Batubara di Indonesia.

### b. Penambangan bawah tanah (*underground mining*)

Pertambangan uranium bawah tanah pada prinsipnya tidak berbeda dengan penambangan nikel, tembaga, emas, dan perak). Setelah bijih uranium telah diidentifikasi posisinya biasanya setiap 100 sampai 150 meter akan dibuatkan terowongan menuju lokasi. Sehingga proses penambangan dan pengangkutan bahan metah mudah dilakukan.



sumber: wikimedia.org

Gambar 17. Mineral uranium di alam.

### c. Penambangan bawah air (*underwater mining*)

Penambangan bawah air/laut, atau penambangan air/laut dalam, adalah metode mengambil mineral dari dasar air/laut. Operasi penambangan Deepsea biasanya terjadi di kedalaman 4500 ft. Ke 12,000 ft. Di sekitar area dengan nodul metalik, serta area dengan tingkat aktivitas geotermal yang tinggi. Ventilasi panas bumi ini memiliki kecenderungan untuk menciptakan endapan globular dari logam berharga termasuk emas, perak, tembaga, kobalt, dan berbagai elemen tanah langka lainnya. Endapan sulfida ini, juga disebut sulfida masif air/laut, dapat mengandung konsentrasi mineral dan sumber daya hingga 10 kali lebih besar dari apa yang dapat ditemukan di darat.

Metode eksplorasinya adalah Metode polarisasi terimbas (Induced Polarization) yaitu salah satu metode geofisika yang mendeteksi terjadinya polarisasi listrik yang terjadi di bawah permukaan akibat adanya arus induktif yang menyebabkan reaksi transfer antara ion elektrolit dan mineral logam. Dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Uranium ditemukan dalam jumlah kecil sebagai mineral uranium oksida uraninite (*pitchblende*) dalam bentuk *sulfide veins* di granit atau batuan beku felsic, dan atau pada batuan sedimen
- 2) Sebagian besar uranium di Indonesia ditemukan pada batuan metamorfik dan granit.



sumber: www.telegraph.co.uk

Gambar 18. PLT-Nuklir Gundremmingen di Bavaria, Jerman.

- 3) Pada umumnya uranium ditemukan pada zone rekahan atau fraktur yang terisi urat sulfida dan magnetit dengan mineral radioaktif berupa uraninit dan branerit

Ketersediaan sumber energi tentu merupakan harapan setiap orang, bahkan setiap negara. Minimnya sumber energi pada suatu wilayah tentu akan berpengaruh buruk terhadap kehidupan masyarakat di wilayah tersebut. Banyak sektor yang sangat bergantung terhadap ketersediaan pasokan energi, seperti sektor industri, transportasi, pembangkit listrik, dan masih banyak lagi. Jadi, keseluruhan sektor tadi akan mengalami hambatan operasional bila kebutuhan akan energi tidak mencukupi, dan tentunya berujung pada menurunnya aktivitas ekonomi.



## B. Sumber Energi yang Dapat Dibaharui

Sebuah sumber energi dapat dibaharui apabila material atau bahannya tersedia secara terus menerus dalam waktu sangat lama karena siklus alaminya. Contohnya adalah tanah, air, udara dan sinar matahari. Energi cahaya yang diradiasikan matahari sampai hari ini tidak berkurang sama sekali, karena adanya reaksi fisi dan fusi yang terjadi di matahari secara terus menerus. Apabila sumber daya energi tersedia secara terus menerus melalui suatu siklus, sehingga energinya terus dihasilkan merupakan ciri sumber energi yang dapat dibaharui.

Energi terbarukan adalah energi yang bersumber dari alam dan secara berkesinambungan dapat terus diproduksi oleh alam itu sendiri tanpa harus menunggu waktu jutaan tahun layaknya energi fosil. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan iklim tropis memiliki berbagai jenis sumber energi yang dapat dibaharui. Beberapa dari sumber tersebut akan diuraikan di sini.

### 1. Panas Bumi

Energi panas bumi atau energi geothermal adalah sumber energi terbarukan berupa energi thermal (panas) yang dihasilkan dan di simpan di dalam bumi. Energi panas bumi diyakini cukup ekonomis, berlimpah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

Potensi energi panas bumi di Indonesia termasuk salah satu yang terbesar di dunia. Gambar 19 berikut menunjukkan lokasi daerah yang memiliki potensi panas bumi cukup besar.

Saat ini baru 7 Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) yang sudah beroperasi dan menghasilkan energi listrik. Pemerintah Indonesia sedan membangun 9 lagi PLTP yang akan beroperasi secara bertahap sampai dengan tahun 2022. Salah satu PLTP yang sudah beroperasi dan menghasilkan energi listrik paling besar ialah PLTP Sarulla (Tapanuli Utara, Sumatera Utara). PLTP Sarulla beroperasi pada tahun 2016 dan mampu menghasilkan 330 MW listrik. Gambar 20 adalah PLTP Sarulla.

Dengan beroperasi penuhnya PLTP Sarulla ini, ketahanan energi kita menjadi lebih baik (capaian energi listrik saat ini adalah 1.948,5 MW).



Gambar 19. Peta potensi energi panas bumi di Indonesia

## 2. Air

Energi dalam pembahasan ini merupakan energi mekanik yang dimiliki molekul air dalam jumlah yang banyak karena gerakannya secara vertikal (jatuh) atau karena kecepatan alirannya yang besar. Air terjun dengan volume yang besar dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin yang akan mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik, seperti pada pembangkit listrik tenaga air. Begitu juga aliran air yang sangat deras di suatu tempat dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin untuk menghasilkan energi listrik.

Energi air adalah satu dari lima sumber terbesar energi terbarukan. Energi ini dapat dimanfaatkan dan diubah menjadi listrik oleh generator pembangkit listrik tenaga air tanpa meninggalkan emisi gas rumah kaca seperti yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang menggunakan energi fosil. Berbeda dengan sumber energi terbarukan lainnya air akan terus menghasilkan tenaga non-stop dan ketersediaannya terus dihasilkan oleh adanya siklus hidrologi. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dihasilkan dari energi potensial air yang diubah menjadi energi mekanik oleh turbin dan energi tersebut yang selanjutnya diubah untuk menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan air.

Berdasarkan dari daya listrik yang dihasilkan, pembangkit listrik tenaga air dibedakan menjadi: (1) *pico hydro* yang menghasilkan 5 kW, (2) *micro hydro* yang menghasilkan 5-100 kW, (3) *mini hydro* yang menghasilkan daya di atas 100 kW, namun tetap di bawah 1 MW dan (4) *large hydro* berupa bendungan/dam dengan daya yang dihasilkan sebesar lebih dari 100 MW. Indonesia telah memanfaatkan air sebagai pembangkit listrik, salah satunya adalah PLTA Cirata, Purwakarta.



sumber: philippinestuffs.com

Gambar 20. PLTA Kayan Kaltara. (insert: sketsa turbin PLTA)

## 3. Angin

Angin merupakan sumber energi alternatif yang telah digunakan sejak tahun 2000 SM. Energi angin memiliki potensi besar dan telah tumbuh cepat dalam beberapa tahun terakhir. Angin merupakan salah satu sumber terbaik dari energi alternatif. Angin mengacu pada pergerakan udara dari daerah bertekanan tinggi ke daerah tekanan rendah. Gerakan angin ini disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata permukaan bumi. Udara panas naik dan udara dingin mengalir untuk menggantikan tempatnya. Angin akan selalu ada selama energi matahari ada sehingga dapat dimanfaatkan selamanya

Angin menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang tidak menghasilkan polutan atau emisi yang dapat membahayakan lingkungan. Energi angin merupakan salah satu metode yang terbersih dan teraman dari pembangkit listrik terbarukan. Pengumpulan angin dapat dilakukan menggunakan perangkat energi angin yang dihubungkan ke turbin di lokasi yang sama untuk tujuan menghasilkan sejumlah besar energi listrik.

Turbin angin menggunakan energi kinetik dari angin untuk membangkitkan energi listrik. Turbin angin individual dapat digunakan untuk membangkitkan listrik dalam skala yang kecil, misalnya untuk rumah. Jika jumlah turbin angin lebih banyak dan dijadikan sebuah grup biasanya disebut kebun angin (*windfarm*), dapat menghasilkan listrik dengan jumlah yang lebih besar.



sumber: mediaindonesia.com

Gambar 21. PLTB Pertama Indonesia, di Sidrap

Bagaimana turbin angin bekerja? **Angin** berhembus pada baling-baling memutar rotor. **Rotor** yang berputar merubah sebagian energi kinetik angin menjadi energi gerak. **Sensor** pada turbin mendeteksi kekuatan angin dan arahnya. Rotorakan otomatis bergerak menghadap angin dan dapat otomatis berhenti ketika kecepatan angin sangat tinggi untuk memproteksi turbin dari kerusakan. **Shaft** dan **gearbox** terkoneksi dengan rotor generator. (1) Ketika rotor berputar, demikian pula dengan generator. Generator menggunakan prinsip medan elektromagnetik untuk mengubah energi mekanika menjadi energi listrik. (2) Energi dari generator misikan melalui kabel ke Gardu Induk/Substation. Energi listrik yang dihasilkan oleh semua turbin digabungkan ke dalam gardu induk (substation) dan tegangannya dinaikkan. (3) Operator Grid menggunakan tegangan tinggi untuk mentransmisikan listrik melalui kabel udara/electrical transmission ke rumah-rumah, pelanggan bisnis atau industri yang memerlukan. (4) Pada sutet ini, digunakan trafo untuk menurunkan tegangan ke level yang dapat digunakan.

#### 4. Matahari

Matahari merupakan sumber energi yang besar. Merupakan anugerah Tuhan yang disediakan bagi umat manusia dan semua makhluk hidup. Energi matahari yang diradiasikan dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau cahaya sangat dibutuhkan oleh semua makhluk untuk kelangsungan hidupnya. Tumbuhan misalnya membutuhkan sinar matahari untuk

metabolisme. Daunnya yang mengandung klorofil menyerap sinar matahari untuk membantu pembentukan glukosa yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan. Hewan membutuhkan energi matahari untuk menghangatkan atau menaikkan suhu tubuhnya.

Energi matahari yang sangat besar dan tidak berhenti diradiasikan merupakan energi yang dapat dibaharui sehingga potensial digunakan sebagai sumber energi listrik. Dengan kemajuan teknologi sinar matahari dapat diserap, disimpan dan dibuhan menjadi energi listrik, menggunakan alat yang di beri namasolar sel.

Sel Surya atau Solar Cell adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic. Yang dimaksud dengan Efek Photovoltaic adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau Solar Cell sering disebut juga dengan Sel Photovoltaic (PV). Efek Photovoltaic ini ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839.

Sebagai negara tropis yang sangat kaya dengan sinar matahari, pemanfaatan sel surya sangat potensial untuk pembangkit listrik tenaga surya.

Sinar Matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan Foton. Ketika terkena sinar Matahari, Foton yang merupakan partikel sinar Matahari tersebut menghantam atom semikonduktor pada silikon Sel Surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan Negatif (-) tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan Elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan "hole" dengan muatan Positif (+).

Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai Pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan Semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan Hole bersifat Positif dan bertindak sebagai Penerima (Acceptor) elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P (P-type).

Di persimpangan daerah Positif dan Negatif (PN Junction), akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak



sumber: environment-indonesia.com

Gambar 22. Sel Surya untuk menyerap dan menyimpan energi matahari.

menjauhi daerah Negatif sedangkan Hole akan bergerak menjauhi daerah Positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di Persimpangan Positif dan Negatif (PN Junction) ini, maka akan menimbulkan Arus Listrik.

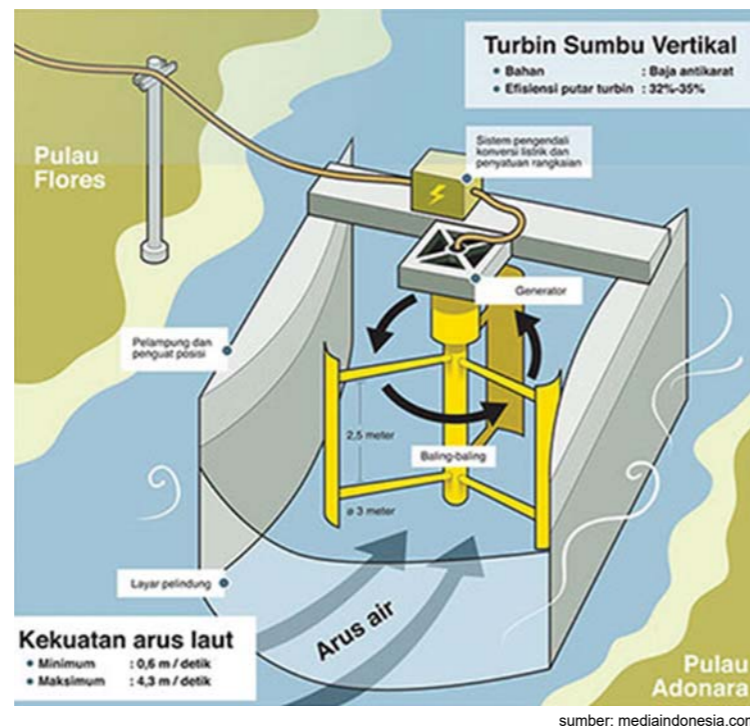
Pembangkit Listrik Energi Surya yang terdapat di Indonesia antara lain : PLTS Karangasem (Bali), PLTS Raijua, PLTS Nule, dan PLTS Solor Barat (NTT).

## 5. Gelombang/Arus Laut

Energi gelombang/ arus laut atau ombak adalah energi terbarukan yang bersumber dari tekanan naik turunnya gelombang air laut. Indonesia sebagai negara maritim yang terletak diantara dua samudera berpotensi tinggi memanfaatkan sumber energi dari gelombang laut. Sayangnya sumber energi alternatif ini masih dalam taraf pengembangan di Indonesia.

Dalam menentukan lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) sistem OWC ini ada banyak hal yang harus dipertimbangkan, baik kriteria gelombang ataupun juga topografi daerah lokasi.

- a. Tinggi Gelombang Laut Tinggi gelombang yang dapat dimanfaatkan untuk PLTGL sistem oscillating water column ini adalah gelombang yang selalu terbentuk sepanjang tahun dengan tinggi minimal satu sampai dua meter. Gelombang yang sesuai dengan kriteria tinggi tersebut adalah gelombang Swell dimana mengandung energy yang besar.
- b. Arah Datang Gelombang Mulut konektor harus sesuai dengan arah datang gelombang, jika tidak searah maka energi gelombang yang masuk akan berkurang sebab banyak yang hilang akibat sifat refleksi, difraksi maupun refraksi pada gelombang.
- c. Syarat Gelombang Baik Gelombang baik adalah gelombang yang tidak pecah akibat pendangkalan. Pada saat gelombang terpecah ada energi yang terbuang dimana masa air akan mengandung gelembung udara sehingga mempengaruhi besar kerapatan massa. Keadaan Topografi Lautan Optimasi terhadap desain akhir PLTGL tergantung topografi kelautan atau barimetri disekitar lokasi. Apabila kondisi dasar lautan atau permukaannya kurang memenuhi persyaratan maka dapat dilakukan pengerukan atau penambalan



Gambar 23. Prototipe pembangkit listrik gelombang laut.

## 6. Biofuel

Biofuel atau bahan bakar hayati adalah sumber energi terbarukan berupa bahan bakar (baik padat, cair, dan gas) yang dihasilkan dari bahan-bahan organik.

Energi biofuel dihasilkan dari tanaman yang memiliki kandungan gula tinggi, dan memiliki kandungan minyak nabati tinggi.

Indonesia memiliki potensi sumber energi terbarukan dalam jumlah besar. Beberapa di antaranya bias segera diterapkan di tanah air, seperti bioethanol sebagai pengganti bensin, biodiesel pengganti solar, energi panas bumi, mikrohidro, energi surya, energi angin bahkan sampah/limbah pun dapat digunakan untuk pembangkit energi listrik.



Gambar 24. Energi Biofuel dihasilkan dari bahan hayati.

Bioethanol sebagai pengganti bensin dapat diproduksi dari tumbuh-tumbuhan seperti singkong, ubi, dan jagung yang dapat dengan mudah dikembangkan di negara kita. Salah satu keunggulan dari bioethanol ini adalah tingkat produksi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil.

Biodiesel dapat dihasilkan dari minyak kelapa sawit, buah pohon jarak, kelapa yang dengan mudah dapat dikembangkan di Indonesia. Kedua bahan energi dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Hambatan utama yang dihadapi saat ini ialah membangun rantai produksi energi tersebut mulai dari petani sebagai penyedia bahan baku, teknologi, sampai ke distribusi energi yang dihasilkan. Ketersediaan bahan baku dan energi yang dihasilkannya haru diperhitungkan secara cermat agar tidak mengganggu produksi pertanian Indonesia di sektor lainnya.

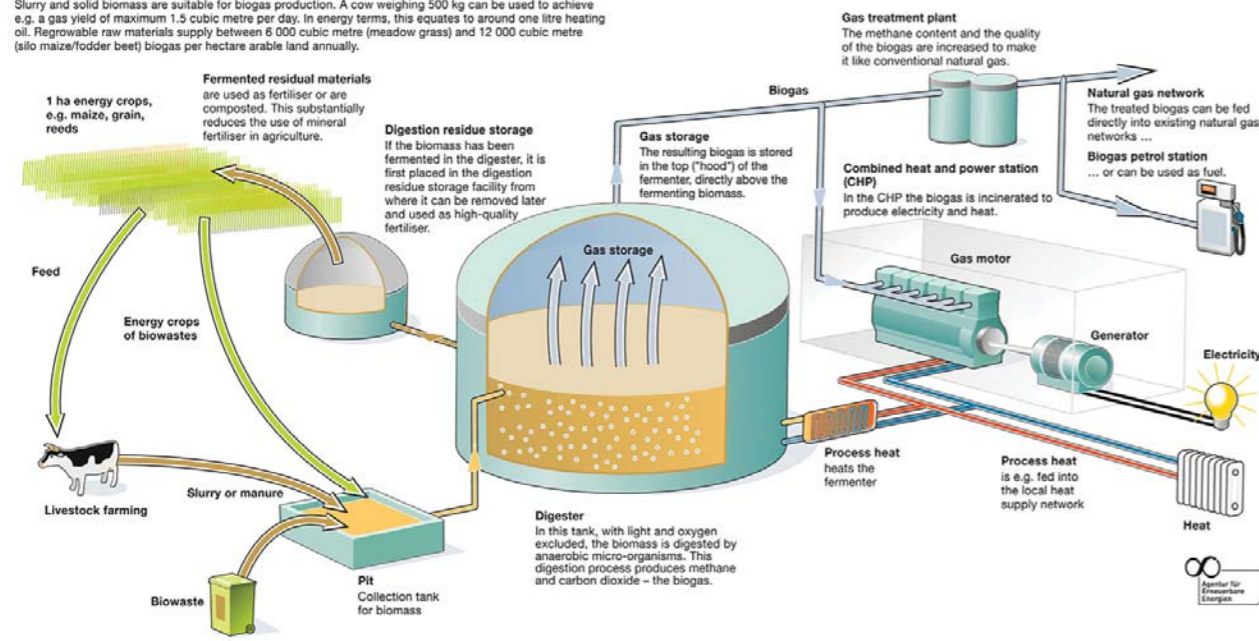
## 7. Biomassa

Biomassa adalah jenis energi terbarukan yang mengacu pada bahan biologis yang berasal dari organisme yang hidup atau belum lama mati. Sumber biomassa antara lain bahan bakar kayu, limbah rumah tangga dan alkohol. Pembangkit listrik biomassa di Indonesia seperti PLTBM Pulubala di Gorontalo yang memanfaatkan tongkol jagung.

Biomassa dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Pada umumnya merupakan limbah setelah diambil produk primernya. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Sumber energi biomassa mempunyai kelebihan yaitu merupakan sumber energi yang

## Biogas system

Slurry and solid biomass are suitable for biogas production. A cow weighing 500 kg can be used to achieve e.g. a gas yield of maximum 1.5 cubic metre per day. In energy terms, this equates to around one litre heating oil. Regrowable raw materials supply between 6 000 cubic metre (meadow grass) and 12 000 cubic metre (silo maize/fodder beet) biogas per hectare arable land annually.



sumber: planet-biogas.com

Gambar 25. Energi biomassa.

- e. Menghemat biaya operasional rumah tangga, dengan mengganti bahan bakar minyak dan gas ke penggunaan biogas. Lingkungan menjadi lebih bersih dan indah, karena biogas membutuhkan limbah dan kotoran yang mudah terurai untuk dapat dijadikan bahan bakar
- f. Mengurangi penggunaan gas LPG, karena biogas sendiri memiliki kandungan gas metana yang dapat digunakan sebagai pembakaran sama seperti LPG.



## C. Reaktor Atom (Nuklir)

Reaktor nuklir adalah tempat terjadinya reaksi inti berantai terkendali, baik pembelahan inti (fisi) ataupun penggabungan inti (fusi). Reaksi yang terjadi pada reaktor nuklir baik untuk reaktor penelitian maupun reaktor daya konvensional, masih didasarkan pada terjadinya reaksi pembelahan inti atom (inti dapat belah) oleh tembakan partikel neutron. Inti atom yang ada di alam adalah Uranium dan Thorium, sedangkan neutron bisa dihasilkan dari sumber neutron. Reaksi nuklir ini akan menghasilkan energi panas dalam jumlah cukup besar. Pada reaktor daya, energi panas yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghasilkan uap panas, dan selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin-generator yang bisa menghasilkan listrik. Sedangkan pada reaktor penelitian, panas yang dihasilkan tidak dimanfaatkan dan dapat dibuang ke lingkungan.

Selain energi panas, ada dua sampai tiga partikel neutron yang dihasilkan setiap kali terjadi reaksi. Partikel ini bisa dimanfaatkan untuk proses reaksi berikutnya dengan sasaran inti fissil

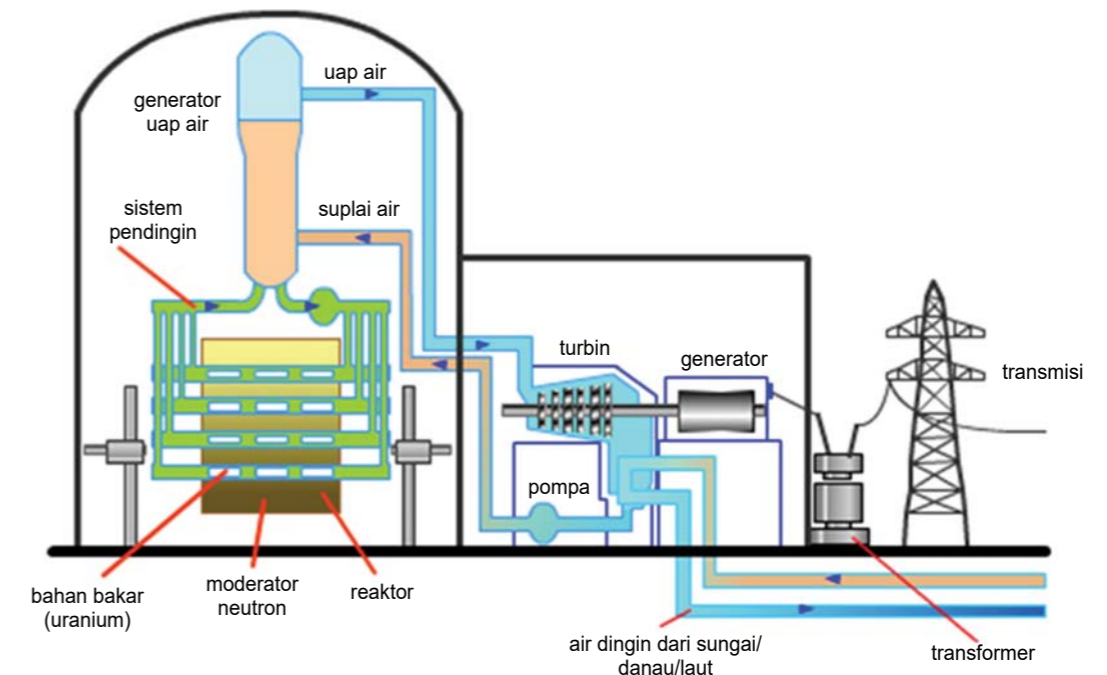
dapat diperbaharui sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkelanjutan.

Pembangkit listrik tenaga biomassa memiliki dua cara menjadikan biomassa sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik. Cara yang pertama adalah dengan membakar langsung biomassa padat sehingga boiler menghasilkan uap.

Cara yang kedua adalah dengan melakukan fermentasi atau bisa juga disebut anaerobic digestion yang nantinya akan menghasilkan biogas dengan kandungan metana dan karbon dioksida serta gas-gas lainnya yang dapat dijadikan bahan bakar.

Pemanfaatan ini bukan hanya dapat membantu masalah kelistrikan namun secara langsung juga dapat menyelamatkan lingkungan dari kerusakan yang diakibatkan oleh limbah yang tidak diberdayakan, khususnya sampah organik. Beberapa manfaat biogas ialah

- a. Bermanfaat untuk mengurangi asap dan kadar karbon dioksida di udara
- b. Dapat menjadi bahan bakar alternative yang dapat menghasilkan listrik untuk menggantikan penggunaan solar, bahan bakar biogas dapat menghasilkan sekitar 6000 watt per jamnya dengan menggunakan sekitar 1 meter kubik biogas
- c. Dapat berkontribusi untuk menurunkan emisi gas rumah kaca, pengurangan emisi ini terjadi karena kurangnya pemakaian bahan bakar minyak dan kayu
- d. Limbah digester dari biogas dapat digunakan sebagai pupuk organik yang dapat dimanfaatkan oleh para petani kita



sumber: personales.alc.upv.es

Gambar 26. Diagram reaktor nuklir.



yang belum terbelah. Reaksi ini bisa berlangsung secara terus-menerus pada kondisi neutron dan inti fissil masih memungkinkan. Komponen-komponen utama reaktor nuklir terlihat seperti pada gambar 26.

**a. Tangki reaktor**

Tangki ini bisa berupa tabung (silinder) atau bola yang dibuat dari logam campuran dengan ketebalan sekitar 25 cm. fungsi dari tangki adalah sebagai wadah untuk menempatkan komponen-komponen reaktor lainnya dan sebagai tempat berlangsungnya reaksi nuklir. Tangki yang berdinding tebal ini juga berfungsi sebagai penahan radiasi agar tidak keluar dari sistem reaktor.

**b. Teras reaktor**

Komponen reaktor yang berfungsi sebagai tempat untuk bahan bakar. Teras reaktor dibuat berlubang (kolom) untuk menempatkan bahan bakar reaktor yang berbentuk batang. Teras reaktor dibuat dari logam yang tahan panas dan tahan korosi.

**c. Bahan bakar nuklir**

Bahan bakar adalah komponen utama yang memegang peranan penting untuk berlangsungnya reaksi nuklir. Bahan bakar dibuat dari isotop alam seperti Uranium, Thorium yang mempunyai sifat dapat membelah apabila bereaksi dengan neutron.

**d. Bahan pendingin**

Untuk mencegah agar tidak terjadi akumulasi panas yang berlebihan pada teras reaktor, maka dapat dipergunakan bahan pendingin untuk pertukaran panasnya. Bahan pendingin ini bisa digunakan air atau gas.

**e. Elemen kendali**

Reaksi nuklir bisa tidak terkendali apabila partikel-partikel neutron yang dihasilkan dari reaksi sebelumnya sebagian tidak ditangkap atau diserap. Untuk mengendalikan reaksi ini, reaktor dilengkapi dengan elemen kendali yang dibuat dari bahan yang dapat menangkap atau menyerap neutron. Elemen kendali juga berfungsi untuk menghentikan operasi reaktor (*shut down*) sewaktu-waktu apabila terjadi kecelakaan.

**f. Moderator**

Fungsi dari moderator adalah untuk memperlambat laju neutron cepat (moderasi) yang dihasilkan dari reaksi inti hingga mencapai kecepatan neutron thermal untuk memperbesar kemungkinan terjadinya reaksi nuklir selanjutnya (reaksi berantai). Bahan yang digunakan untuk moderator adalah air atau grafit.

Reaktor Nuklir memiliki beberapa tipe yang disesuaikan dengan tujuan pembuatannya.

**1. Berdasarkan fungsinya**

- a. Reaktor penelitian/riset, yaitu reaktor nuklir yang digunakan untuk tujuan penelitian, pengujian bahan, pendidikan/pelatihan dan bisa digunakan juga untuk memproduksi radioisotop.

- b. Reaktor daya, yaitu reaktor nuklir yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik/pembangkit tenaga listrik.

Ada perbedaan antara kedua reaktor ini, yaitu pada reaktor penelitian yang diutamakan adalah pemanfaatan yang dihasilkan dari reaksi nuklir untuk keperluan berbagai penelitian dan produksi radioisotop. Sedangkan panas yang dihasilkan dirancang sekecil mungkin, sehingga dapat dibuang ke lingkungan. Pada reaktor daya yang dimanfaatkan adalah uap yang bersuhu dan bertekanan tinggi yang dihasilkan oleh reaksi fisi untuk memutar turbin, sedangkan neutron yang dihasilkan sebagian diserap dengan elemen kendali, dan sebagian diubah menjadi neutron untuk berlangsungnya reaksi berantai.

**2. Berdasarkan bahan pendingin yang digunakan**

- a. Reaktor berpendingin air, meliputi reaktor jenis PWR (*Pressurized Water Reactor* = reaktor air tekan), BWR (*Boiling Water Reactor* = reaktor air didih), GMBWR (*Graphite Moderated Boiling Water Reactor* = reaktor air didih moderasi grafit), PHWR (*Pressurized Heavy Water Reactor* = reaktor air berat tekan).
- b. Reaktor berpendingin gas, gas yang biasa digunakan adalah CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>. Reaktor yang termasuk dalam jenis ini adalah MR (*Magnox Reactor* = reaktor magnox) dan AGR (*Advanced Gas-Cooled Reactor* = reaktor maju berpendingin gas).

**3. Berdasarkan bahan moderator (pemerlambat) yang digunakan**

- a. Reaktor air ringan : bahan moderasi yang digunakan adalah air ringan. Reaktor dalam kelompok ini adalah : PWR, BWR, BMBWR.
- b. Reaktor air berat : bahan moderasi yang digunakan adalah air berat (air yang mempunyai kandungan Deuterium lebih besar daripada air ringan). Reaktor dalam kelompok ini adalah : PHWR dan Reaktor Candu (Canadium-Deuterium-Uranium).
- c. Reaktor grafit : bahan moderasi yang digunakan adalah grafit. Reaktor dalam kelompok ini adalah : MR, AGR, dan RBMR (reaktor yang digunakan oleh Rusia).

Reaktor Nuklir bekerja atau beroperasi dengan prinsip:

Energi yang dihasilkan dalam reaksi fisi nuklir dapat dimanfaatkan untuk keperluan yang berguna. Untuk itu, reaksi fisi harus berlangsung secara terkendali di dalam sebuah reaktor nuklir. Sebuah reaktor nuklir paling tidak memiliki empat komponen dasar, yaitu elemen bahan bakar, moderator neutron, batang kendali, dan perisai beton.

Elemen bahan bakar menyediakan sumber inti atom yang akan mengalami fusi nuklir. Bahan yang biasa digunakan sebagai bahan bakar adalah uranium U. Elemen bahan bakar dapat berbentuk batang yang ditempatkan di dalam teras reaktor. Neutron-neutron yang dihasilkan dalam fisi uranium berada dalam kelajuan yang cukup tinggi. Adapun, neutron yang memungkinkan terjadinya fisi nuklir adalah neutron lambat sehingga diperlukan material yang dapat memperlambat kelajuan neutron ini. Fungsi ini dijalankan oleh moderator neutron yang

umumnya berupa air. Jadi, di dalam teras reaktor terdapat air sebagai moderator yang berfungsi memperlambat kelajuan neutron karena neutron akan kehilangan sebagian energinya saat bertumbukan dengan molekul-molekul air.

Fungsi pengendalian jumlah neutron yang dapat menghasilkan fisi nuklir dalam reaksi berantai dilakukan oleh batang-batang kendali. Agar reaksi berantai yang terjadi terkendali dimana hanya satu neutron saja yang diserap untuk memicu fisi nuklir berikutnya, digunakan bahan yang dapat menyerap neutron-neutron di dalam teras reaktor. Bahan seperti boron atau kadmium sering digunakan sebagai batang kendali karena efektif dalam menyerap neutron.

Batang kendali didesain sedemikian rupa agar secara otomatis dapat keluar-masuk teras reaktor. Jika jumlah neutron di dalam teras reaktor melebihi jumlah yang diizinkan (kondisi kritis), maka batang kendali dimasukkan ke dalam teras reaktor untuk menyerap sebagian neutron agar tercapai kondisi kritis. Batang kendali akan dikeluarkan dari teras reaktor jika jumlah neutron di bawah kondisi kritis (kekurangan neutron), untuk mengembalikan kondisi ke kondisi kritis yang diizinkan.

Radiasi yang dihasilkan dalam proses pembelahan inti atom atau fisi nuklir dapat membahayakan lingkungan di sekitar reaktor. Diperlukan sebuah pelindung di sekeliling reaktor nuklir agar radiasi dari zat radioaktif di dalam reaktor tidak menyebar ke lingkungan di sekitar reaktor. Fungsi ini dilakukan oleh perisai beton yang dibuat mengelilingi teras reaktor. Beton diketahui sangat efektif menyerap sinar hasil radiasi zat radioaktif sehingga digunakan sebagai bahan perisai.

## D. Pemanfaatan Reaktor Nuklir

### 1. Bidang Energi

Manfaat Teknologi Nuklir dalam bidang energi. Sudah lama Teknologi Nuklir digunakan sebagai pembangkit listrik. Negara maju seperti Jerman, Cina, Rusia, Jepang, Korea, Inggris, Amerika, dll sudah memanfaatkan tenaga nuklir sebagai kebutuhan pembangkit listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) adalah pembangkit listrik thermal dengan panas yang di dapat dari satu atau bahkan lebih dari satu reaktor nuklir pembangkit listrik. Keuntungan dari PLTN ini di antaranya seperti tidak menghasilkan limbah berbahaya seperti karbon monoksida, mercury, nitrogen oksida, dan gas lainnya. Selain itu tenaga nuklir juga mampu bertahan lebih lama, menghasilkan tenaga yang lebih besar daripada BBM dan tidak menyebabkan efek gas emisi rumah kaca. Teknologi nuklir digunakan juga untuk kapal selam bertenaga nuklir, kapal induk bertenaga nuklir, dan lain sebagainya.

### 2. Bidang Industri

Manfaat teknologi nuklir juga di gunakan manusia dalam bidang industri. Sebagai contoh dengan teknologi nuklir manusia dapat melakukan proses ekspolrasi minyak dan gas, untuk menentukan

sifat dari bebatuan yang ada di sekitar seperti litografi maupun porositas. Tidak hanya itu saja kemampuan dari radiasi energi nuklir juga dapat membantu perancangan konstruksi jalan, mengukur kelembapan dan kepadatan. Penggunaanya adalah seperti mengukur kepadatan tanah, aspal, serta beton dengan menggunakan celsium-137 sebagai sumber nuklirnya.

### 3. Bidang Hidrologi

Dalam bidang hidrologi pemanfaatan nuklir seperti untuk menguji kecepatan aliran sungai atau lumpur. Radioisotop dapat digunakan untuk mengukur debit air, biasanya natrium-24 yang digunakan dalam bentuk NaCl. Intensitas pada radiasi nuklir dapat di manfaatkan juga sebagai pendeteksi kebocoran pada pipa dalam bawah tanah. Radioisotop Na-24 mampu memancarkan sinar gamma yang dapat di deteksi secara langsung dengan menggunakan alat pencacah radioaktif Geiger Counter.

### 4. Bidang Kesehatan

Aplikasi pada bidang medis dengan menggunakan teknologi umumnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu diagnosa dan terapi radiasi. Sinar X contohnya yang di gunakan untuk perawatan bagi pasien yang menderita kanker. Tentu saja hal ini adalah pengembangan dari teknologi nuklir selama ini oleh para ilmuwan. Selain itu juga dapat untuk pencarian jejak radioaktif pada tubuh manusia dengan menggunakan Teknesium yang diberikan oleh molekul organik, serta berbagai aplikasi lainnya.

### 5. Bidang Pangan

Aplikasi teknik nuklir dalam bidang pangan salah satunya adalah dalam hal pemuliaan tanaman. Kalau anda pernah memakan beras seperti IR64 (Irradiasi 64) atau IR36 (Irradiasi 36) misalkan, itu adalah hasil dari Iradiasi yang menggunakan teknik nuklir.

Dengan menggunakan teknik nuklir, kita dapat melakukan rekayasa genetika tanaman yang menghasilkan varietas unggul baru. Misalkan dari sisi produktifitas, umur genjah, kualitas beras yang semakin bagus, serta tanaman yang tahan terhadap hama semacam wereng sekaligus aman dikonsumsi oleh manusia.

### 6. Pengendalian Hama Tanaman

Selain itu, teknologi nuklir juga dapat digunakan dalam pengendalian hama tanaman. Salah satu teknik pengendalian hama tanaman adalah apa yang disebut TSM (Teknik Serangga Mandul). Caranya adalah dengan meradiasi lalat jantan agar mandul lalu disebar dengan jumlah 9 kali lebih banyak dari lalat betina.

Hasil perkawinan antara lalat mandul ini akan mengakibatkan turunnya populasi sehingga kelamaan lalat buah tersebut akan punah. Teknik ini ramah terhadap lingkungan dan sangat efektif. Ia hanya membunuh hama tertentu tanpa mengganggu hewan lain.

### 7. Untuk Pengawetan Makanan

Teknik nuklir dengan cara irradiasi dalam hal pengawetan makanan memiliki kelebihan selain hemat energi, mudah dikontrol, ramah lingkungan juga tidak meninggalkan sisa radioaktif.

Sudah barang tentu produk-produk makanan yang diawetkan dengan teknik nuklir ini aman untuk dikonsumsi.

Hal lain, makanan hasil iradiasi juga dapat meningkatkan anti oksidan sehingga cocok untuk dikonsumsi oleh orang yang membutuhkan imunitas tinggi seperti pasien kanker dan sebagainya.



sumber: nurterbit.com

Gambar 27. Kawasan gedung Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten) di Jakarta.

## LATIHAN

1. Sebutkan 3 macam sumber daya energi?
2. Sebutkan 5 contoh sumber daya energi terbarukan?
3. Sebutkan sifat-sifat energi alternatif
4. Jelaskan keuntungan dan kelemahan pemanfaatan energi alternatif?
5. Apa saja pemanfaatan energi alternatif dalam kehidupan sehari-hari
6. Bagaimana cara-cara memanfaatkan tenaga surya?
7. Jelaskan penyebab keterbatasan sumber energi tak terbarukan
8. Jelaskan dampak negatif dari sumber daya energi di kehidupan sehari-hari?
9. Sebutkan 3 penyebab keterbatasan sumber energi alternatif?
10. Sebutkan 3 penyebab keterbatasan sumber energi alternatif?

## PENUGASAN

Tugas berikut dikerjakan dalam kelompok kerja yang telah dibentuk oleh tutor/pembimbing Anda. Bacalah dengan cermat petunjuk berikut.

Setiap kelompok memilih satu dari dua pilihan bidang kegiatan yaitu

1. Periksa daerah sekitar tempat tinggal Anda, aktivitas yang dilakukan oleh perorangan/kelompok masyarakat, yang berhubungan dengan pelestarian lingkungan (seperti yang dilakukan Bapak Suryono diuraikan pada pengantar modul) atau yang berhubungan dengan kegiatan penghematan energi.
2. Periksa daerah disekitar tempat tinggal Anda kerusakan lingkungan yang telah terjadi atau potensi sumber energi yang dapat dibaharui yang ada dilingkungan tempat tinggal Anda.

Setiap kelompok memilih satu dari dua pilihan ini untuk dikerjakan sebagai proyek pelestarian lingkungan atau proyek pemanfaatan energi alternatif. Pilihlah tutor untuk membantu dan membimbing kegiatan kelompok Anda. Bersama kelompok Anda,

1. Kumpulkan data-data sesuai pilihan Anda melalui observasi dan atau wawancara
2. Analisis data-data yang terkumpul
3. Buat kajian tentang keunggulan dan dampak yang ditimbulkan
4. Buat tulisan singkat dan berikan kesimpulan
5. Berikan saran-saran perbaikan/pengembangan
6. Hasil kerja kelompok dipresentasikan melalui beberapa cara. Anda harus menggunakan satu cara dari beberapa cara berikut ini: Info grafis, Audiovideo, dan atau Brosur.
7. Anda harus mempresentasikan proyek Anda untuk mendapat apresiasi dari tutor dan masyarakat yang turut diundang menyaksikan presentasi
8. Jelaskan pengertian sumber daya energi?

## RANGKUMAN

1. Sebuah atom dibangun oleh sejumlah partikel elementer yaitu elektron (e), proton (p) dan neutron (n). Proton (p) yang bermuatan positif dan neutron (n) yang tidak bermuatan listrik merupakan 2 partikel elementer yang membangun inti atom.
2. Inti atom disebut juga nuklida, diambil dari bahasa Inggris "nucleus". Sedangkan proton dan neutron sebagai partikel penyusun inti atom disebut juga "nucleon".
3. Massa inti dapat diukur dengan teliti menggunakan alat spektrometer massa.
4. Isotop merupakan nuklida-nuklida yang sama tetapi memiliki jumlah neutron dalam inti yang berbeda.
5. Dua atom yang memiliki nomor massa (A) yang sama dan jumlah proton berbeda dinamakan **isobar**. Tetapi nuklida  ${}^3_1\text{H}$  dan  ${}^4_2\text{He}$  masing-masing memiliki jumlah neutron yang sama di dalam intinya sehingga keduanya dinamakan **isoton**.
6. Gaya yang mengimbangi gaya elektrostatis sehingga inti atom tetap stabil dinamakan gaya nuklir atau gaya inti.
7. Selisih massa nuklida dan massa inti disebut defek massa ( $\Delta m$ ). Secara matematis ditulis

$$\Delta m = (m_p + m_n) - m_i$$

Pada persamaan ini

$\Delta m$  adalah massa defek

$m_p$  adalah massa proton

$m_n$  adalah massa neutron

$m_i$  adalah massa inti atom

8. Energi untuk mengikat nuklida (proton dan neutron) dinamakan energi ikat inti. Adanya energi ikat inti merupakan penjelasan mengapa beberapa proton yang bermuatan positif dapat berkumpul membentuk inti atom.

Energi ikat inti atom dihitung berdasarkan teori relativitas yaitu

$$E = \Delta m \cdot c^2 = \{(m_p + m_n) - m_i\} \cdot c^2$$

Pada persamaan ini,

E adalah energi ikat inti (J)

$\Delta m$  adalah massa defek (kg)

c adalah kecepatan cahaya (m/s)

9. Pemancaran cahaya secara spontan dan terus-menerus ini dinamakan radiasi. Peristiwa pemancaran sinar secara spontan yang dilakukan oleh unsur tidak stabil (seperti unsur

uranium (dinamakan **radioaktivitas**. Istilah radioaktivitas merupakan akronim dari kata radiasi dan aktivitas.

10. Sinar yang tidak dibelokkan sebagai sinar radioaktif yang tidak bermuatan listrik, dinamakan sinar  $\gamma$ . Sinar yang dibelokkan ke kanan sebagai sinar yang bermuatan positif, dinamakan sinar  $\alpha$ . Dan sinar yang dibelokkan ke kiri sebagai sinar yang bermuatan yang negatif, dinamakan sinar  $\beta$ .
11. Aktivitas radiasi disebut juga laju peluruhan. Aktivitas radiasi merupakan proses perubahan jumlah zat radioaktif tiap satu satuan waktu.
12. **Waktu paruh** adalah waktu yang digunakan inti atom untuk aktivitas radiasi hingga sisa inti setengah dari jumlah inti semula. Waktu paruh dengan simbol dinyatakan dalam konstanta peluruhan yaitu

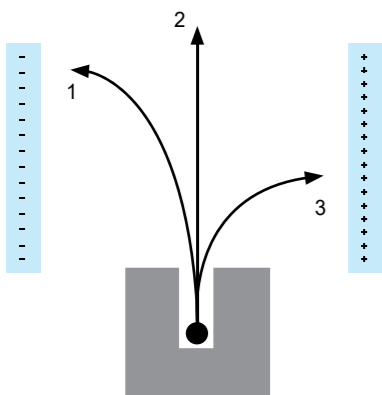
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

13. **Fisi** adalah peristiwa terbelahnya inti atom (inti induk) menjadi dua inti baru (inti anak) karena penembakan dengan partikel neutron, disertai pembebasan partikel dan energi yang besar.
14. Fusi merupakan kebalikan dari fisi. Fisi adalah reaksi penggabungan 2 inti atom anak menjadi satu inti atom induk.
15. Sumber energi tak terbarukan merupakan material/bahan yang diperoleh dari alam yang dapat diubah menjadi energi di mana massa bahan tersebut habis diproses menjadi energi.
16. Sebuah sumber energi dapat dibaharui apabila material atau bahannya tersedia secara terus menerus dalam waktu sangat lama karena siklus alamnya. Contohnya adalah tanah, air, udara dan sinar matahari.
17. Energi biofuel dihasilkan dari tanaman yang memiliki kandungan gula tinggi, dan memiliki kandungan minyak nabati tinggi.
18. Reaktor nuklir adalah tempat terjadinya reaksi inti berantai terkendali, baik pembelahan inti (fisi) ataupun penggabungan inti (fusi).

## UJI KOMPETENSI

Pilihlah jawaban yang paling tepat dengan memberi tanda silang (x) pada huruf A, B, C, D atau E.

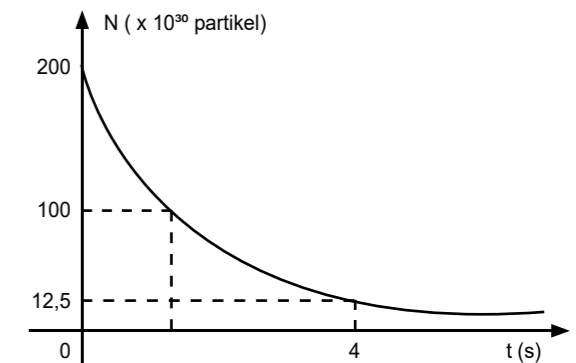
- Waktu paruh suatu unsur radioaktif diketahui sebesar 30 menit. Dalam waktu dua jam tentukan berapa bagian dari unsur radioaktif tersebut yang masih tersisa adalah ...  
A.  $\frac{1}{2}$       B.  $\frac{1}{4}$       C.  $\frac{1}{6}$       D.  $\frac{1}{8}$       E.  $\frac{1}{16}$
- Apabila massa inti  ${}^{12}_6\text{C}$  = 12, massa proton = 1,00783 sma, dan massa neutron = 1,008665 sma (1 sma = 931 MeV), maka energi ikat inti tersebut adalah ...  
A. 41,107 MeV    B. 47,110 MeV    C. 72,141 MeV    D. 92,141 MeV    E. 107,92 MeV
- Perhatikan reaksi fusi berikut !  
 ${}^1_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + E$   
Bila massa :  
 ${}^1_1\text{H} = 2,014741$  sma       ${}^3_1\text{H} = 3,016977$  sma       ${}^4_2\text{He} = 4,003879$  sma  
 ${}^1_0\text{n} = 1,008987$  sma dan 1 sma = 931 MeV, maka besarnya energi yang dibebaskan dari reaksi tersebut sebesar ...  
A. 174,6 MeV    B. 17,46 MeV    C. 1,746 MeV    D. 0,1746 MeV    E. 0,01746 MeV
- Radioisotop yang dapat digunakan untuk menentukan umur tulang-belulang mahluk purbakala adalah ...  
A. Ti-201      B. Xe-133      C. Na-24      D. Tc-201      E. C-14
- Massa sebuah inti atom Uranium  ${}^{238}_{92}\text{U} = 238,0508$  sma. Massa proton = 1,0078 sma, massa neutron = 1,0086 sma, jika 1 sma = 931 MeV, maka besarnya energi ikat atom Uranium tersebut sebesar ...  
A. 9.271,76 MeV    B. 2.830,50 MeV    C. 2.399,73 MeV    D. 1.922,24 MeV    E. 1.789,75 MeV
- Perhatikan gambar pancaran sinar radioaktif didalam medan listrik berikut!



Sinar alfa, beta dan gamma ditunjukkan oleh ...

- 1,2,3
- 2,1,3
- 2, 3, 1
- 3,1,2
- 3,2,1

- Perhatikan grafik N (jumlah partikel) terhadap t (waktu) dari peluruhan bahan radioaktif. Konstanta peluruhan dari bahan radioaktif tersebut adalah ...



- 0,231 s<sup>-1</sup>
- 0,693 s<sup>-1</sup>
- 0,786 s<sup>-1</sup>
- 1,079 s<sup>-1</sup>
- 1,848 s<sup>-1</sup>

- Berikut ini adalah sifat-sifat sinar radioaktif.

- Partikel bermuatan positif dua, bermassa empat, dan daya tembus paling kecil.
- Dibelokkan oleh medan listrik kearah kutub negatif.
- Bermassa satu dan tidak mempunyai muatan.
- Merupakan partikel yang identik dengan elektron dalam medan listrik membelok ke kutub positif. Merupakan gelombang elektromagnetik.

Sifat-sifat sinar radioaktif alfa, beta, dan gama berturut-turut adalah ...

- 1, 2, 3
- 3, 4, 5
- 2, 3, 4
- 1, 4, 5
- 5, 3, 2

- Beberapa gejala yang ditunjukkan untuk menstabilkan inti yang kelebihan neutron yaitu dengan memancarkan ...

- Partikel a
- Partikel b
- Partikel g
- Neutron
- Proton

- Logam yang tidak mampu ditembus oleh partikel yang dipancarkan unsur radioaktif adalah ...

- Fe
- Cu
- Sn
- Pb
- Au

- Suatu radioisotop massanya 8 gram disimpan selama 40 hari. Jika waktu paruh radioisotop 10 hari, maka radioisotop yang masih tersisa adalah ...

- 0,5 gram
- 1,5 gram
- 2,0 gram
- 4,0 gram
- 5,0 gram

- Salah satu sumber sinar gamma adalah ...

- Kobalt-60
- Stronsium-90
- Polonium-210
- Radon-222
- Radium-226

- Jika waktu paruh isotop Na-24 adalah 15 jam, sisa Na-24 yang massanya 5 gram setelah disimpan 45 jam adalah ...

- 0,625 gr
- 1,25 gr
- 1,875 gr
- 2,5 gr
- 3,125 gr

- Radiasi radioaktif membawa dampak negatif terhadap mahluk hidup, di antaranya ...

- Mandul
- Kelainan keturunan
- Kerusakan sistem saraf
- Kerusakan lensa mata
- Leukemia

- Prinsip kerja radioisotop sebagai perunut berdasarkan ...

- Daya tembusnya
- Massanya
- Massa jenisnya
- Viskositasnya
- Efek radiasinya



## Kunci Jawaban dan Pembahasan

16. Salah satu contoh pemanfaatan radioisotop untuk memantau ketebalan suatu produk, dapat jika dilihat pada industri ...

- A. Baja      B. Pupuk      C. Kertas      D. Daging olahan      E. Es

17. Yang bukan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui ialah

- A. Biofuel      B. Panas bumi      C. Arus laut      D. Angin      E. Batubara

18. Sumber energi berikut ini yang belum dikembangkan di Indonesia sebagai pembangkit tenaga listrik adalah ...

- A. Panas Bumi      B. Air      C. Arus Laut      D. Angin      E. Nuklir

19. Pernyataan berikut tentang energi biofuel.

- 1) Kandungan gula tinggi
- 2) Kandungan minyak nabati rendah
- 3) Kandungan gula rendah
- 4) Kandungan minyak nabati tinggi
- 5) Kandungan air tinggi
- 6) Kandungan air rendah

Energi biofuel diproduksi dari tumbuhan yang memiliki ...

- A. 1 dan 3      B. 2 dan 4      C. 3 dan 6      D. 1 dan 4      E. 2 dan 6

20. Penggunaan minyak bumi untuk bahan bakar kendaraan atau industri yang mengeluarkan karbon dioksida menyebabkan terjadinya ...

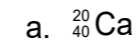
- A. Pencemaran udara dan pencemaran air  
B. Pemanasan global dan gangguan kesehatan  
C. Pencemaran air dan pengurangan luas lahan  
D. Pencemaran udara dan pemanasan global  
E. Pemanasan global dan lahan tanah menipis

21. Ada beberapa cara dalam memanfaatkan energi surya (matahari). Pernyataan yang tidak tepat ialah ...

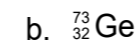
- A. Pencahayaan      B. Pemanasan      C. Desalinisasi dan  
D. Desinfektisasi      E. Deformasi

### A. Unit 1: Latihan

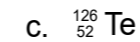
1. Hitung banyaknya proton dan neutron di dalam nuklida berikut ini:



Jawaban : Proton (Z) = **20**,  
Neutron (n) =  $A - Z = 40 - 20 = \mathbf{20}$



Jawaban : Proton (Z) = 32,  
Neutron =  $A - Z = 73 - 32 = 41$



Jawaban : Proton (Z) = 52,  
Neutron =  $A - Z = 126 - 52 = 74$

2. Hitung defek massa dan energi ikat dari atom dalam MeV jika massa intinya 125,903322 sma?

( $m_n = 1,008665 \text{ sma}$ ,  $m_p = 1,007825 \text{ sma}$ ,  $m_e = 0,000549 \text{ sma}$ ,  $1 \text{ sma} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$ )

**Diketahui:**

$m_n = 1,008665 \text{ sma}$   
 $m_p = 1,007825 \text{ sma}$   
 $m_e = 0,000549 \text{ sma}$   
 $1 \text{ sma} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$   
 $M_{\text{inti}} = 125,903322 \text{ sma}$

**Ditanya:** massa defek dan energi ikat dari atom ...?

**Jawab:**

${}_{52}^{126}\text{Te}$  memiliki 52 proton, 52 elektron dan 74 neutron  
Massa 52 proton =  $52 \times 1,007825 \text{ sma} = 52,4069 \text{ sma}$   
Massa 52 elektron =  $52 \times 0,000549 \text{ sma} = 0,028548 \text{ sma}$   
Massa 74 neutron =  $74 \times 1,008665 \text{ sma} = 74,64121 \text{ sma}$

massa defek  ${}_{52}^{126}\text{Te}$  :

$\Delta m = (m_p + m_n) - m_i$   
 $\Delta m = (52,4069 \text{ sma} + 74,64121 \text{ sma}) - 125,903322 \text{ sma}$   
 $\Delta m = 1,144788 \text{ sma}$

Energi ikat inti atom dihitung berdasarkan teori relativitas yaitu

$$E = \Delta m \cdot c^2 = \{(m_p + m_n) - m_i\} \cdot c^2$$

$$1 \text{ sma} = \frac{931,5 \text{ MeV}}{c^2}$$

$$E = 1,144788 \times 931,5 \text{ MeV}$$

$$E = 1066,37 \text{ MeV}$$

[Jawab: 1,14479 sma, 1065,8 MeV]

3. Hitung energi ikat inti persatuan nukelon (energi rata-rata) dari atom  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  dan  ${}^{238}_{92}\text{U}$ .  
 ( $m_{\text{Fe}} = 55,934939 \text{ sma}$ ,  $m_p = 1,007825 \text{ sma}$ ,  $m_n = 1,008665 \text{ sma}$ ,  $1 \text{ sma} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$   
 $m_{\text{U}} = 238,0508 \text{ sma}$ )

**Diketahui:**

$$m_{\text{Fe}} = 55,934939 \text{ sma}$$

$$m_p = 1,007825 \text{ sma}$$

$$m_n = 1,008665 \text{ sma}$$

$$1 \text{ sma} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_{\text{U}} = 238,0508 \text{ sma}$$

**Ditanya:** Energi ikat inti rata-rata dari atom  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  dan  ${}^{238}_{92}\text{U}$  ...?

**Jawab:**

- a. Energi ikat inti rata-rata atom  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$

${}^{56}_{26}\text{Fe}$  memiliki 26 proton, 26 elektron dan 30 neutron

$$\text{Massa 26 proton} = 26 \times 1,007825 \text{ sma} = 26,20345 \text{ sma}$$

$$\text{Massa 30 neutron} = 30 \times 1,008665 \text{ sma} = 30,25995 \text{ sma}$$

massa defek  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  :

$$\Delta m = (m_p + m_n) - m_i$$

$$\Delta m = (26,20345 \text{ sma} + 30,25995 \text{ sma}) - 55,934939 \text{ sma}$$

$$\Delta m = 0,528461 \text{ sma}$$

Energi ikat inti atom dihitung berdasarkan teori relativitas yaitu

$$E = \Delta m \cdot c^2 = \{(m_p + m_n) - m_i\} \cdot c^2$$

$$1 \text{ sma} = \frac{931,5 \text{ MeV}}{c^2}$$

$$E = 0,528461 \times 931,5 \text{ MeV}$$

$$E = 492,2614215 \text{ MeV}$$

Energi ikat inti rata-rata atom  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  adalah :

$$E_0 = \frac{E}{A} = \frac{492,2614215}{56}$$

$$E_0 = 8,79 \text{ MeV/nucleon}$$

- b. Energi ikat inti rata-rata atom  ${}^{238}_{92}\text{U}$

${}^{238}_{92}\text{U}$  memiliki 92 proton, 92 elektron dan 146 neutron

$$\text{Massa 92 proton} = 92 \times 1,007825 \text{ sma} = 92,7199 \text{ sma}$$

$$\text{Massa 146 neutron} = 146 \times 1,008665 \text{ sma} = 147,26509 \text{ sma}$$

massa defek  ${}^{238}_{92}\text{U}$  :

$$\Delta m = (m_p + m_n) - m_i$$

$$\Delta m = (92,7199 \text{ sma} + 147,26509 \text{ sma}) - 238,0508 \text{ sma}$$

$$\Delta m = 1,93419 \text{ sma}$$

Energi ikat inti atom dihitung berdasarkan teori relativitas yaitu

$$E = \Delta m \cdot c^2 = \{(m_p + m_n) - m_i\} \cdot c^2$$

$$1 \text{ sma} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

$$E = 1,93419 \times 931,5 \text{ MeV}$$

$$E = 1801,697985 \text{ MeV}$$

Energi ikat inti rata-rata atom  ${}^{238}_{92}\text{U}$  adalah :

$$E_0 = \frac{E}{A} = \frac{1801,697985}{238}$$

$$E_0 = 7,57 \text{ MeV/nucleon}$$

[Jawab: 8,791 MeV/nucleon, 1801,7 MeV/nucleon]

## B. Unit 2: Latihan

1. Berapakah perbandingan jumlah suatu material dengan keadaan awalnya setelah 5 tahapan peluruhan?

**Diketahui:**

$$\frac{t}{T_{1/2}} = 5$$

Ditanya:  $\frac{N}{N_0}$  ... ?

Jawab:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^5$$

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{32}$$

$$N_0 = 32 N$$

2. Waktu paruh Radium 1260 tahun. Berapakah lamanya waktu yang diperlukan untuk meluruh sehingga tinggal 1/16 dari jumlah semula?

Diketahui:

$$T_{1/2} = 1260 \text{ tahun}$$

Ditanya: t ..... ?

Jawab:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\frac{(1/16) N_0}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{1260}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{1260}}$$

$$4 = \frac{t}{1260}$$

$$t = 5040 \text{ tahun}$$

[Jawab: t = 6480 tahun]

3. Suatu sample radium sebanyak 2 mg mempunyai  $5,36 \times 10^{18}$  atom. Jika waktu paruh Radium 1620 tahun, berapakah banyaknya atom Radium yang meluruh setelah 3240 tahun?

Diketahui:

$$m_R = 2 \text{ mg}$$

$$N_0 = 5,36 \times 10^{18} \text{ atom}$$

$$T_{1/2} = 1620 \text{ tahun}$$

Ditanya:  $\Delta N$  ... ?

Jawab:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\frac{N}{5,36 \times 10^{18}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3240}{1620}}$$

$$\frac{N}{5,36 \times 10^{18}} = \left(\frac{1}{2}\right)^2$$

$$N = 1,34 \times 10^{18}$$

$$\Delta N = N_0 - N = (5,36 \times 10^{18}) - (1,34 \times 10^{18}) = 4,02 \times 10^{18} \text{ atom}$$

Jadi, banyaknya atom Radium yang meluruh setelah 3240 tahun adalah  **$4,02 \times 10^{18}$  atom**

4. Dalam suatu reaksi termonuklir 0,001 kg hidrogen diubah menjadi 0,000993 kg Helium. Berapakah energi yang dilepaskan jika efisiensi generator 5 %. Berapakah energi listrik yang dihasilkan?

Diketahui:

$$m_{H_2} = 0,001 \text{ kg}$$

$$m_{He} = 0,000993 \text{ kg}$$

$$\mu = 5\%$$

Ditanya: Energi yang dilepas dan energi listrik ... ?

Jawab:

Energi yang di lepas :

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

$$E = (0,001 \text{ kg} - 0,000993 \text{ kg}) \times (3 \times 10^8)^2$$

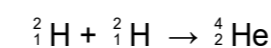
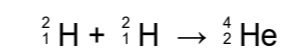
$$E = 6,3 \times 10^{11} \text{ Joule}$$

Energi listrik dengan efisiensi 5% :

$$E = 6,3 \times 10^{11} \times \frac{5}{100}$$

$$E = 3,15 \times 10^{10} \text{ Joule}$$

5. Suatu reaktor fusi menggunakan deutron sebagai bahan bakar dan menghasilkan daya 200 Megawatt. Reaksi yang berlangsung adalah





Hitung berapa banyak bahan bakar yang digunakan tiap hari jika reaktor itu mempunyai efisiensi 25 %. Massa deuteron 2,0141 sma dan massa helium 4,0026 sma!

**Diketahui:**

$$P = 200 \text{ Megawatt} = 2 \times 10^8 \text{ Watt}$$

$$\mu = 25\%$$

$$m_H = 2,0141 \text{ sma}$$

$$m_{He} = 4,0026 \text{ sma}$$

**Ditanya:** massa bahan bakar?

**Jawab:**



$$E = \Delta m \times 931 \text{ MeV}$$

$$E = (\text{massa produk} - \text{massa reaktan}) \times 931 \text{ MeV}$$

$$E = \{(4,0026 \text{ sma}) - (2,0141 \text{ sma} + 2,0141 \text{ sma})\} \times 931 \text{ MeV}$$

$$E = -23,8336 \text{ MeV}$$

Mengeluarkan energi 23,8336 MeV atau 0,0256 U

$$1 \text{ U} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

Energi yang hilang pada tiap reaksi

$$E = \Delta m \times c^2$$

$$E = -0,0256 \times 1,66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2$$

$$E = -3,82464 \times 10^{-12} \text{ Joule}$$

Efisiensi Reaktor

$$E_{\text{eff}} = 25\% E$$

$$E_{\text{eff}} = 25\% \times$$

$$E_{\text{eff}} = -9,5616 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

Tanda negatif (-) artinya reaktor mengurangi pemakaian energi sebesar  $-9,5616 \times 10^{-13} \text{ Joule}$

Daya yang diperlukan adalah 200MW per hari maka :

$$E = P \times t$$

$$E = 2 \times 10^8 \times 24 \times 3600$$

$$E = 1,728 \times 10^{13} \text{ Joule}$$

Dalam 1 hari dihasilkan energi  $1,728 \times 10^{13} \text{ Joule}$  sedangkan reaksi menghasilkan energi sebesar  $9,5616 \times 10^{-13} \text{ Joule}$ , maka banyaknya reaksi yang terjadi :

$$N_{\text{reaksi}} = \frac{\text{energi reaktor}}{\text{energi reaksi}}$$

$$N_{\text{reaksi}} = \frac{1,728 \times 10^{13} \text{ Joule}}{9,5616 \times 10^{-13} \text{ Joule}}$$

$$N_{\text{reaksi}} = 1,8072 \times 10^{25}$$

Setiap reaksi menghasilkan 2 deuteron ( ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H}$ ) sehingga banyaknya deuteron yang terpakai :

$$N_{\text{deuteron}} = 2 N_{\text{reaksi}}$$

$$N_{\text{deuteron}} = 2 \times 1,8072 \times 10^{25}$$

$$N_{\text{deuteron}} = 3,6144 \times 10^{25}$$

Massa 1 deutrom = 2,0141 sma =  $3,34 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Maka, total masa deuteron yang terpakai pada reaksi tersebut adalah :

$$m_{\text{total}} = m_{\text{deuteron}} \times N_{\text{deuteron}}$$

$$m_{\text{total}} = (3,34 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (3,6144 \times 10^{25})$$

$$m_{\text{total}} = 0,121 \text{ kg}$$

### C. Unit 3: Latihan

- Jelaskan pengertian sumber daya energi?  
Sumber energi adalah suatu kemampuan untuk melakukan kerja atau kegiatan. Tanpa kamu? energi, dunia ini akan diam atau beku. Dalam kehidupan manusia selalu terjadi kegiatan, dan untuk kegiatan otak dan kegiatan otot diperlukan energi.
- Sebutkan 3 macam sumber daya energi?
  - Minyak bumi
  - Batu bara
  - Gas alam
- Sebutkan 5 contoh sumber daya energi terbarukan?
  - Energi surya
  - Energi angin
  - Energi panas bumi
  - Energi air
  - Energi gelombang/ arus laut

4. Sebutkan sifat-sifat energi alternatif.
  - a. Energi surya  
Untuk mengeringkan pakaian, energi cahaya matahari menerangi bumi pada siang hari.
  - b. Energi angin  
Angin adalah udara yang bergerak dan berpindah tempat. Penggerakan udara itu disebabkan oleh perbedaan suhu.
  - c. Energi panas bumi  
Selama matahari masih memancarkan sinarnya ke bumi dan di bumi terdapat daratan dan lautan, maka akan terjadi perbedaan suhu dan menyebabkan terjadinya angin.
  - d. Energi energi air  
Gerakan air, yaitu gelombang pasang, ombak, dan arus laut. gelombang pasang dipengaruhi oleh gravitasi bulan, sedangkan ombak disebabkan oleh angin yang berhembus di permukaan laut dan arus laut di sebabkan oleh perbedan kerapatan, suhu dan tekanan, serta rotasi bumi.
  - e. Gelombang  
Air Laut Gelombang air laut saat memecah di pantai juga dapat menghasilkan banyak energi. Energi ini dapat diubah menjadi listrik.
5. Jelaskan keuntungan dan kelemahan pemanfaatan energi alternatif
 

Keuntungan

  - Pasokan melimpah
  - Energi terbarukan
  - Ramah lingkungan

Kerugian

  - Belum optimalnya energi tsb
  - Biaya pembuatan yang mahal/banyak mengeluarkan uang
  - Belum dapat di andalkan sebagai energi utama
  - Banyak alat transportasi yg belum tersedia untuk menyimpan energi alternatif.
6. Apa saja pemanfaatan energi alternative dalam kehidupan sehari-hari
  - 1) ombak (gelombang laut) sebagai pembangkit listrik energi ombak
  - 2) air untuk menggunakan turbin pada pembangkitan listrik energi air
  - 3) biogas digunakan untuk pengganti LPG dan LNG (pengganti bahan bakar kompor)
7. Bagaimana cara-cara memanfaatkan energi surya?
  - Pencahayaan berenergi Matahari
  - Pemanasan berenergi surya, untuk memanaskan air, memanaskan dan mendinginkan ruangan,

- Desalinisasi dan desinfektisasi
  - Untuk memasak, dengan menggunakan kompor energi surya
8. Jelaskan penyebab keterbatasan sumber energi tak terbarukan  
Energi alternatif digunakan untuk menyebut sumber energi yang digunakan bersama-sama (melengkapi) dengan sumber energi konvensional untuk berbagai keperluan. Namun dengan semakin menipisnya sumber energi konvensional, di masa depan tidak akan ada lagi kata 'alternatif' karena secara penuh kita harus menggunakannya.
  9. Jelaskan dampak negative dari sumber daya energi di kehidupan sehari-hari?
    - a. Pemanasan global  
Penggunaan minyak bumi untuk bahan bakar kendaraan ataupun dalam perindustrian yang mengeluarkan karbon dioksida dapat menyebabkan terjadinya pencemaran udara
    - b. Pencemaran air  
Sering terjadi di daerah sekitar pantai. Sedangkan pendistribusiannya dilakukan dengan ditampung dengan kapal khusus untuk menampung minyak bumi
    - c. Pencemaran udara  
Dalam setiap harinya kita pasti menemukan banyak orang menggunakan kendaraan bermotor, entah itu roda 2 ataupun roda 4. Asap yang dikeluarkan dari kendaraan tersebutlah yang nantinya akan membuat udara menjadi tercemar dan menjadi udara yang tidak sehat.
    - d. Mengganggu kesehatan  
Dampak selanjutnya masih berhubungan dengan pembahasan nomor 3. Asap yang berasal dari kendaraan ataupun pabrik industri akan menyebabkan gangguan kesehatan mengetahui asap tersebut mengandung zat-zat yang berbahaya.
    - e. Lahan tanah menipis  
Seperti yang sudah kita ketahui bahwa dalam bidang pertambangan pasti akan memerlukan lahan luas. Batu bara yang diolah menjadi bahan bakar biasanya didapatkan dari tanah yang subur.
  10. Sebutkan 3 penyebab keterbatasan sumber energi alternatif?
    - a. Konsumsi Energi  
Di alam dunia modern ini, ada dua tantangan yang sedang dihadapi yaitu penggunaan energi dan pertumbuhan populasi. Populasi dunia akan terus meningkat pada tahun-tahun berikutnya.
    - b. Kondisi energi sekarang ini  
Penggunaan energi di Indonesia meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk
    - c. Dampak pemakaian BBM dan solusinya  
Minyak yang berasal dari fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dan tidak berkelanjutan.

#### D. Uji Kompetensi

1. Waktu paruh suatu unsur radioaktif diketahui sebesar 30 menit. Dalam waktu dua jam tentukan berapa bagian dari unsur radioaktif tersebut yang masih tersisa adalah ...

**Jawaban:**

$$n = \frac{t}{t_{1/2}} = \frac{120}{30} = 4$$

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

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^4$$

$$N = \left(\frac{1}{16}\right) N_0$$

.....

$$\Delta N = N_0 - N$$

$$\Delta N = N_0 - \frac{1}{16} N_0$$

$$\Delta N = \frac{15}{16} N_0$$

2. Apabila massa inti  ${}^{12}_6\text{C}$  = 12, massa proton = 1,00783 sma, dan massa neutron = 1,008665 sma (1 sma = 931 MeV), maka energi ikat inti tersebut adalah ...

**Jawaban:**

Mula-mula kita akan mencari defek massa inti :

$$\Delta m = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot M_n) - m_i$$

$$\Delta m = (6 \times 1,00783 + (12 - 6) \times 1,008665) - 12,0000$$

$$\Delta m = (6 \times 1,00783 + 6 \times 1,008665) - 12,0000$$

$$\Delta m = 12,09897 - 12,0000$$

$$\Delta m = 0,09897 \text{ sma}$$

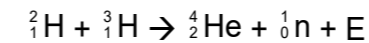
Berikutnya kita bisa mencari energi ikat inti dengan rumus :

$$\Delta E = \Delta m \times 931$$

$$\Delta E = 0,09897 \times 931$$

$$\Delta E = 92,14107 \text{ MeV}$$

3. Perhatikan reaksi fusi berikut!



Bila massa :

$${}^2_1\text{H} = 2,014741 \text{ sma}$$

$${}^3_1\text{H} = 3,016977 \text{ sma}$$

$${}^4_2\text{He} = 4,003879 \text{ sma}$$

${}^1_0\text{n} = 1,008987 \text{ sma}$  dan  $1 \text{ sma} = 931 \text{ MeV}$ , maka besarnya energi yang dibebaskan dari reaksi tersebut sebesar ...

**Jawaban:**

Massa reaktan dan produk :

$$\text{Massa reaktan } (m_{\text{reaktan}}) = 2,014741 \text{ sma} + 3,016977 \text{ sma} = 5,031718 \text{ sma}$$

$$\text{Massa produk } (m_{\text{produk}}) = 4,003879 \text{ sma} + 1,008987 \text{ sma} = 5,012866 \text{ sma}$$

Massa yang hilang selama reaksi :

$$\Delta m = m_{\text{reaksi}} - m_{\text{produk}}$$

$$\Delta m = 5,031718 \text{ sma} - 5,012866 \text{ sma}$$

$$\Delta m = 0,018852 \text{ sma}$$

Massa yang hilang pada reaksi fusi adalah 0,018852 sma menjadi :

$$\Delta m = 0,018852 \text{ sma} \times 931 \text{ MeV}$$

$$\Delta m = \mathbf{17,55 \text{ MeV}}$$

[Jawaban : 17,46 MeV]

4. Radioisotop yang dapat digunakan untuk menentukan umur tulang-belulang mahluk purbakala adalah ...

**Jawaban:** C-14

5. Massa sebuah inti atom Uranium  ${}^{238}_{92}\text{U}$  = 238,0508 sma. Massa proton = 1,0078 sma, massa neutron = 1,0086 sma, jika  $1 \text{ sma} = 931 \text{ MeV}$ , maka besarnya energi ikat atom Uranium tersebut sebesar ...

**Jawaban:**

Massa proton dan neutron :

$$\text{Massa proton} = 92 \times 1,0078 \text{ sma} = 92,7176 \text{ sma}$$

$$\text{Massa neutron} = 146 \times 1,0086 \text{ sma} = 147,2556 \text{ sma}$$

$$\text{Massa proton dan neutron} = 92,7176 \text{ sma} + 147,2556 \text{ sma} = 239,9732 \text{ sma}$$

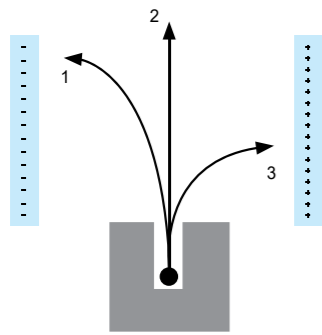
Massa yang hilang :

$$m_{\text{massa proton dan neutron}} - m_{\text{massa inti}} = 239,9732 \text{ sma} - 238,0508 \text{ sma} = 1,9224 \text{ sma}$$

Energi yang dilepas = energi ikat atom :

$$E = 1,9224 \text{ sma} \times 931 \text{ MeV} = \mathbf{1789,7544 \text{ MeV}}$$

6. Perhatikan gambar pancaran sinar radioaktif didalam medan listrik berikut :



Sinar alfa, beta dan gamma ditunjukkan oleh ...

**Jawaban:** 1, 2, 3

7. Perhatikan grafik N (jumlah partikel) terhadap t (waktu) dari peluruhan bahan radioaktif. Konstanta peluruhan dari bahan radioaktif tersebut adalah ...

**Jawaban:**

$$n = N_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{12,5}{200} = \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{4}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{1}{16} = \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{4}{t_{1/2}}}$$

$$\left( \frac{1}{2} \right)^4 = \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{4}{t_{1/2}}}$$

$$4 = \frac{4}{t_{1/2}}$$

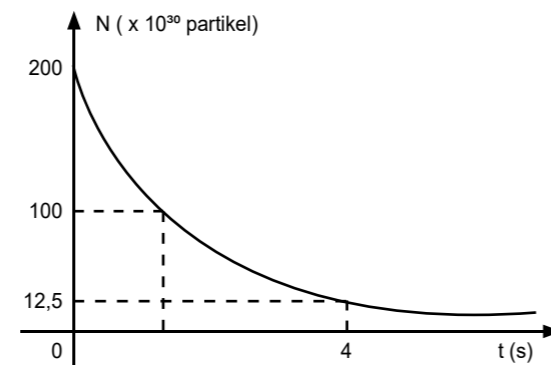
$$T_{1/2} = 1$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

$$\gamma = \frac{0,693}{T_{1/2}}$$

$$\gamma = \frac{0,693}{1}$$

$$\gamma = 0,693 \text{ sekon}$$



8. Berikut ini adalah sifat-sifat sinar radioaktif.

- (1) Partikel bermuatan positif dua, bermassa empat, dan daya tembus paling kecil.
- (2) Dibelokkan oleh medan listrik ke arah kutub negatif.
- (3) Bermassa satu dan tidak mempunyai muatan.
- (4) Merupakan partikel yang identik dengan elektron dalam medan listrik membelok ke kutub positif.
- (5) Merupakan gelombang elektromagnetik.

Sifat-sifat sinar radioaktif alfa, beta, dan gama berturut-turut adalah...

**Jawaban:** 1, 4, 5

9. Beberapa gejala yang ditunjukkan untuk menstabilkan inti yang kelebihan neutron yaitu dengan memancarkan ...

**Jawaban:** Partikel  $\beta$

10. Logam yang tidak mampu ditembus oleh partikel yang dipancarkan unsur radioaktif adalah ....

**Jawaban:** Sn

11. Suatu radioisotop massanya 8 gram disimpan selama 40 hari. Jika waktu paruh radioisotop 10 hari, maka radioisotop yang masih tersisa adalah ...

**Jawaban:**

$$N = N_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$N = 8 \times \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{40}{10}}$$

$$N = 8 \left( \frac{1}{2} \right)^4$$

$$N = \frac{8}{16}$$

$$N = 0,5 \text{ gram}$$

**[Jawaban:** 2,0 gram]

12. Salah satu sumber sinar gamma adalah ...

**Jawaban:** Polonium-210

13. Jika waktu paruh isotop Na-24 adalah 15 jam, sisa Na-24 yang massanya 5 gram setelah disimpan 45 jam adalah ...

**Jawaban:**

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$N = 5 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{45}{15}}$$

$$N = 5 \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

$$N = \frac{5}{8}$$

$$N = 0,625 \text{ gram}$$

[Jawaban: 2,5 gram]

14. Radiasi radioaktif membawa dampak negatif terhadap makhluk hidup, diantaranya ...

**Jawaban:** Kelainan keturunan

15. Prinsip kerja radioisotop sebagai perunut berdasarkan ...

**Jawaban:** Daya tembusnya

16. Salah satu contoh pemanfaatan radioisotop untuk memantau ketebalan suatu produk, dapat jika dilihat pada industri ...

**Jawaban:** Baja

17. Yang bukan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui ialah

**Jawaban:** Batubara.

18. Sumber energi berikut ini yang belum dikembangkan di Indonesia sebagai pembangkit tenaga listrik adalah ...

**Jawaban:** Nuklir

19. Pernyataan berikut tentang energi biofuel.

- Kandungan gula tinggi
- Kandungan minyak nabati rendah
- Kandungan gula rendah
- Kandungan minyak nabati tinggi
- Kandungan air tinggi
- Kandungan air rendah

Energi biofuel diproduksi dari tumbuhan yang memiliki ...

**Jawaban:** a dan d

20. Penggunaan minyak bumi untuk bahan bakar kendaraan atau industri yang mengeluarkan karbon dioksida menyebabkan terjadinya

**Jawaban:** Pencemaran udara dan pemanasan global

21. Ada beberapa cara dalam memanfaatkan energi surya (matahari). Pernyataan yang tidak tepat ialah ...

**Jawaban:** Deformasi

## Penilaian

### Unit 1: Penugasan

Setelah menyelesaikan tugas diskusi ini, cocokkan jawaban Anda dengan kunci jawaban tugas. Penskoran menggunakan skala Likert dengan skal skor 1 s.d. 4. Catatlah skor yang Anda peroleh.

Skor	Kriteria
4	Jika mampu mendeskripsikan 4 jawaban yang benar
3	Jika mampu mendeskripsikan 3 jawaban yang benar
2	Jika mampu mendeskripsikan 2 jawaban yang benar
1	Jika mampu mendeskripsikan 1 jawaban yang benar

### Kunci Jawaban Penugasan

Energi ikat rata-rata per nukleon  $E_{\text{rata-rata}}$  yang besarnya dapat dihitung melalui persamaan di samping.

Untuk A kecil, energi ikat rerata per nukleon rendah dan mengalami kenaikan dengan cepat.

Untuk A disekitar 50, terdapat harga maksimum energi ikat rerata per nukleon yang datar dan turun ketika A – 140.

Untuk A diatas 140, energi ikat rerata per nukleon mengalami penurunan.

### Unit 2: Penugasan

Skor	Kriteria
Deskripsi	Jika <b>benar dalam</b> (1) menuliskan judul tulisan, (2) menyebutkan jenis radio isotop dan teknik produksinya, (3) uraian tentang pemanfaatannya, dan (4) hasil dari penggunaannya.
4	Jika mampu mendeskripsikan 4 jawaban yang benar
3	Jika mampu mendeskripsikan 3 jawaban yang benar
2	Jika mampu mendeskripsikan 2 jawaban yang benar
1	Jika mampu mendeskripsikan 1 jawaban yang benar

### Kunci Jawaban Penugasan

Sesuaikan dengan karya tulis yang di buat.

### Unit 3: Penugasan

No	Kriteria	Skor
1	Membuat judul tulisan	
2	Menuliskan tujuan penulisan	
3	Memiliki dan menyajikan data observasi/wawancara	
4	Membuat Analisa data yang relevan dan sesuai	
5	Membuat kesimpulan yang benar	
6	Memberikan saran-saran perbaikan/pengembangan	
7	Membuat presentasi dalam bentuk infografis/brosur/Audiovideo	
8.	Memnyampaikan presentasi	
	Skor Total Perolehan	
<b>Skor Maksimum</b>		<b>32</b>

Skor	Kriteria
4	Jika mampu mendeskripsikan dengan baik, sesuai dan benar
3	Jika mampu mendeskripsikan baik dan sesuai
2	Jika mampu mendeskripsikan baik dan benar
1	Jika mampu mendeskripsikan baik

## KRITERIA PINDAH MODUL

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif. Anda dapat meminta kunci jawaban kepada Tutor. Untuk menilai jawaban Anda, lihat contoh cara penilaian yang terdapat pada kunci jawaban Tes Formatif. Kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi modul ini.

Rumus untuk menghitung tingkat penguasaan Anda sebagai berikut:

$$TP = \frac{BJB}{JS} \times 100 \%$$

TP = Tingkat Penguasaan

BJB = Banyaknya jawaban benar

JS = Jumlah soal

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90 – 100% = baik sekali

80 – 89% = baik

70 – 79% = cukup

≤ 69% = kurang

Bila tingkat penguasaan Anda mencapai 80%, Anda dapat meneruskan mempelajari modul berikutnya . Bagus!. Tetapi bila tingkat penguasaan Anda di bawah 80%, Anda harus mengulangi modul 2 ini, terutama bagian yang belum Anda kuasai. Disarankan untuk berdiskusi dengan teman sekelas Anda atau dengan Tutor pembimbing.



## Saran Referensi

1. <https://hisham.id/2016/04/model-atom-modern-awan-elektron.html>
2. [model-atom-thomson-sejarah-penemuan-elektron.html](#)
3. <https://hisham.id/2016/04/model-atom-modern-awan-elektron.html>
4. <https://annisasholihah2016.wordpress.com/kimia-kelas-x/semester-1/struktur-atom/teori-atom-mekanika-kuantum/>
5. <https://www.quipper.com/id/blog/mapel/fisika/pengertian-teori-atom/>
6. <https://annisasholihah2016.wordpress.com/kimia-kelas-x/semester-1/struktur-atom/teori-atom-mekanika-kuantum/>
7. Sumber: <http://www.edfenergy.com/energyfuture/generation-wind>
8. <https://kabar-energi.com/2017/02/12/pembangkit-listrik-tenaga-biomassa-pltbn/>



## Daftar Pustaka

- Direktorat Pendidikan Kesetaraan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Tahun 2017 “Silabus Mata Pelajaran Pendidikan Kesetaraan paket C setara SMA”.
- Fisika Universitas Edisi X, Jilid II, Hugh D. Young & Roger A. Freedman, Jakarta: Erlangga, 2001
- Fisika Untuk SMA Kelas XII, M. Achya Arifudin, Jakarta: Interplus, 2007
- Kanginan Marthen, (2017). Fisikan untuk kelas XII, Erlangga
- Kajian Konsep Fisika untuk kelas XII SMA/MA (kelompok peminatana matematika dan ilmu alam) Kurikulum 2013 (jilid 3)
- Kamajaya , 2017 Cerdas Belajar Fisika Kelas XII untuk SMA/MA Bandung
- Fisika SMA Kelas 3, Drs. Yohanes Surya, Jakarta: Intan Pariwara, 1989
- Direktorat Pendidikan Kesetaraan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Tahun 2017 “Silabus Mata Pelajaran Pendidikan Kesetaraan paket C setara SMA”.
- Kanginan Marthen, (2017). Fisikan untuk kelas XII, Erlangga
- Kajian Konsep Fisika untuk kelas XII SMA/MA (kelompok peminatan matematika dan ilmu alam) Kurikulum 2013 (jilid 3)
- Kamajaya , 2017 Cerdas Belajar Fisika Kelas XII untuk SMA/MA Bandung

- Newmark, Ann. 1997. Jendela IPTEK: Kimia. Jakarta: Balai Pustaka.
- [https://bsd.pendidikan.id/data/SMA\\_12/Panduan\\_Pembelajaran\\_Fisika\\_Kelas\\_12\\_Suparmo\\_Tri\\_Widodo\\_2009.pdf](https://bsd.pendidikan.id/data/SMA_12/Panduan_Pembelajaran_Fisika_Kelas_12_Suparmo_Tri_Widodo_2009.pdf)
- [https://www.academia.edu/23561116/Keterbatasan\\_Energi\\_dan\\_DampaknyaBagi\\_kedihupan](https://www.academia.edu/23561116/Keterbatasan_Energi_dan_DampaknyaBagi_kedihupan)
- <http://www.vedcmalang.com>
- <https://indahringo.blogspot.com/2016/10/ilmu-alamiah-dasar-tentang-teori-atom.html>
- [https://alifis.wordpress.com/2010/10/12/seri-eksperimen-fisika-1\\_\\_responsi-awal/](https://alifis.wordpress.com/2010/10/12/seri-eksperimen-fisika-1__responsi-awal/)
- [https://id.wikipedia.org/wiki/Percobaan\\_Millikan](https://id.wikipedia.org/wiki/Percobaan_Millikan)
- <https://www.academia.edu/>
- <http://bse.kemdikbud.go.id/index.php/buku/>
- <http://www.ilmudasar.com/search/label/>
- <https://www.amazine.co/21873/7-kelebihan-kekurangan-sumber-energi-alternatif/>
- <https://brainly.co.id/tugas/9294287#readmore>
- <https://www.studiobelajar.com/teori-atom/>
- <https://www.websitependidikan.com/2017/08/pengertian-contoh-dan-manfaat-energi-alternatif-dalam-kehidupan-sehari-hari.html>



## Profil Penulis

Nama Lengkap : Sanserlis F. Toweula  
HP : 0813 1406 6855  
E-Mail : sanserlis@gmail.com  
Alamat Rumah : Cibubur Country, The Royal II Nomor 22  
Jalan Letda Nasir, Cikeas Udik  
Gunung Putri, Bogor Jawa Barat (16966)  
Bidang Studi : Fisika

### **PEKERJAAN**

1. Guru SMA Negeri 30 Jakarta (1987 - 2013)
2. Pengawas Sekolah SMA Jakarta Pusat (2014 - sekarang)

### **Pendidikan**

1. S1 Jurusan Fisika, IKIP Negeri Jakarta (lulus tahun 1984)
5. S2 Jurusan Fisika Murni dan Terapan, Universitas Indonesia (lulus tahun 2006)

### **Buku**

- Fokus Ujian Nasional SMA, Erlangga, 2010, 2011, 2012, 2013,
- Simulasi Ujian Nasional SMA, Erlangga, 2010. 2011, 2012, 2013
- Teori Relativitas Khusus (Modul e\_learning), 2008
- Dualisme Gelombang dan Partikel, (Modul e\_learning), 2008

### **Penelitian**

- Metode MADA (Mapping, Analysis, Directing, Assessment), 2012
- Meningkatkan Hasil Ujian Nasional Sekolah Binaan dengan Metode MADA, 2016