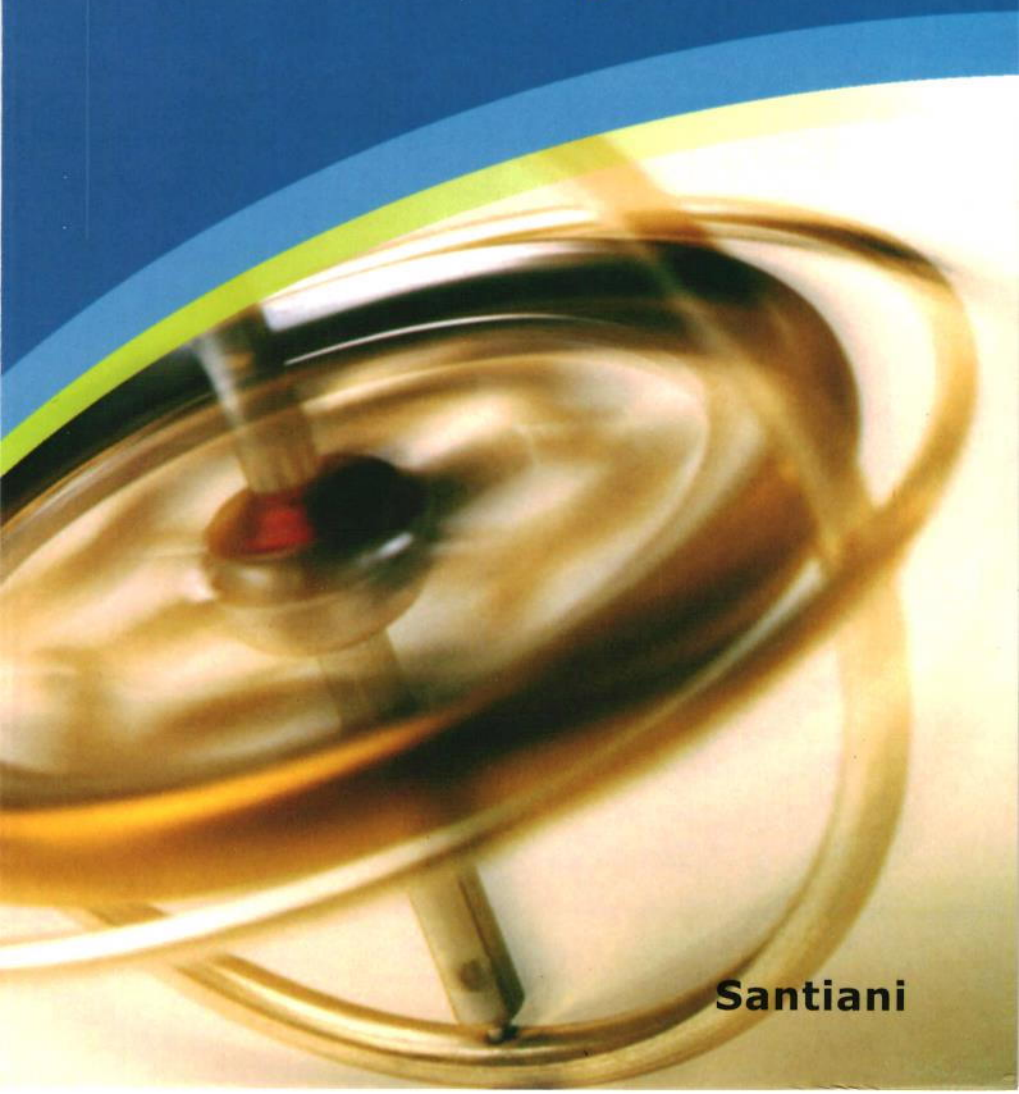


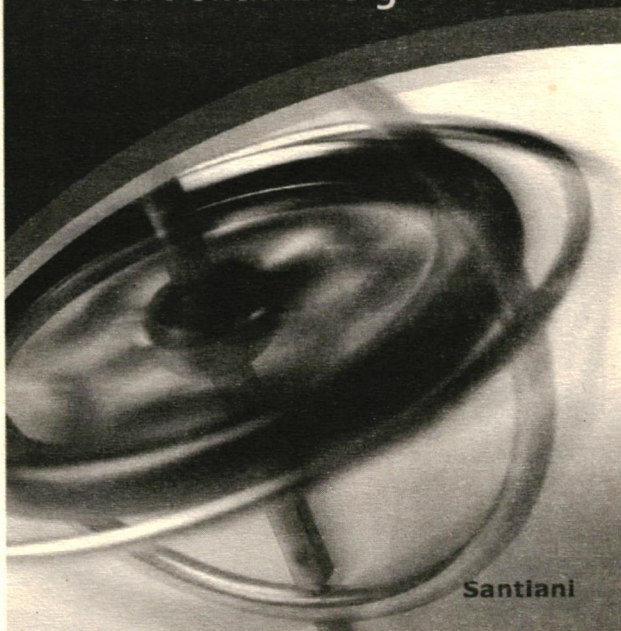
NUKLIR, FISIKA INTI Dan Politik Energi Nuklir



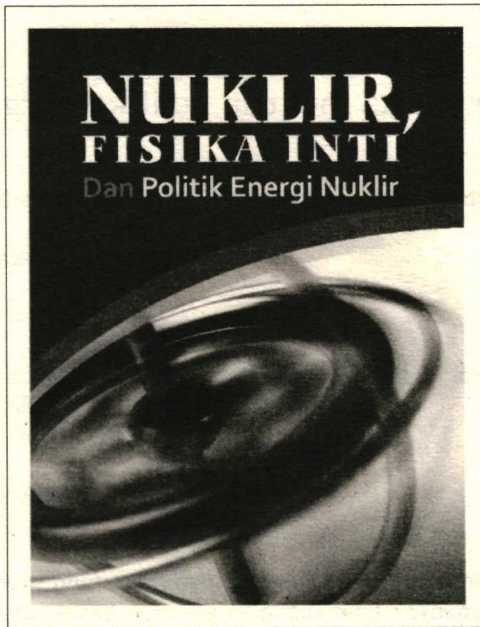
Santiani

NUKLIR, FISIKA INTI

Dan Politik Energi Nuklir



Santiani



Penulis:
SANTIANI

Intimedia
Malang, 2011

Nuklir, Fisika Inti, dan Politik Energi Nuklir

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Cetakan pertama
14 X 20 cm
i - x ; 1 - 142

Pertama kali di terbitkan di Indonesia dalam Bahasa Indonesia
Oleh Intimedia
Malang, November 2011

Copyright © 2011
Intimedia

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang mengutip atau memperbanyak baik sebagian ataupun keseluruhan isi buku dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

Penulis :
Santiani

Cover : Wawan, Lay Out : Elva

ISBN : 978 - 602 - 95802 - 7 - 3

Penerbit
Intimedia (Kelompok In-TRANS Publishing)
Wisma Kalimetro
Jl. Joyosuko Metro No 42 Merjosari, Malang
intrans_malang@yahoo.com

Distributor :
Cita Intrans Selaras

● Pengantar Penerbit

Perbincangan tentang energi dewasa ini sangatlah mengemuka, karena seluruh penduduk dunia yang telah mencapai tujuh miliar selalu membutuhkan energi. Kehidupan umat manusia tidak bisa dilepaskan dari adanya sumberdaya energi.

Buku dengan judul Nuklir, Fisika Inti dan Politik Energi Nuklir ini, memberikan gambaran tentang fisika inti, struktur inti atom, radioaktivitas, reaksi inti atom, reaktor dan energi nuklir hingga politik energi nuklir, yang di tulis oleh dosen STAIN Palangkaraya.

Dengan hadirnya buku ini, diharapkan dapat memberikan suatu kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia. Akhir kata, kami sangat terbuka untuk menerima saran dan kritik yang mambangun untuk perbaikan-perbaikan atas karya-karya intelektual dimasa yang akan datang.

● Daftar isi

Pengantar Penerbit	v
Daftar Isi	vii
Abstraksi	1
Bab I	
Pendahuluan	3
A. Fisika Inti	3
B. Politik Energi Nuklir.....	4
Bab II	
Struktur Inti Atom	7
Bab III	
Sifat Inti Atom	11
A. Jari-jari Inti	11
B. Massa Inti	12
C. Energi Ikat	13
D. Spin dan Magnetisme Inti	15
E. Gaya Inti	17

Bab IV	
Radioaktivitas	19
A. Definisi Radioaktivitas	19
B. Penemuan Radioaktivitas	20
C. Isotop Radioaktif	25
D. Radioaktivitas Alam dan Buatan	28
E. Perubahan Radioaktivitas	30
F. Jenis-jenis Radioaktivitas	33
G. Satuan Radiasi	36
H. Hukum-hukum Radiaktivitas	37
I. Deret Peluruhan	43
Bab V	
Reaksi Inti Atom	47
A. Definisi dan Notasi Reaksi Inti	47
B. Jenis-jenis Reaksi Inti	49
C. Kinematika Reaksi Energi Rendah	56
D. Energi Ambang Reaksi Inti	57
E. Aplikasi Radioaktivitas dalam Kehidupan	60
Bab VI	
Reaktor Nuklir	63
A. Definisi Reaktor	63
B. Reaktor Nuklir	64
C. Komponen-komponen Reaktor Nuklir	65
D. Jenis-jenis Reaktor Nuklir	71
Bab VII	
Energi Nuklir	73
BAB VIII	
Keselamatan Reaktor Nuklir	77
A. Sistem Keselamatan Berlapis	77
B. Fungsi Utama Keselamatan Reaktor	78

Bab IX

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir	79
A. Prinsip Kerja PLTN	79
B. Jenis-jenis PLTN	81
C. Keuntungan dan Kekurangan PLTN	90

Bab X

Limbah Nuklir	93
A. Limbah Radioaktif	93
B. Kategori Limbah Radioaktif	94
C. Metode Pembuangan Limbah	96

Bab XI

Politik Energi Nuklir	99
A. Krisis Energi dunia	99
B. Nuklir Sebagai Salah Satu Solusi Krisis Energi	110
C. Politik Nuklir untuk Mendukung Polugri Negara ...	121
D. Pandangan Islam Tentang Pengembangan Nuklir	136

DAFTAR PUSTAKA	141
-----------------------------	------------

ABSTRAKSI

Nuklir, Fisika Inti dan Politik Energi Nuklir

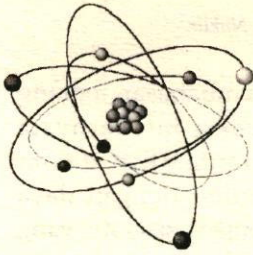
Seiring dengan meningkatnya kemampuan produksi Negara-negara Asia, kebutuhan akan energi listrik pun meningkat dengan pesat. China, India, Pakistan, Malaysia dan Vietnam merupakan contoh negara-negara yang siap bersaing dengan Jepang untuk menjadi 'pemimpin pasar' di Asia dengan rencana persiapan pembangkit listrik skala besar. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) ada dalam rencana penyediaan sumber energi listrik skala besar negara-negara tersebut. Sampai saat ini, 15 % dari total pembangkit listrik yang beroperasi di dunia adalah PLTN. Sebagian besar jenis pembangkit ini terdapat di Benua Amerika, Eropa dan beberapa di Negara-negara Asia seperti Jepang, Korea, dan China. Kebutuhan dunia akan energi nuklir tak bisa lagi di tolak.

Ada dua sisi yang saling berseberangan tentang kepemilikan energi nuklir jika dipandang dalam kacamata Islam, jika digunakan untuk listrik tentu ini sebuah

keniscayaan dan kebutuhan tapi jika digunakan untuk militer tentu ini sangat membahayakan, karena perang nuklir bisa membuat dunia rusak.

Buku ini mencoba mengurai nuklir dari sisi konsep dasar pembangun teknologinya yaitu Fisika Inti untuk memberikan tambahan referensi bagi mata kuliah Fisika Inti. Untuk memperluas cakrawala pemikiran mahasiswa atau siapa saja yang ingin mengetahui perkembangan dunia nuklir maka melalui buku ini penulis mencoba sedikit mengulas politik energi nuklir dunia. Penulis mencoba menganalisis politik energi nuklir dengan mengkaji fakta-fakta pengembangan nuklir dunia dan mengkaitkannya dengan manuver-manuver politik negara pengembang nuklir. Analisis terhadap fakta menunjukkan betapa nuklir dipergunakan untuk menguasai perpolitikan dunia dan menjadi negara adidaya.

Penulis menutup pembahasan dengan memaparkan beberapa pendapat ulama Islam tentang pengembangan nuklir untuk keperluan damai ataupun perang. Melalui ulasan ini penulis mencoba memberikan wacana keislaman untuk menilai fakta yang berkembang di dunia. Penulis berharap membentuk satu pemahaman bagi para pembaca bahwa sebagai umat Islam maka sudah seharusnya berusaha menilai setiap fakta yang berkembang di masyarakat dengan kacamata Islam sebagai konsekuensi dari aqidah Islam.



BAB I

Pendahuluan

A. Fisika Inti

Fisika Inti merupakan konsep dasar dari teknologi nuklir. Energi yang sangat besar dari reaksi inti yang kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi dan energi senjata pemusnah massal. Untuk mengkaji lebih jauh tentang nuklir maka harus dimulai dari konsep atau teori dasarnya yaitu Fisika Inti.

Jika kita telaah maka sejarah perkembangan fisika inti bermula dari beberapa peristiwa berikut ini:

1. Tahun 1911, Ernest Rutherford dengan percobaan penembakan partikel alfa pertama kali memperkenalkan istilah inti pada atom dengan postulatnya bahwa massa dan muatan atom terpusat pada suatu daerah kecil dipusat atom.
2. Tahun 1913, Neils Bohr menjelaskan bahwa elektron mengitari inti, tingkat energi atom hidrogen, dan spektrum Balmer.
3. Tahun 1932, penemuan neutron oleh James Chadwick. Setelah penemuan neutron ini mulailah inti atom dibahas dengan partikel penyusunnya proton dan neutron.
4. Otto Hahn dan Fritz Strassman menemukan fisi inti pada tahun 1938

Setelah peristiwa-peristiwa diatas pembahasan tentang inti atom berkembang pesat karena reaksi inti ternyata berenergi sangat besar dan dapat dimanfaatkan dalam banyak penerapan, salah satunya bom nuklir dengan daya hancur yang sangat besar. Tentu saja menjadi sesuatu yang sangat menarik ketika membahas bom nuklir karena dengan bom nuklir dapat menjadikan sebuah negara diperhitungkan keberadaannya di dunia.

Reaksi inti atom menghasilkan energi yang sangat besar jauh lebih besar dari energi dari bahan bakar fosil. Sifat reaksi inti inilah yang dimanfaatkan untuk sumber energi. Reaksi inti atom dikendalikan pada sebuah reaktor nuklir untuk diambil energinya menjadi sumber energi. Misalunya pembangkit listrik tenaga nuklir(PLTN).

B. Politik Energi Nuklir

Hari-hari terakhir dunia di cemaskan oleh naiknya harga minyak dunia, bahkan minyak sempat menembus angka \$120/barel yang masih berpeluang naik tajam terkait masih memanasnya konflik di Jazirah Arab. Fakta ini mengulang krisis ekonomi dan minyak tahun 2008 dimana harga minyak mencapai \$180/barel, rekor harga tertinggi sepanjang sejarah peradaban manusia. Hal ini membuat banyak negara kelabakan, terutama negara yang masih mengandalkan pemenuhan energi berbasis fosil dari impor, seperti Indonesia.

Seiring dengan meningkatnya kemampuan produksi Negara-negara Asia, kebutuhan akan energi listrik pun meningkat dengan pesat. China, India, Pakistan, Malaysia dan Vietnam merupakan contoh negara-negara yang siap bersaing dengan Jepang untuk menjadi 'pemimpin pasar' di Asia dengan rencana persiapan pembangkit listrik skala besar. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) ada dalam rencana penyediaan sumber energi listrik skala besar

negara-negara tersebut. Sampai saat ini, 15 % dari total pembangkit listrik yang beroperasi di dunia adalah PLTN. Sebagian besar jenis pembangkit ini terdapat di Benua Amerika, Eropa dan beberapa di Negara-negara Asia seperti Jepang, Korea, dan China. Kebutuhan dunia akan energi nuklir tak bisa lagi di tolak.

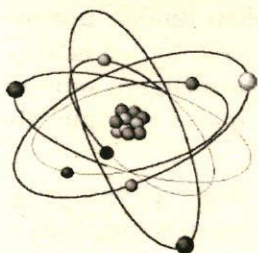
AS memelopori perkembangan sistem persenjataan nuklir dunia dengan menjatuhkan bom atomnya di dua kota utama di Jepang, Hiroshima dan Nagasaki, pada penghujung Perang Dunia Kedua. Bencana nuklir tersebut tidak saja menyebabkan puluhan ribu nyawa melayang dan ratusan ribu korban luka-luka dari kalangan masyarakat sipil, tetapi juga memakan korban puluhan ribu bayi. Kemunculan persenjataan baru itu segera saja mengubah perimbangan kekuatan di antara negara-negara utama dunia. Pihak yang memiliki sistem persenjataan nuklir dengan mudah dapat memaksakan kehendaknya kepada musuh-musuh mereka. Tetapi keadaan itu tidak berlangsung lama, ketika Rusia mampu mengejar teknologi nuklir Amerika dengan membuat Bom A dan Bom H. Tidak lama kemudian, Inggris, Prancis, dan Cina menyusul menjadi negara-negara pemilik senjata nuklir.

Ada dua sisi yang saling berseberangan tentang kepemilikan energi nuklir jika dipandang dalam kacamata Islam, jika digunakan untuk listrik tentu ini sebuah keniscayaan dan kebutuhan tapi jika digunakan untuk militer tentu ini sangat membahayakan, karena perang nuklir bisa membuat dunia rusak.

Buku ini mencoba mengurai nuklir dari sisi konsep dasar pembangun teknologinya yaitu Fisika Inti untuk memberikan tambahan referensi bagi mata kuliah Fisika Inti. Untuk memperluas cakrawala pemikiran mahasiswa atau siapa saja yang ingin mengetahui perkembangan dunia nuklir maka melalui buku ini penulis mencoba sedikit mengulas politik energi nuklir dunia. Penulis mencoba

menganalisis politik energi nuklir dengan mengkaji fakta-fakta pengembangan nuklir dunia dan mengkaitkannya dengan manuver-manuver politik negara pengembang nuklir. Analisis terhadap fakta menunjukkan betapa nuklir dipergunakan untuk menguasai perpolitikan dunia dan menjadi negara adidaya.

Penulis menutup pembahasan dengan memaparkan beberapa pendapat ulama Islam tentang pengembangan nuklir untuk keperluan damai ataupun perang. Melalui ulasan ini penulis mencoba memberikan wacana keislaman untuk menilai fakta yang berkembang di dunia. Penulis berharap membentuk satu pemahaman bagi para pembaca bahwa sebagai umat Islam maka sudah seharusnya berusaha menilai setiap fakta yang berkembang di masyarakat dengan kacamata Islam sebagai konsekuensi dari aqidah Islam.



BAB II

Struktur Inti Atom

Struktur Partikel Penyusun Inti Atom

Inti atom terdiri dari proton dan neutron dengan ciri-ciri seperti pada tabel di bawah ini. Proton dan neutron merupakan partikel inti, tanpa membedakan proton dan neutron partikel ini dinamakan nukleon.

Tabel 2.1. Sifat Nukleon

Nama	Muatan	Massa Energi	Spin
Proton	+1	1,00758 sma atau 938,28	$\frac{1}{2}$
Neutron	0	1,00898 sma atau 939,57	$\frac{1}{2}$

(Sumber: Y. Wiyatmo, Fisika Nuklir dalam Telaah Semi-Klasik & Kuantum 2006; 21)

Simbol sebuah atom dicirikan oleh kandungan proton dalam inti dan jumlah nukleon dalam inti, secara umum suatu atom diberi simbol ${}^A_Z X_N$, dengan X menunjukkan

nama atom, Z (nomor atom) menyatakan jumlah proton dan A (nomor massa) adalah jumlah nukleon, $N=A-Z$ adalah nomor neutron. Misalnya ${}^{16}_8\text{O}$ namanya oksigen, nomor atom atau jumlah proton 8 dan nomor massa atau jumlah nukleon 16, jumlah proton $N=16-8=8$.

Nama umum inti adalah nuklida. Beberapa inti yang memiliki nomor atom Z sama tetapi nomor massanya berbeda dikenal dengan isotop. Isotop tak stabil yang dihasilkan dalam reaksi inti disebut isotop radioaktif atau radioisotop. Contoh silikon, ${}^{28}_{14}\text{Si}$, ${}^{30}_{14}\text{Si}$, ${}^{32}_{14}\text{Si}$. Inti-inti dengan jumlah neutron yang sama dikenal dengan isoton atau inti dengan N sama dan Z berbeda, contoh ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^{15}_7\text{N}$, ${}^{16}_8\text{O}$. Untuk nuklida-nuklida dengan A sama dikenal dengan isobar, contohnya ${}^{140}_{56}\text{B}$, ${}^{140}_{57}\text{La}$. Sedangkan nuklida-nuklida dengan Z dan A sama, tentu saja N juga sama tetapi berbeda tingkat energinya/tetapan integrasinya/waktu paruhnya disebut isomer, contoh ${}^{60}_{27}\text{Co}$ dengan waktu paruh 10,7 menit dan yang waktu paruhnya 5,2 tahun.

Contoh soal :

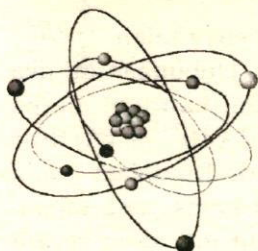
Tuliskan lambang yang sesuai bagi ketiga isotop berikut :

1. Isotop helium dengan massa 4.
2. Isotop timah dengan 66 neutron
3. Sebuah isotop dengan nomor massa 235 yang mengandung 143 neutron

Penyelesaian :

1. Dari daftar berkala kita dapati bahwa helium memiliki $Z = 2$. Karena $A = 4$, $N = A - Z = 2$. Jadi lambangnya adalah ${}^4_2\text{He}_2$.
2. Dari daftar berkala, kita dapati bahwa untuk timah(Sn), $Z=50$. Karena kita ketahui $N = 66$ maka $A = Z + N = 116$. Lambangnya adalah ${}^{116}_{50}\text{Sn}_{66}$.
3. Karena diketahui bahwa $A = 235$ dan $N = 143$, kita ketahui ketahui bahwa $Z = A - N = 92$. Dari daftar berkala kita dapati bahwa unsure ini adalah uranium, jadi lambing yang sesuai bagi isotop ini adalah ${}^{235}_{92}\text{U}_{143}$.

Nuklir, Fisika Inti dan Politik Energi Nuklir



BAB III

Sifat Inti Atom

A. Jari-jari Inti

Eksperimen hamburan Rutherford bukti pertama bahwa inti mempunyai ukuran berhingga. Kita dapat belajar mengenai ukuran dan struktur inti dengan eksperimen hamburan. Dengan menggunakan sinar masuk yang terdiri elektron-elektron berenergi tinggi (H^+ 200 MeV) sehingga panjang gelombang de Broglie-nya akan cukup kecil supaya elektron-elektron bertindak sebagai benda-benda kecil inti yang sensitif untuk menyelidiki struktur inti.

Eksperimen sesungguhnya untuk menentukan ukuran inti telah memakai elektron berenergi beberapa ratus MeV sampai 1 GeV ($1 \text{ GeV} = 1000 \text{ MeV} = 10^9 \text{ eV}$) dan neutron dengan energi 20 MeV ke atas. Dalam setiap kasus secara umum didapatkan volume sebuah inti berbanding lurus dengan banyaknya nukleon yang dikandungnya (nomor massanya A). Hal ini memperlihatkan bahwa kerapatan nukleon hampir sama dalam bagian-bagian inti.

Jika jari-jari inti adalah R , volumenya ialah $\frac{4}{3}\pi R^3$, sehingga R^3 berbanding lurus dengan A . Hubungan ini jika dinyatakan dalam hubungan kebalikannya maka $R = R_0 A^{1/3}$ dengan R_0 ialah $R_0 \approx 1,2 \times 10^{-15} \text{ m}$ (Arthur Beiser dalam Fisika Modern, 1999). Tanda R_0 dalam tanda kira-kira karena inti tidak mempunyai batas yang tajam. Namun harga R dapat mewakili ukuran inti atom secara efektif.

Inti begitu kecil sehingga satuan panjang yang lebih memadai untuk memperkirakannya adalah *femtometer* (fm) dengan 10^{-15} Angstrom. *Femtometer* disebut juga dengan *Fermi*. Jadi dapat ditulis $R \approx 1,2 A^{1/3} \text{ fm}$ untuk jari-jari inti. Dari rumus ini didapat jari-jari inti ${}^{12}_6\text{C}$ ialah $R \approx 1,2 \times (12)^{1/3} \text{ fm} \approx 2,7 \text{ fm}$. Jari-jari inti ${}^{107}_{47}\text{Ag}$ ialah 5,7 fm dan inti ${}^{238}_{92}\text{U}$ ialah 7,4 fm.

Contoh soal :

Cari kerapatan inti ${}^{12}_6\text{C}$

Penyelesaian :

Massa atomic ${}^{12}_6\text{C}$ ialah 12,0 u. Dengan mengabaikan massa dan energi ikat enam elektron, maka kerapatan nuklirnya

$$\rho = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{12,0 \text{ u} \times (1,66 \times 10^{-27} \text{ kg/u})}{\frac{4}{3}\pi (2,7 \times 10^{-15} \text{ m})^3} = 2,4 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

B. Massa Inti

Massa atom dapat diukur dengan presisi yang tinggi dengan menggunakan spektrometer massa modern dan teknik reaksi inti. Massa seperti ini diukur dalam satuan massa atomic terpadu (u) sehingga massa adalah 12 u. Hubungan satuan ini dengan massa standar SI adalah .

Perhatikan bahwa nomor massa(A) mengidentifikasi sebuah inti, karena nomor ini sama dengan massa inti atom tersebut yang dibulatkan kebilangan bulat terdekat. Nomor massa inti adalah 137, inti ini mengandung 55 proton dan 82 neutron, massa atomnya 136,90707 u yang dibulatkan secara numeris menjadi 137.

Pada fisika inti perubahan-perubahan energi per peristiwa pada umumnya sangat besar sehingga relasi massa-energi Einstein yang terkenal dengan $E = \Delta mc^2$ berlaku (Halliday-Resnik dalam Fisika Modern, 1986). Ekuivalensi energi dari 1 satuan massa atom adalah :

$$E = \Delta mc^2 = \frac{(1,66 \times 10^{-27} \text{ kg})(3,00 \times 10^8 \text{ m/s})^2}{1,60 \times 10^{-13} \text{ J / MeV}} = 931 \text{ MeV}$$

ini berarti kita dapat menuliskan c^2 sebagai 931 MeV/u dan akan mudah untuk menentukan ekuivalensi energi dalam MeV dari sembarang massa atau selisih massa dalam u atau sebaliknya.

C. Energi Ikat (*Binding Energy*)

Jika dibandingkan massa inti suatu atom dengan massa nukleon penyusunnya ternyata massa inti lebih kecil. Sehingga dapat dikatakan pada penyusunan inti dari partikel/nukleon penyusunnya ada massa yang hilang, massa yang hilang berubah menjadi energi ikat inti, berarti energi ikat setara dengan massa yang lenyap pada penyusunan inti dari partikel penyusunnya. Untuk menceraikan inti menjadi partikel penyusunnya diperlukan energi yang sama dengan energi ikat inti. Energi ikat inti dapat dihitung dengan rumus : (Sugimin W.W dalam Fisika Reaktor, 2000)

$$BE = (Zm_p + Nm_n - M_{iz}^A X)c^2$$

m_p = massa proton dalam kgm

m_n = massa neutron dalam kgm

M_i = massa inti ${}_Z^A X$

c = kelajuan cahaya dalam hampa = 3×10^8 m/det

BE = *Binding Energy* = energi ikat dalam Joule

Karena tabel massa inti tidak ada maka rumus BE perlu diubah dalam bentuk massa atom yang dapat dicari dalam tabel massa atom, sehingga rumus BE diubah menjadi :

$$BE = \{Z(m_p + m_e) + Nm_n - (M_{iZ}^A X + Zm_e)\}c^2$$

$$BE = (Zm_{a1}^1 H + Nm_n - M_{aZ}^A X)c^2$$

Jika massa neutron, massa atom dinyatakan dalam sma, maka rumus BE dapat diubah dalam bentuk :

$$BE = (Zm_{a1}^1 H + Nm_n - M_{aZ}^A X)931 \text{ MeV}$$

Hal ini disebabkan massa sebesar sma setara dengan energi 931 MeV. Konversi satuan massa dalam kgm menjadi sma dan sebaliknya adalah .

Contoh soal :

Hitunglah energi ikat total B dan juga energi total per nukleon B/A bagi ${}_{26}^{56} \text{Fe}_{30}$ dan ${}_{92}^{238} \text{U}_{146}$.

Penyelesaian :

${}_{26}^{56} \text{Fe}_{30}$ maka N=30 dan Z=26, dengan persamaan

$$BE = (Zm_{a1}^1 H + Nm_n - M_{aZ}^A X)931 \text{ MeV}$$

$$BE = ((26 \times 1,007825u + 30 \times 1,008665u) - (55,934939u))$$

$$931,5 \text{ MeV} / u = 492,3 \text{ MeV}$$

$$\frac{B}{A} = (492,3 \text{ MeV}) / 56 = 8,791 \text{ MeV per nukleon}$$

Untuk, ${}_{92}^{238}\text{U}_{146}$:

$$BE = ((92 \times 1,007825u) + (146 \times 1,008665u)) - (238,050786u) \times 931,5 \text{ MeV} / u$$

$$= 1802 \text{ MeV}$$

$$\frac{B}{A} = (1802 \text{ MeV} / 238) = 7,571 \text{ MeV per nukleon}$$

D. Spin dan Magnetisme Inti

Pada peristiwa struktur halus (*hyperfine structure*) terjadi interaksi antara momentum sudut total L dengan momen magnetik inti. Karena momen magnetik inti sebanding dengan momentum sudutnya maka beberapa inti atom harus mempunyai momentum sudut intrinsik atau spin inti I.

Seperti elektron masing-masing nukleon dalam inti atom mempunyai spin $\frac{1}{2}$. Karena gerakannya di dalam inti atom maka proton dan neutron juga mempunyai momentum sudut orbital. Momentum sudut total atau spin inti (I) merupakan jumlah vektor dari momentum sudut orbital L dan momentum sudut spin S setiap nukleon adalah dengan L_k dan S_k masing-masing adalah

$\vec{I} = \sum_{k=1}^A L_k + \sum_{k=1}^A S_k$ momentum sudut orbital dan momentum sudut spin dari nukleon ke k. Nilai skalar momentum sudut inti memenuhi :

dengan I menyatakan bilangan kuantum momentum sudut total inti. Spin inti I terkuantisasi dalam ruang. Proyeksi I terhadap sumbu z (medan magnet B) menghasilkan M_I banyaknya M_I yang mungkin adalah $(2i+1)$. Nilai skalarnya memenuhi:

$$M_I = m_I \hbar$$

Nukleon-nukleon di dalam inti atom dapat dianggap mengalami gerak orbital. Untuk proton misalnya, hubungan antara momen magnetik proton M_p dengan momentum sudut orbital proton L_p memenuhi :

$$M_{lp} = \left(\frac{e}{2m_p} \right) L_p \text{ dengan } L_{pz} = \left(\frac{e\hbar}{2m_p} \right) m_l = m_l \mu_N \text{ dengan } \mu_N$$

adalah magneton inti.

Selain mengalami gerak orbital proton juga mengalami gerak spin, maka hubungan antara momen magnetik spin proton M_{sp} dengan momentum sudut spin proton S_p memenuhi :

$$M_{sp} = g_s \left(\frac{e}{2m_p} \right) S_p$$

Nilai skalar momen magnetik sudut spin proton pada

arah sumbu z: $M_{spz} = g_s \left(\frac{e\hbar}{2m_p} \right) m_s = g_s m_s \mu_N$ Dengan cara

yang sama hubungan antara momen magnetik sudut spin dan momentum sudut spin untuk neutron memenuhi:

$$M_{sp} = g_s \left(\frac{e}{2m_n} \right) S_n$$

Nilai skalar momen magnetik sudut spin neutron

dalam arah z: $M_{snz} = g_s \left(\frac{e\hbar}{2mn} \right) m_s = g_s m_s \mu_N$ dengan g_s

menyatakan factor g-s(tetapan giromagnetik), yang nilainya bergantung pada jenis nukleon. Untuk proton nilai $g_s = +5,5855$

yang menunjukkan M_{sp} sejajar dan searah(parallel) dengan S_p sedangkan untuk neutron nilai $g_s = -3,82633$. Hal ini berarti bahwa M_{sn} sejajar tetapi berlawanan (anti-paralel) arah dengan S_n .

Untuk inti atom hubungan antara momen magnetik nuklir dengan spin nuklir memenuhi : $M_I = g_I \mu_N I$ momen

magnetik inti dalam arah z : $M_{Iz} = g_I \mu_N m_I \hbar$ dengan :

g_s = tetapan giromagnetik nuklir

$$I_z = m_I \hbar$$

m_I = bilangan kuantum spin nuklir

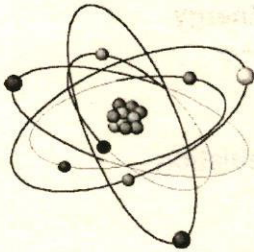
E. Gaya Inti (Nuclear Force)

Gaya inti adalah gaya yang mengikat inti agar tidak cerai berai (Sugimin W.W dalam Fisika Reaktor, 2000). Energi ikat nukleon-nukleon di dalam inti tidak lain adalah energi yang berhubungan dengan gaya antar nukleon yang disebut gaya inti, dan ternyata tidak sesederhana gaya sentral yang telah dikenal sebelumnya. Gaya inti melibatkan gaya antar nukleon-nukleon dan amat kuat tetapi jangkauannya amat pendek dan tidak bergantung jenis nukleonnya, yakni sama baik untuk antar proton maupun antar neutron ataupun antara proton dan neutron.

Gaya antara nukleon-nukleon di dalam inti dapat dipelajari dari gaya antara proton dan neutron dari deuterium yakni inti deuterium yang berkaitan dengan energi ikat ataupun dari hamburan neutron oleh proton atau sebaliknya dari hamburan neutron oleh neutron, ataupun proton oleh proton. Berbagai percobaan telah memberikan banyak kesan mengenai sifat inti atom, diantaranya pembahasan tentang betapa kuat tarikan gaya inti mengatasi tarikan Coulomb yang cenderung memberantakkan inti atom.

Berbagai percobaan telah memberikan banyak kesan mengenai sifat inti atom, diantaranya pembahasan tentang betapa kuat tarikan gaya inti mengatasi tarikan Coulomb yang cenderung memberantakkan inti atom. Lewat beragam percobaan dengan berbagai inti atom diperoleh ciri-ciri gaya inti antara lain:

1. Merupakan jenis gaya berbeda sama sekati dari gaya elektromagnet, gravitasi atau gaya lain dan memiliki gaya paling kuat dari semua gaya yang diketahui serta disebut gaya kuat (*strong force*).
2. Jangkauannya sangat pendek dengan daerah terbatas hingga, ukuran inti atom sekitar 10^{-15} m.
3. Gaya inti antara dua nukleon tidak bergantung pada jenis nukleon, gaya inti $n-p$, gaya inti $n-n$, dan $p-p$ adalah sama.



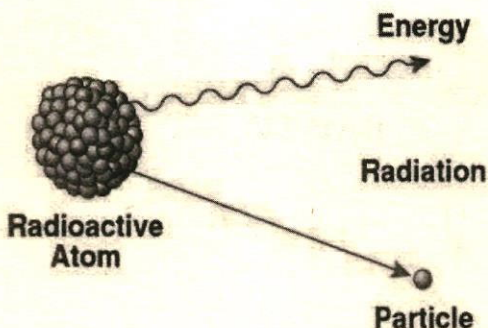
BAB IV

Radioaktivitas

A. Definisi Radioaktivitas

Salah satu sifat menakjubkan dari beberapa inti atom adalah kemampuan mereka untuk bertransformasi sendiri secara spontan dari suatu inti dengan nilai Z dan N tertentu keinti lainnya. Beberapa inti atom lainnya stabil dalam arti mereka tidak meluruh keinti atom yang berbeda. Karena ada inti yang tidak stabil inilah maka pada fisika inti ada bidang kajian tentang radioaktivitas.

Radioaktivitas adalah kemampuan inti atom tidak stabil untuk memancarkan radiasi dan berubah menjadi inti stabil. Proses perubahan ini disebut peluruhan dan inti atom yang tidak stabil disebut radionuklida. Materi yang mengandung radionuklida disebut zat radioaktif. Peluruhan ialah perubahan inti atom yang tidak stabil menjadi inti atom yang lain, atau berubahnya suatu unsur radioaktif menjadi unsur yang lain. (www.batan.go.id).



Gambar 4.1. Radioaktivitas Atom

Sumber : <http://3.bp.blogspot.com/how-does-radioactive-decay-work.gif>

B. Penemuan Radioaktivitas

1. ANTOINE HENRI BECQUEREL (1852-1908) Penemu Radiaktivitas



Gambar 4.2. Antoine Henri Becquerel

Sumber: <http://www.googlebottle.com/tokoh-dunia/antoine-henri-becquerel-penemu-radio-aktif.html>

Radioaktivitas ditemukan oleh H. Becquerel pada tahun 1896. Becquerel menamakan radiasi dengan uranium.

Becquerel (Antoine Henri Becquerel, Perancis, 1852-1908) yang merupakan profesor fisika di Museum Sains Paris berpikir untuk memastikan hal ini. Keluarga Becquerel sejak dari generasi kakek bekerja sebagai profesor fisika di Museum Sains, ayah Becquerel adalah peneliti materi pendar. Becquerel segera dapat melakukan penelitian menggunakan materi pendar yang dikumpulkan oleh ayahnya. Becquerel memasukkan pelat fotografi dan kain hitam ke dalam kotak aluminium. Dia berupaya agar pelat fotografi tidak

mengalami perubahan walaupun kotak aluminium terkena sinar matahari. Dia meletakkan (mengoleskan) garam uranium di atas kotak aluminium, membiarkannya terkena sinar matahari selama beberapa jam, lalu memproses pelat fotografi itu. Jika oleh stimulasi sinar matahari sinar-X dipancarkan dari uranium, maka sinar-X yang menembus kain hitam dan aluminium pasti akan menghitamkan pelat fotografi. Ternyata memang pelat fotografi menjadi hitam seperti yang diperkirakan. Tetapi kembali terjadi hal yang tidak diperkirakan. Karena hari berawan berlangsung terus, Becquerel tidak dapat menggunakan sinar matahari seperti di atas. Becquerel memproses pelat fotografi dengan suatu pikiran untuk memastikan bahwa pelat tidak akan menjadi hitam karena tidak terkena sinar matahari. Tetapi pelat tetap menjadi hitam walaupun kotak tidak terkena sinar matahari. Becquerel menemukan fakta ini pada Maret 1896.

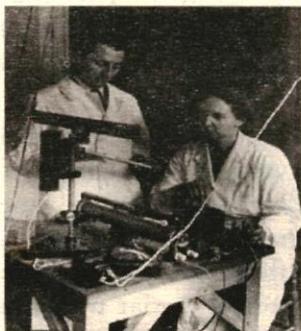
Setelah melakukan percobaan dengan meletakkan berbagai materi di atas pelat fotografi, ia mengetahui bahwa sifat materi pendar dan bentuk kimia tidak mempunyai pengaruh dalam hal ini. Semua materi yang mengandung uranium pasti dapat menghitamkan pelat fotografi. Khususnya dalam hal logam uranium, tingkat kehitamannya besar. Becquerel berpikir bahwa dari uranium terpancar radiasi yang mirip dengan sinar-X. Untuk sementara sinar ini disebut sinar Becquerel. Kesamaan sifat antara sinar Becquerel dengan sinar-X, selain sama-sama dapat menghitamkan pelat fotografi, adalah keduanya dapat mengionkan udara.

Dua tahun setelah itu, Marie Curie meneliti radiasi uranium dengan menggunakan alat yang dibuat oleh Pierre Curie, yaitu pengukur listrik *piezo* (lempengan kristal yang biasanya digunakan untuk pengukuran arus listrik lemah), dan Marie Curie berhasil membuktikan bahwa kekuatan radiasi uranium sebanding dengan jumlah kadar uranium yang dikandung dalam campuran senyawa uranium.

Disamping imukan bahwa peristiwa peluruhan tersebut tidak dipengaruhi oleh suhu atau tekanan, dan radiasi uranium dipancarkan secara spontan dan terus menerus tanpa bisa dikendalikan. Marie Curie juga meneliti campuran senyawa lain, dan menemukan bahwa campuran senyawa thorium juga memancarkan radiasi yang sama dengan campuran senyawa uranium, dan sifat pemancaran radiasi seperti ini diberi nama radioaktivitas.

Pada tahun 1898, ia menemukan unsur baru yang sifatnya mirip dengan bismut. Unsur baru ini dinamakan polonium diambil dari nama negara asal Marie Curie, yaitu Polandia. Setelah itu H. Becquerel dan Marie Curie melanjutkan penelitiannya dengan menganalisis *pitch blend* (bijih uranium). Mereka berpendapat bahwa di dalam *pitch blend* terdapat unsur yang radioaktivitasnya lebih kuat daripada uranium atau polonium. Pada tahun yang sama mereka mengumumkan bahwa ada unsur radioaktif yang sifatnya mirip dengan barium. Unsur baru ini dinamakan radium (Ra), yang artinya benda yang memancarkan radiasi. (Michael H. Hart dalam Seratus Tokoh yang Paling Berpengaruh dalam Sejarah, 1978)

2. IRENE JOLIOT-CURIE Penemu Radioaktivitas Buatan



Sumber: <http://www.IreneJoliot-Curie>

Penelitian Irene berkisar di seputar partikel-partikel alpha yang dipancarkan oleh unsur polonium yang radioaktif. Polonium, elemen yang ditemukan oleh Marie Curie di tahun 1898, adalah unsur radioaktif yang sangat sering digunakan para peneliti saat itu untuk mempelajari inti atom. Karena

polonium hanya memancarkan satu jenis radiasi: partikel-partikel alpha (inti atom Helium). Umumnya Polonium diletakkan dekat bahan atau unsur lain yang tidak radioaktif untuk mempelajari berbagai partikel yang keluar dari bahan tersebut.

Di labotarium mereka bekerja menggunakan polonium (memproduksi dan mempersiapkannya untuk menjadi alat penelitian). Pada saat itu, dunia sains belum mengerti benar struktur inti atom. Belum ada yang mengerti dan menemukan neutron. Ketika Irene mengandung anak keduanya, dia mencoba memecahkan masalah yang ditemukan oleh fisikawan Jerman Walther Bothe. Bothe telah membombardir elemen berilium (unsur metalik yang ringan) dengan partikel-partikel alpha polonium. Yang keluar dari berilium adalah pancaran radiasi yang sangat kuat sehingga bisa menembus timah sampai setebal 2 cm. Mulanya dia berpikir dia menemukan tipe baru sinar gamma.

Pasangan Joliot-Curie mengulang percobaan yang dilakukan oleh Bothe. Mereka membombardir lilin parafin (yang kaya akan proton) dengan partikel-partikel alpha polonium. Lilin ini mengeluarkan proton-proton dengan kecepatan sepersepuluh kecepatan cahaya. Mereka pun mengambil kesimpulan yang salah bahwa ini sinar gamma.

Ernest Rutherford, ketika membaca artikel Joliot-Curie tidak percaya kalau itu sinar gamma. "Sinar gamma tidak memiliki massa dan tidak dapat membuat partikel yang berat bergerak secepat itu," komentarnya. James Chadwick yang bekerja di laboratorium Rutherford mengulang percobaan yang sama. Tapi kali ini Chadwick mengerti apa yang terjadi dan menemukan neutron.

Rutherford terkenal sangat gencar mempromosikan anak-anak didik dan asistennya untuk mendapatkan hadiah Nobel. Untuk penelitian yang dilakukan Chadwick, dia berseru, "Saya ingin Jim yang mendapatkan Nobel. Tidak berbagi dengan siapapun!" James Chadwick akhirnya dianugerahkan Nobel Fisika.

Pasangan Joliot-Curie sebenarnya telah membuktikan keberadaan neutron, tapi tidak dapat menjelaskannya. Sayangnya kejadian ini bukan yang terakhir kalinya mereka melewatkan kesempatan untuk mendapatkan hadiah Nobel.

Setelah neutron ditemukan, fisikawan Enrico Fermi melihat kegunaannya sebagai alat peneliti inti atom. Neutron adalah partikel yang tidak memiliki muatan. Jika neutron dengan kecepatan tinggi dapat menembus inti atom, ia dapat mengeluarkan proton. Pasangan Joliot-Curie pun mengikuti jejak Fermi mempelajari inti atom dengan memborbardir inti atom unsur-unsur yang lain dan melihat jejak-jejak partikel yang dikeluarkan memakai Wilson cloud chamber. Hasil eksperimen-eksperimen yang mereka lakukan memberikan petunjuk bahwa ada satu lagi partikel subatomik yang belum pernah ditemukan sebelumnya. Partikel ini bermuatan positif, tapi beratnya sama dengan elektron (positron). Lagi-lagi Fred dan Irene menebak dengan salah partikel ini. Ketika ilmuwan C.D. Anderson dari Amerika melakukan percobaan yang sama, dia menebak dengan benar dan mendapatkan hadiah Nobel. Pasangan Joliot-Curie sebenarnya telah membuktikannya adanya antimatter, tapi sayangnya mereka tidak dapat menjelaskannya.

Beberapa waktu setelah itu, mereka meletakkan polonium di dekat lempengan tipis aluminium dan mengharapakan nukleus hidrogen yang keluar. Tetapi malah neutron dan positron yang keluar. Ketika mereka melaporkan hasil eksperimen ini di Konferensi di Belgia pada bulan Oktober 1933, pernyataan mereka ini ditolak oleh Lise Meitner. Meitner mengaku melakukan percobaan yang sama, tapi tidak menemukan neutron. Banyak yang hadir lebih percaya Meitner ketimbang Joliot-Curie. Pasangan tersebut sempat kecewa memang. Tapi Niels Bohr dan Wolfgang Pauli yang juga hadir memberikan semangat kembali ke mereka berdua.

Mereka akhirnya kembali ke Paris di tahun 1934 untuk mengulang percobaan yang sama. Pada mulanya mereka mengasumsi inti aluminium mengeluarkan netron dan positron pada saat yang bersamaan. Untuk mengecek hipotesa ini, Fred menarik lempengan aluminium agak jauh dari polonium dan mengecek dengan Geiger Counter. Netron memang berhenti keluar, tapi dia heran ketika partikel-partikel positron masih terdeteksi oleh Geiger Counter yang dia pegang. Dia bergegas memanggil istrinya untuk menunjukkan apa yang terjadi. Inti aluminium telah menyerap partikel-partikel alpha dari polonium, mengeluarkan netron-netron dan dalam proses tersebut, dalam waktu yang singkat, berganti jadi fosfor. Fosfor ini fosfor buatan, jadi tidak stabil. Oleh karena itu intinya mengeluarkan positron dan akhirnya berubah lagi menjadi elemen silikon yang stabil. Mereka berhasil menemukan radioaktif buatan.

Untuk hasil penelitiannya ini, pasangan Joliot-Curie dinominasikan untuk penghargaan Nobel Fisika di tahun 1934, tapi tidak dapat. Mereka akhirnya berhasil meraih Nobel Kimia tahun 1935. Nobel Kimia mereka merupakan Nobel ketiga untuk keluarga Curie. (Sharon Brtsch McGrayne. *"Irene Joliot-Curie", Nobel Prize Women in Science* tahun 1993)

C. Isotop Radioaktif

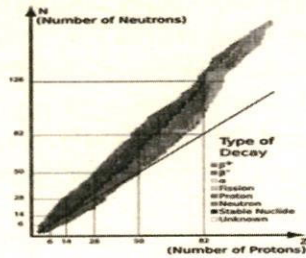
Isotop – isotop tidak stabil (atau inti tidak stabil) dapat ditemukan di alam. Ketidakstabilan inti-inti ini umumnya terjadi pada unsur-unsur yang memiliki massa atom besar seperti polonium, thorium, radium, dan uranium (seluruh isotopnya merupakan inti-inti yang tidak stabil atau isotop-isotop radioaktif). Inti radioaktif tersebut akan mengalami perubahan spontan yaitu mengalami disintegrasi atau peluruhan radioaktif pada laju tertentu. Peluruhan tersebut disertai dengan emisi partikel bermuatan dari inti

atom seperti partikel alfa yang identik dengan inti helium dan partikel beta yang identik dengan elektron. Hasil dari peluruhan tersebut sering berupa unsur radioaktif yang masih mengeluarkan partikel alfa ataupun beta. Baru setelah beberapa tahap peluruhan maka terbentuklah unsur yang stabil

Pada beberapa kejadian, ketika inti tersebut meluruh maka hasil peluruhannya (inti anakan) tidak langsung berada pada keadaan energi paling rendah atau energi dasar (*ground state*). Inti anakan berada pada keadaan eksitasi yakni memiliki kelebihan energi dari *ground state*. Dengan waktu sangat singkat, sekitar 10^{-15} detik dari pembentukannya, inti yang tereksitasi tadi memancarkan kelebihan energinya dalam bentuk radiasi yang disebut dengan sinar gamma. Sinar ini memiliki sifat yang mirip dengan sinar X; memiliki kedalaman daya tembus dan memiliki panjang gelombang pada rentang 10^{-8} hingga 10^{-11} atau mungkin kurang. Berdasarkan pengamatan, semakin besar energi eksitasi inti maka semakin pendek panjang gelombang dari radiasi sinar gamma tersebut.

Lalu timbul pertanyaan apakah unsur yang memiliki nomer atom besar selalu tidak stabil? Dan apakah unsur dengan nomer atom kecil tidak mungkin menjadi radioaktif? Jawabannya tidak tentu, karena meskipun unsur yang memiliki nomer atom terbesar mulai dari polonium (dengan nomer atom 84) ke atas tersedia hanya di alam dalam keadaan tidak stabil atau radioaktif. Namun thalium (81), timbal (82) dan bismuth (83) sebagian besar berada di alam dalam keadaan yang stabil dan baru sebagian kecil sisanya berada dalam keadaan tidak stabil. Setelah itu, unsur dibawah thalium berada dalam wujud stabil semuanya. Namun pada akhirnya perkembangan teknologi nuklir telah mampu membuat isotop radioaktif buatan manusia yang berasal dari unsur – unsur dengan nomer atom rendah seperti Co-60, dan Cs-137 yang keduanya

merupakan isotop standar yang biasa digunakan untuk pelatihan dan juga industri.



Sumber: <http://kliktedy.wordpress.com>

Gambar 4.3 Tipe peluruhan

Jika sebuah inti tertentu menjadi stabil, perbandingan jumlah neutron dan proton haruslah berada pada rentang yang terbatas yakni berada pada rentang 1 hingga 1,56 sebuah variasi jangkauan yang sangat kecil yang memungkinkan inti menjadi stabil. Sebagian besar unsur di bumi yang kita tinggali ini termasuk unsur-unsur pembentuk tubuh, kulit, daging ataupun darah kita berada pada rentang rasio yang teramat kecil ini dan inilah alasan mengapa manusia dan makhluk hidup masih bisa hidup di bumi ini. Bayangkan jika sebagian besar unsur di muka bumi memiliki perbandingan neutron dan proton diluar rentang tersebut, maka bumi kita ini tak ayal akan menjadi planet kosong yang hanya dihuni oleh partikel-partikel radioaktif. Sungguh Maha Suci Allah yang telah menciptakan inti atom dengan kekuatan luar biasa didalamnya sekaligus sifat-sifatnya yang mengendalikan kekuatan tersebut.

D. Radioaktivitas Alam dan Buatan

Berdasarkan asalnya, radioaktivitas dikelompokkan menjadi radioaktivitas alam, dan radioaktivitas buatan, yaitu hasil kegiatan yang dilakukan manusia. Dalam radioaktivitas alam, ada yang berasal dari alam dan dari radiasi kosmik. Radioaktivitas buatan dipancarkan oleh radioisotop yang sengaja dibuat manusia, dan berbagai jenis radionuklida dibuat sesuai dengan penggunaannya.

1. Radioaktivitas Alam

a. Radioaktivitas primordial

Pada litosfer, banyak terdapat inti radioaktif yang sudah ada bersamaan dengan terjadinya bumi, tersebar secara luas disebut radionuklida alam. Radionuklida alam banyak terkandung dalam berbagai macam materi dalam lingkungan, misalnya dalam air, tumbuhan, kayu, bebatuan, dan bahan bangunan. Radionuklida primordial dapat ditemukan juga di dalam tubuh manusia. Terutama radioisotop yang terkandung dalam kalium alam.

b. Radioaktivitas yang berasal dari radiasi kosmik

Pada saat radiasi kosmik masuk ke dalam atmosfer bumi, terjadi interaksi dengan inti atom yang ada di udara menghasilkan berbagai macam radionuklida. Yang paling banyak dihasilkan adalah H-3 dan C-14. Kecepatan peluruhan dan kecepatan pembentukan radionuklida seimbang, sehingga secara teoritis jumlahnya di alam adalah tetap. Berdasarkan fenomena tersebut, maka dengan mengukur kelimpahan C-14 yang ada dalam suatu benda, dapat ditentukan umur dari benda tersebut dan metode penentuan umur ini dinamakan penanggalan karbon (*Carbon Dating*).

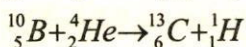
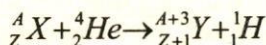
2. Radioaktivitas Buatan

Pada eksperimen Rutherford yaitu disintegrasi Nitrogen dengan alfa dengan proses sebagai berikut : Jika Nitrogen di bom dengan alfa yang berasal dari zat radioaktif Ra-

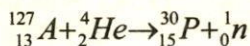
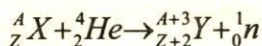
dium yang ditempatkan di titik D. Tempat R dapat digeser-geser. Kerlipan pada layar dapat diamati dengan mikroskop M. Kerlipan ini jelas bukan dari adanya alfa yang menerobos lapisan silver, karena pada jarak R ke F lebih besar dari 34 cm kerlipan masih terjadi, padahal alfa tidak dapat menembus udara pada jarak yang lebih besar dari 34 cm, apalagi setelah lewat udara pada jarak yang lebih besar dari 34 cm masih harus menembus lapisan perak F. Ternyata partikel yang dapat menembus perak tersebut adalah proton. Untuk menerangkan hal ini dikemukakan reaksi disintegrasi sebagai berikut : Reaksi inti ini dinamakan disintegrasi buatan. Selanjutnya ditemukan disintegrasi buatan dengan partikel-partikel yang lain, misalnya disintegrasi dengan neutron $({}_0^1n) {}_7^{14}N + {}_2^4He \rightarrow {}_8^{17}O + {}_1^1H$

Contoh :

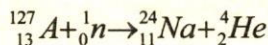
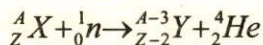
a. Reaksi (alfa, proton)



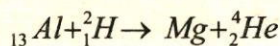
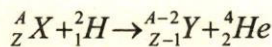
b. Reaksi (alfa, neutron)



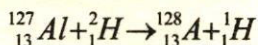
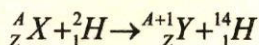
c. Reaksi (neutron, alfa)



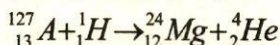
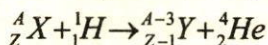
d. Reaksi (deteron, alfa)



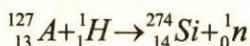
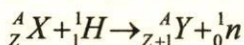
e. Reaksi (deteron, proton)



f. Reaksi (proton, alfa)



g. Reaksi (proton, neutron)



3. Radioaktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Energi yang dihasilkan oleh proses peluruhan dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga nuklir. Dalam instalasi pembangkit listrik tenaga nuklir, faktor keselamatan radiasi menjadi prioritas yang utama, dan dengan berkembangnya teknologi pembangkit listrik tenaga nuklir, maka tingkat keselamatan radiasinya pun semakin tinggi.

4. Radioaktivitas akibat Percobaan Senjata Nuklir

Radioaktivitas yang berasal dari jatuhnya radioaktif akibat percobaan senjata nuklir disebut *fall out*. Tingkat radioaktivitas dari *fall out* yang paling tinggi terjadi pada tahun 1963 dan setelah itu jumlahnya terus menurun. Hal itu disebabkan pada tahun 1962 Amerika dan Rusia mengakhiri percobaan senjata nuklir di udara.

E. Perubahan Radioaktivitas

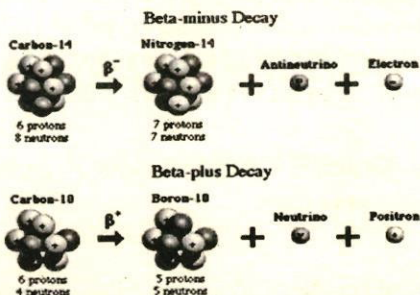
Ketika jumlah neutron dan proton dalam nukleus unsur tertentu memiliki perbandingan yang berada di luar rentang kestabilan untuk nomor massa tertentu maka inti tersebut akan menjadi radioaktif. Lalu apa yang terjadi pada

inti radioaktif tersebut? Inti yang tidak stabil ternyata akan mengalami perubahan secara spontan agar mampu mencapai keadaan stabil. Inti yang tidak stabil memiliki jumlah neutron yang lebih banyak ataupun inti dengan proton yang lebih sedikit (sehingga perbandingan neutron dan protonnya diatas 1,56) . Untuk mencapai keadaan stabil maka neutron akan dirubah menjadi proton dan (pada saat yang bersamaan dipancarkan) elektron yang tidak lain dan tidak bukan adalah partikel beta sehingga:

Neutron \Rightarrow Proton + Negative Beta Particle

muatan	0	+1	-1
Massa	1	1	0

Menurut hukum kekekalan energi, muatan dan massa di sisi kiri anak panah haruslah sama dengan sisi kanan anak panah. Dari bagan diatas, hukum kekekalan energi telah terpenuhi. Namun ternyata masih ada yang kurang dari bagan tersebut, karena Pauli mempostulatkan bahwa terdapat partikel lain yang turut dibebaskan selain partikel beta, partikel tersebut bernama *Neutrino*; memiliki massa diam nol dan tidak memiliki muatan namun memiliki sejumlah energi yang dibebaskan pada transformasi radioaktif, karena sifatnya yang tidak bermuatan dan tidak bermassa maka wajar jika partikel itu sulit untuk dideteksi, keberadaan neutrino baru bisa dipastikan ketika teknologi sintilasi cair ditemukan.



Sumber: <http://kliktedy.wordpress.com/2010/03/22/radioaktivitas/>

Gambar 4.5. Peluruhan Beta

Jika bagan diperhatikan, hasil dari bagan menunjukkan bahwa keberadaan 1 neutron telah diganti posisinya oleh 1 proton sehingga otomatis dari hasil transformasi (inti anak) memiliki nomor atom yang lebih besar satu dari pada unsur induknya meskipun pada kenyataannya nomor massanya tetap sama. Dengan kata lain, peluruhan beta menjadikan suatu unsur induk berubah menjadi unsur yang lain dengan nomor massa yang sama.

Pada unsur baru ini perbandingan neutron proton pada inti akan menjadi lebih kecil dari pada inti unsur induknya, hal ini dikarenakan perubahan neutron menjadi proton sama saja dengan pengurangan jumlah neutron dan diikuti dengan penambahan jumlah proton. Konsekuensinya inti anakan akan cenderung lebih stabil ketimbang unsur induknya. Tapi ini tidak serta merta menandakan unsur tersebut sudah pasti tidak bersifat radioaktif. Mungkin saja unsur tersebut masih bersifat radioaktif memancarkan partikel beta dan berubah menjadi isotop unsur yang lain lagi. Baru setelah dua atau tiga kali tahap transformasi yang mengkonversi neutron menjadi proton sekaligus melepaskan partikel beta, maka unsur stabil akan terbentuk.

Selain jumlah neutron yang lebih besar atau jumlah proton yang lebih sedikit maka ada juga keadaan dimana jumlah proton terlalu besar sehingga agar perbandingan neutron dan proton berada pada rentang kestabilan untuk massa atom tertentu maka proton tersebut haruslah diubah menjadi neutron dan pada keadaan yang bersamaan elektron positif atau disebut juga positron dibebaskan sehingga:

Proton \Rightarrow Neutron + Positive Beta Particle

muatan	+1	0	+1
Massa	1	1	0

Inti yang dihasilkan akan memiliki nomor atom lebih kecil satu angka daripada inti induknya meskipun nomor

massanya adalah sama. Dan lagi-lagi memang unsur tersebut cenderung lebih stabil namun mungkin masih bersifat radioaktif sehingga setelah beberapa transformasi disintegrasi positron akan tercapai inti yang berada pada rentang kestabilan

Jika perbandingan neutron dan proton berada jauh di bawah rentang kestabilan. Ada dua jalan agar inti tersebut menjadi stabil, yang pertama dengan memancarkan partikel alfa dan yang kedua dengan menangkap elektron negatif dari luar atom sehingga terjadi kebalikan proses disintegrasi beta yang telah dijelaskan diatas.

F. Jenis-jenis Radioaktivitas

Pada tahun 1903, Ernest Rutherford mengemukakan bahwa radiasi yang dipancarkan zat radioaktif dapat dibedakan atas dua jenis berdasarkan muatannya. Radiasi yang bermuatan positif dinamai sinar alfa, dan yang bermuatan negatif diberi nama sinar beta. Selanjutnya Paul U.Viillard menemukan jenis sinar yang ketiga yang tidak bermuatan dan diberi nama sinar gamma.

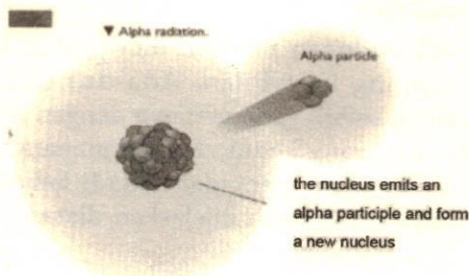
1. Sinar alfa (α)

Sinar alfa merupakan radiasi partikel yang bermuatan positif. Partikel sinar alfa sama dengan inti helium ${}^4_2\text{He}$, bermuatan $+2e$ dan bermassa 4 sma. Partikel alfa adalah partikel terberat yang dihasilkan oleh zat radioaktif. Sinar alfa dipancarkan dari inti dengan kecepatan sekitar $1/10$ kecepatan cahaya. Karena memiliki massa yang besar, daya tembus sinar alfa paling lemah diantara diantara sinar-sinar radioaktif. Diudara hanya dapat menembus beberapa cm saja dan tidak dapat menembus kulit. Sinar alfa dapat dihentikan oleh selembar kertas biasa. Sinar alfa segera kehilangan energinya ketika bertabrakan dengan molekul media yang dilaluinya. Tabrakan itu mengakibatkan media yang dilaluinya mengalami ionisasi. Akhirnya partikel alfa akan

menangkap 2 elektron dan berubah menjadi atom helium.

Pemancaran Alfa (inti ${}^4_2\text{H}$) dengan transformasi ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$

Contoh : ${}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{235}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$



Sumber: <http://kliktedy.wordpress.com>

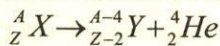
Gambar 4.6 Peluruhan alpha

2. Sinar beta (β)

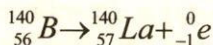
Sinar beta merupakan radiasi partikel bermuatan negatif. Sinar beta merupakan berkas elektron yang berasal dari inti atom. Partikel beta yang bermuatan-1 e dan bermassa $1/836$ sma. Karena sangat kecil, partikel beta dianggap tidak bermassa sehingga dinyatakan dengan notasi $0-1e$. Energi sinar beta sangat bervariasi, mempunyai daya tembus lebih besar dari sinar alfa tetapi daya pengionnya lebih lemah. Sinar beta paling energetik dapat menempuh sampai 300

cm dalam uadara kering dan dapat menembus kulit.

Pemancaran beta negatif (elektron) dengan transformasi

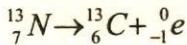


Contoh :



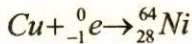
Pemancaran beta positif (positron) dengan transformasi ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + e^+$

Contoh :



Penangkapan elektron (*electron Capture*) dengan transformasi ${}^A_ZX + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1}Y$

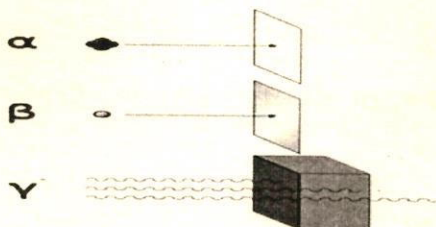
Contoh :



3. Sinar gamma (3.Sinar gamma (γ))

Sinar gamma adalah radiasi elektromagnetik berenergi tinggi, tidak bermuatan dan tidak bermassa. Selain sinar alfa, beta, gamma, zat radioaktif buatan juga ada yang memancarkan sinar X dan sinar Positron. Sinar X adalah radiasi sinar elektromagnetik. Radioaktivitas merupakan Salah satu gejala yang sangat penting dari inti atom. Meskipun nuklida-nuklida diikat oleh gaya inti yang cukup kuat, banyak nuklida yang tidak mantap secara spontan meluruh menjadi nuklida lain melalui pemancaran partikel alpha, beta dan gamma. Energi gamma lebih besar dibandingkan dengan energi beta dan alfa. Sedangkan radiasi yang energinya terkecil adalah partikel alfa.

Pemancaran Gamma dengan transformasi ${}^A_ZX + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1}Y$. Pemancaran gamma terjadi pada inti dalam keadaan tak stabil (*excited state*) dengan memancarkan gamma akan berubah menjadi inti yang stabil, tanpa mengubah nomor atom ataupun nomor massa. Contoh ${}^{131}_{54}Xe$ tak stabil setelah memancarkan gamma dengan energi 0,364 MeV menjadi ${}^{131}_{54}Xe$.



Sumber: http://www.wikipedia.Peluruhan_radioaktif.htm
Gambar 4.7 Ilustrasi daya tembus partikel alfa, beta, gamma.

Partikel Alfa tidak mampu menembus selembar kertas, partikel beta tidak mampu menembus pelat aluminium. Untuk menghentikan gamma diperlukan lapisan metal tebal, namun karena penyerapannya fungsi eksponensial akan ada sedikit bagian yang mungkin menembus pelat metal.

Contoh soal :

Isotop polonium ${}_{84}^{210}\text{Po}$ tidak mantap, memancarkan zarah alfa. Tentukan nuklida anaknya ?

Penyelesaian :

Nuklida anak mempunyai nomor atom $Z=84-2=82$ dan nomor massa $A=210-4=206$. Nuklida tersebut bersesuaian dengan ${}_{82}^{206}\text{Pb}$

G. Satuan Radiasi

Satuan radiasi digunakan untuk menyatakan intensitas atau jumlah radiasi bergantung pada jenis yang diukur. Beberapa satuan yang umum digunakan :

1. Curie(Ci) dan Becquerrel (Bq)

Curie dan Becquerrel adalah satuan yang dinyatakan untuk menyatakan keaktifan yakni jumlah disintegrasi (peluruhan) dalam satuan waktu. Dalam sistem satuan SI,

keaktifan dinyatakan dalam Bq. Satu Bq sama dengan satu disintegrasi per sekon. $1\text{Bq} = 1\text{ dps}$ dps = disintegrasi per sekon. Satuan lain yang juga biasa digunakan ialah Curie. Satu Ci ialah keaktifan yang setara dari 1 gram garam radium, yaitu $3,7 \cdot 10^{10}\text{ dps}$ $1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{ dps} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{ Bq}$

2. Gray (gy) dan Rad (Rd)

Gray dan Rad adalah satuan yang digunakan untuk menyatakan keaktifan yakni jumlah (dosis) radiasi yang diserap oleh suatu materi. Rad adalah singkatan dari irradiation absorbed dose. Dalam sistem satuan SI, dosis dinyatakan dengan Gray (Gy). Satu Gray adalah absorpsi 1 joule per kilogram materi. $1\text{ Gy} = 1\text{ J/kg}$ Satu rad adalah absorpsi 10^{-3} joule energi/gram jaringan. $1\text{ Rd} = 10^{-3}\text{ J/g}$ Hubungan grey dengan rad $1\text{ Gy} = 100\text{ rd}$

3. Rem

Daya perusak dari sinar-sinar radioaktif tidak saja bergantung pada dosis tetapi juga pada jenis radiasi itu sendiri. Neutron, sebagai contoh, lebih berbahaya daripada sinar beta dengan dosis dan intensitas yang sama. Rem adalah satuan dosis setelah memperhitungkan pengaruh radiasi pada makhluk hidup (rem adalah singkatan dari radiation equivalent for man).

H. Hukum-Hukum Radioaktivitas

Contoh: $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} + ^4_2\text{He}$

Jumlah atom Ra pada saat 0 adalah N :

$$\frac{dn}{dt} = -\lambda N$$

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

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

λ = tetapan disintegrasi

$T_{1/2}$ = waktu paruh, yaitu waktu yang telah berlalu dimana jumlah atomnya tinggal setengah dari jumlah atom semula.

N_0 = Jumlah atom, zat radioaktif (pada contoh di atas Radium-226 pada $t = 0$)

Hubungan antara massa dan jumlah atom adalah :

$$N = \frac{m}{A} N_A$$

m = massa zat radioaktif yang nomor massanya A

N_A = bilangan Avogadro

$$= 6,02 \times 10^{26} \frac{\text{atom}}{\text{kgat}} = 6,02 \times 10^{26} \frac{\text{atom}}{\text{grat}}$$

Dengan memasukan $N = \frac{m}{A} N_A$ pada $N = N_0 e^{-\lambda t}$ maka

diperoleh $m = m_0 e^{-\lambda t}$

Zat radioaktif mempunyai aktivitas, yaitu jumlah atom yang akan berdisintegrasi menjadi zat yang lain dalam waktu satu detik pertama dari saat ditinjau. Jadi

$$\text{Aktivitas}(A_k) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N$$

Jika unsur radioaktif berubah menjadi unsur radioaktif yang lain, dan unsur radioaktif yang kedua berdisintegrasi dengan sendirinya menjadi unsure ketiga yang stabil. Sebagai contoh kita tinjau radioaktivitas yang terjadi

${}_{88}^{26}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{22}\text{Rn} + \alpha, \alpha = \text{inti } {}_2^4\text{He}$ dalam reaksinya ditulis

${}_{88}^{26}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{22}\text{Rn} + {}_2^4\text{He}$. Jumlah atom pada suatu saat N :

dN = pertambahan jumlah atom pada suatu saat t

$-dN$ = pengurangan jumlah atom pada saat t

$$-\frac{dN}{dt} = \text{laju pengurangan jumlah atom pada saat } t$$

Laju pengurangan jumlah atom pada saat t sebanding dengan jumlah atom yang ada pada saat t , maka

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \text{ dengan } \lambda \text{ adalah tetapan perbandingan yang}$$

juga disebut dengan tetapan disintegrasi. Jika persamaan tersebut diselesaikan maka,

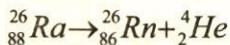
$$\begin{aligned} -\frac{dN}{dt} &= \lambda N \\ \frac{dN}{dt} &= -\lambda N \\ \int \frac{dN}{N} &= \int -\lambda dt \end{aligned}$$

$\ln N = -\lambda t + C$, pada saat $t = 0$ jumlah atom zat Radioaktif adalah N_0 , maka

$$\begin{aligned} \ln N_0 &= -\lambda(0) + C \\ \ln N &= -\lambda t + \ln N_0 \\ \ln \frac{N}{N_0} &= \ln e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

N_0 menggambarkan Jumlah inti radioaktif pada $t = 0$. Persamaan hasil penyelesaian itu dapat digunakan sebagai rumus peluruhan dan dapat digunakan untuk menentukan jumlah atom-atom dari jenis aslinya yang masih ada pada sembarang waktu.

Untuk menentukan jumlah atom Rn yang diperoleh dan α yang dipancarkan dari peluruhan Ra di atas maka, atom Ra dimisalkan dengan N_1 , Rn dengan N_2 , dan α dengan N_3 .



$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{01} e^{-\lambda_1 t}$$

$$\int dN_2 = \int \lambda_1 N_{01} e^{-\lambda_1 t} dt$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_{01}}{\lambda_1} \int e^{-\lambda_1 t} d(-\lambda_1 t)$$

$$N_2 = -N_{01} e^{-\lambda_1 t} + C_2$$

Jika peninjauan kita dimulai dan $t=0$, Rn^{222} belum ada maka

$$0 = -N_{01} e^{-\lambda_1 \cdot 0} + C_2 \rightarrow C_2 = N_{01}$$

$$\therefore N_2 = N_{01} - N_{01} e^{-\lambda_1 t}$$

Jadi dalam hal peninjauan kita dari saat yang ada hanya Radium, yang lain belum ada. Radium pada $t=0=N_{01}$ Pada saat $t = N_{01} e^{-\lambda_1 t} = N_{01} e^{-\lambda_1 t}$ jadi yang hilang dari $t=0$ hingga $t = t$ adalah $N_{01} - N_{01} e^{-\lambda_1 t}$

Dan yang hilang ini menjadi Radon dan menjadi α yang dipancarkan. Peninjauan tidak harus sejak saat

radioaktif itu mulai ada bersama adanya dunia. Misalnya peninjauan kita sekarang ada 2 mg radium

$$N_{01} = \left(\frac{W}{A} \right) N_a$$

$$= \frac{2 \times 10^{-6}}{226} 6,02 \times 10^{26}$$

Dan radonnya sudah ada, maka

$$N_2 = -N_{01} e^{-\lambda_1 t} + c_2$$

Pada $t = 0$, $N_2 = N_{20}$

$$N_{20} = -N_{01} e^0 + c_2$$

$$c_2 = N_{20} + N_{01}$$

Maka $N_2 = N_{01} - N_{01} e^{-\lambda_1 t} + N_{02}$, N_{02} adalah radon semula pada $t=0$ dan $N_{01} - N_{01} e^{-\lambda_1 t}$ adalah hasil penambahan radon dari radium yang berdisintegrasi. Partikel α adalah partikel yang dipancarkan, jadi setelah keluar dari badannya Radium hilang, sedangkan Radon masih menempel pada badannya Radium. Jadi $N_{01} - N_{01} e^{-\lambda_1 t}$ adalah jumlah α yang dipancarkan selama t .

Contoh soal :

Aktivitas sampel radionuklida yang diukur setiap jam adalah sebagai berikut :

t (jam)	0	1	2	3	4
A(MBq)	80,5	36,2	16,3	7,3	3,3

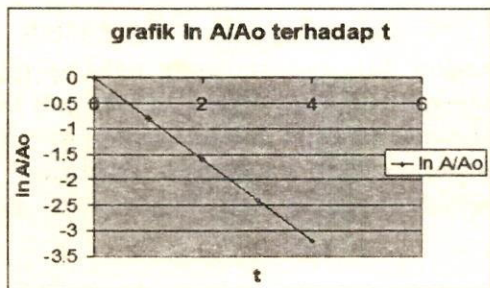
- a) Tunjukkan bahwa $\ln \frac{A}{A_0} = -\lambda t$
- b) Buatlah grafik $\ln \frac{A}{A_0}$ terhadap waktu t .
- c) Berdasarkan grafik tersebut tentukan tetapan disintegrasi dan umur paruh sampel radioaktif tersebut.

Penyelesaian :

$$a) A = A_0 e^{-\lambda t} \Leftrightarrow \frac{A}{A_0} = e^{-\lambda t} \Leftrightarrow \ln \frac{A}{A_0} = \ln e^{-\lambda t} \Leftrightarrow \ln \frac{A}{A_0} = -\lambda t$$

t (jam)	0	1	2	3	4
Ln A/A ₀	0	-0,8	-1,6	-2,4	-3,2

- b) Grafik $\ln A/A_0$ terhadap t



- c) Penentuan tetapan disintegrasi dan waktu paruh

$$m = \frac{-3,2 - (-0,8)}{(4-1) \text{ jam}} = \frac{-2,4}{3} = -0,8 \text{ jam}^{-1}$$

$$\lambda = -m = 0,8 \text{ jam}^{-1}$$

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} = \frac{0,693}{0,8} = 0,86625 \text{ jam}$$

Contoh soal :

Sebatang tanaman purba mengandung $^{14}_6\text{C}$ dengan aktivitas 13 disintegrasi per menit per gram karbon. Aktivitas tanaman yang masih hidup adalah 16 disintegrasi per menit per gram. Tentukan, setelah berapa lamakah pohon tersebut mati ?

Penyelesaian :

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_0}{A} = \frac{5760 \text{ tahun}}{0,693} \ln \frac{16}{13} = 1726 \text{ tahun}$$

Contoh soal :

Berapakah aktivitas radon sebanyak 1 mg jika radon memiliki waktu paruh 3,8 hari?

Penyelesaian :

Konstanta peluruhan radon adalah

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{3,8 \text{ hari} \times 86,400 \text{ sekon / hari}} = 2,1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Banyaknya inti N dalam 1mg ^{222}R adalah

$$N = \frac{10^{-6} \text{ kg}}{222 \text{ u} \times (1,66 \times 10^{-27} \text{ kg / u})} = 2,7 \times 10^{18} \text{ inti}$$

$$R = \lambda N = (2,1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}) \times (2,7 \times 10^{18} \text{ inti})$$

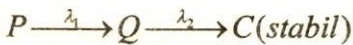
$$= 5,7 \times 10^{12} \text{ kejadian/sekon} = 153 \text{ Ci}$$

I. Deret Peluruhan

Unsur-unsur berat diperlihatkan dengan besarnya kuantitas proton dan neutron dalam inti (neukleon) atau sering dinamakan nomor massa (A). Jika nomor massa suatu unsur berbeda maka perbedaan tersebut terletak pada jumlah neutron (N) dalam neukleon. Inti-inti atom dengan nomor

atom (Z) sama dan nomor massa yang berbeda dinamakan *isotop*. Sebagai contoh, hidrogen memiliki tiga isotop. Hidrogen biasa ($Z=1, A=1$), deuterium ($Z=1, A=2$), dan isotop radioaktif tritium ($Z=1, A=3$). Semua isotop ini ditunjukkan dengan lambang kimia H. perbedaan jumlah neutron dan proton akan mengganggu kestabilan neukleon, sehingga sebuah unsur bersifat radioaktif. Isotop-isotop yang tidak stabil ini dinamakan *radioisotop*.

Jika unsur radioaktif berubah menjadi unsur radioaktif yang lain, dan unsur radioaktif yang kedua berintegrasi dengan sendirinya menjadi unsur ketiga yang stabil, dan andaikan pada $t = 0$ yang ada hanya zat radioaktif pertama, maka : (Sugimin W.W dalam Fisika Reaktor, 2000)



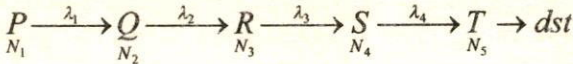
Jika jumlah atom P, Q, C berturut-turut N_1, N_2, N_3 . Waktu paruh P adalah T_1 , waktu paruh Q adalah T_2 , sedangkan unsur C stabil, maka :

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= -\lambda_1 N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} &= \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \\ \frac{dN_3}{dt} &= \lambda_2 N_2 \end{aligned}$$

Penyelesaian persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{01} e^{-\lambda_1 t} \\ N_2 &= \frac{\lambda_1 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \\ N_3 &= N_{01} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \end{aligned}$$

Jika deret radioaktif sangat panjang, maka penyelesaian persamaan matematikanya sangat panjang, tetapi dapat didekati dengan penyelesaian menurut Bateman yaitu,



Persamaanya adalah :

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= -\lambda_1 N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} &= \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \\ \frac{dN_3}{dt} &= \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3 \\ \frac{dN_n}{dt} &= \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n \end{aligned}$$

Menurut Bateman penyelesaiannya adalah :

$$\frac{N_n}{N_{01}} = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + C_3 e^{-\lambda_3 t} \dots C_n e^{-\lambda_n t}$$

$$\text{dengan } C_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)}$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_4 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)}$$

$$C_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)(\lambda_4 - \lambda_3) \dots (\lambda_n - \lambda_3)}$$

$$C_n = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)}$$

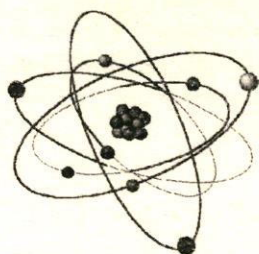
Rumus-rumus tersebut hanya berlaku untuk $N_1 = N_{01}$ pada $t = 0$, unsur yang lain belum ada.

Proses radioaktif mengubah nomor massa sebuah inti atom sebanyak empat satuan (peluruhan alfa) atau sama sekali tidak mengubah A (peluruhan beta atau gamma). Suatu proses peluruhan radioaktif dapat merupakan bagian dari suatu urutan atau *deret peluruhan* jika suatu unsur radioaktif dengan nomor massa A atau $A - 4$. Deretan proses tersebut akan terus berlangsung hingga tercapai suatu unsur yang stabil. Nilai-nilai A dari anggota rantai peluruhan seperti itu berbeda sebesar kelipatan 4 termasuk 0 sebagai suatu kelipatan yang mungkin. Hasilnya adalah diperkirakan terdapat empat rantai peluruhan yang mungkin dengan masing-masing nilai A dapat dinyatakan sebagai $4n$, $4n + 1$, $4n + 2$, dan $4n + 3$. Empat deret radioaktif alam dituliskan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4.1. Deret Radioaktif

Deret	Nomor Massa	Inti induk	Waktu Paruh (tahun)	Produk Inti stabil
Thorium	$4n$	Th^{232}	$1,39 \cdot 10^{10}$	Pb^{208}
Neptunium,	$4n+1$	Np^{237}	$2,25 \cdot 10^6$	Bi^{209}
Uranium	$4n+2$	U^{238}	$4,51 \cdot 10^9$	Pb^{206}
Aktinium	$4n+3$	U^{235}	$7,7 \cdot 10^8$	Pb^{207}

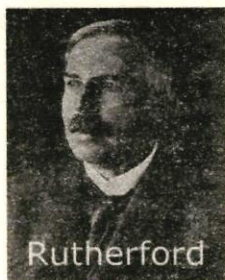
(Sumber: Y. Wiyatmo, *Fisika Nuklir dalam Telaah Semi-Klasik &*



BAB V

Reaksi Inti Atom

A. Definisi dan Notasi Reaksi Inti



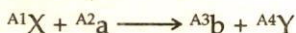
Gambar 7. Ernest Rutherford
<http://www.biografiasyvidas.com>

Reaksi Inti adalah proses perubahan yang terjadi dalam inti atom akibat tumbukan dengan partikel lain atau berlangsung dengan sendirinya. Reaksi inti ditemukan oleh Rutherford pada tahun 1919.

Reaksi inti adalah transformasi inti, karena inti ditembaki oleh suatu projektil, yang dapat berupa inti-inti ringan, nukleon bebas, atau foton dengan energi yang sesuai. Reaksi inti berlangsung sangat cepat, dalam waktu 10^{-12} detik atau kurang, menghasilkan satu atau lebih inti baru dan mungkin juga partikel lain.

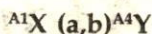
Reaksi inti dinyatakan dengan suatu persamaan, yang menyeimbangkan pereaksi dengan hasil reaksi. Bertindak sebagai pereaksi adalah inti sasaran (target) dan projektil, sedangkan hasil reaksi adalah inti baru yang terbentuk dan partikel yang dibebaskan. Untuk menyederhanakan

persamaan, nomor atom Z dapat tidak dituliskan, karena Z bersifat khas bagi masing-masing unsur maupun partikel. Dengan demikian secara umum bentuk persamaan reaksi inti adalah :



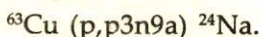
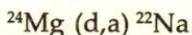
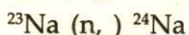
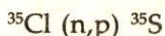
Target + projektil \longrightarrow partikel hasil + inti baru (hasil)

Menurut Bethe, suatu persamaan reaksi inti secara sederhana dinyatakan dengan notasi :



Dimana X menyatakan inti sasaran, a adalah partikel penembak (projektil atau misil), b adalah partikel yang dibebaskan dalam reaksi dan Y adalah inti hasil atau recoil. Disini, inti sasaran dituliskan pertama dan inti hasil terakhir, sedangkan projektil dan partikel yang dibebaskan diletakkan di dalam tanda kurung dan dipisahkan dengan koma.

Contoh :



Sebagai contoh, reaksi inti yang pertama kali diamati (oleh Rutherford pada tahun 1919) adalah

$${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^{17}_8\text{O} \quad \text{atau} \quad {}^{14}_7\text{N}(a,p){}^{17}_8\text{O}$$

Reaksi fisi yang terjadi antara neutron dengan isotop uranium (${}^{235}\text{U}$) dalam reaktor nuklir dapat digambarkan sebagai berikut: Neutron dengan energi berkisar 0,025 eV akan bereaksi dengan atom ${}^{235}\text{U}$ menjadi ${}^{236}\text{U}$ yang sangat tidak stabil, kemudian dalam waktu sangat singkat ${}^{236}\text{U}$ pecah (*fision*) menjadi dua buah produk fisi X_1 dan X_2 serta neutron dan energi. Reaksi ini dapat dirumuskan sebagai berikut: $n + {}^{235}\text{U} \rightarrow {}^{236}\text{U} \rightarrow X_1 + X_2 + n + E$

Energi dari reaksi fisi (E) sebagian besar akan dibawa oleh produk fisi dalam bentuk energi kinetik yang

terdeposisikan di dalam medium bahan bakar nuklir dalam bentuk panas akibat pergerakan produk fisi. Energi panas ini kemudian diambil untuk pembangkitan energi listrik pada sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Pengambilan panas dari inti reaktor bisa dengan mempergunakan media air, seperti yang umum dipergunakan pada PLTN saat ini.

B. Jenis-jenis Reaksi Inti

Suatu cara untuk menyederhanakan penamaan reaksi inti hanyalah dengan menyebutkan (a,b) pada inti sasaran. Jadi, untuk reaksi $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$, disebut reaksi (n,p) pada ^{35}Cl .

Berdasarkan sifat-sifat dari a dan b maka reaksi-reaksi inti dibedakan ke dalam beberapa jenis seperti diuraikan berikut ini.

1. Hamburan Elastis

Pada penembakan inti, dimana hasilnya $a = b$ dan $X = Y$, disebut peristiwa hamburan elastis. Partikel penembak menumbuk inti sasaran, ia kehilangan sebagian energi kinetiknya, yang dialihkan pada inti sasaran. Tidak terjadi perubahan energi potensial total, dan energi kinetiknya kekal.

Jumlah energi yang ditransfer ke inti sasaran dapat dihitung dengan rumus

$$E_M = \frac{4 m M \sin^2 \theta / 2}{(m + M)^2} E_m$$

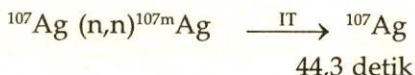
Dimana E_m adalah energi kinetik awal dari partikel penembak dengan massa m , dan E_M adalah energi kinetik yang diterima oleh inti sasaran dengan massa M . Teta (θ) adalah besar sudut penyimpangan dari arah datang semula dengan arah setelah menumbuk inti sasaran.

Hamburan elastik digunakan dalam perlambatan neutron cepat oleh moderator di dalam reaktor nuklir.

2. Hamburan Inelastik

Suatu proses penghamburan dianggap inelastik jika sebagian energi kinetik partikel misil digunakan untuk menaikkan energi potensial inti sasaran, antara lain berupa eksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Dalam kasus ini energi kinetik sistem tidak kekal.

Contoh :



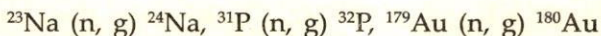
3. Reaksi Photonuklir

Reaksi-reaksi inti yang diinduksi oleh sinar-X atau photon γ berenergi tinggi (>1 MeV) dipandang sebagai reaksi-reaksi photonuklir. Dalam reaksi ini $a = \gamma$ dan b lebih sering adalah n atau p dan bila menggunakan photon dengan energi sangat tinggi maka b kemungkinan besar adalah d , t atau α atau bahkan campuran partikel-partikel.

4. Tangkapan Radiaktif

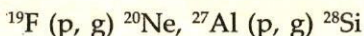
Bila partikel misil diserap oleh inti sasaran, inti sasaran tereksitasi yang kemudian memancarkan radiasi satu atau lebih photon gamma (γ). Reaksi yang paling umum adalah (n, γ) , dimana hasilnya adalah isotop dari inti sasaran yang massanya satu satuan massa lebih besar.

Contoh :



Selain reaksi (n, γ) ada pula reaksi (p, γ) , tetapi disini inti hasilnya bukan isotop dari inti sasaran.

Contoh :



Reaksi inti jenis lain meliputi reaksi (n,p), (p,n), (n, a), (a,n), (d,p), (d,n), (a,t).

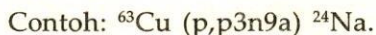
5. Reaksi inti spesial

Dalam reaksi-reaksi yang telah disebutkan terdahulu, perbedaan massa inti sasaran dengan inti hasil hanya satu atau beberapa unit massa. Ada sejumlah reaksi inti yang mengakibatkan inti sasaran tersobek-sobek atau terpecah menjadi dua bagian yang massanya lebih kurang sama. Masuk dalam kelompok reaksi demikian adalah :

- a. **Penguapan** (evaporation), yaitu bila berbagai nukleon dan atau gabungan nukleon seperti partikel alpha meninggalkan inti sasaran.

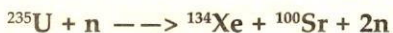


- b. **Spalasi**, yaitu reaksi yang sedikit lebih hebat dari evaporasi. Sejumlah besar nukleon dilemparkan keluar dan hasilnya jauh lebih ringan dari inti sasaran.



- c. **Fisi**, yaitu suatu proses dimana inti yang tereksitasi oleh neutron atau cara lain, membelah menjadi dua bagian yang massanya seimbang.

Contoh :



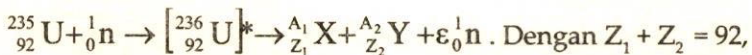
<http://nuclearcommunity.blogspot.com>

Gambar 5.2. Reaksi Inti Fisi

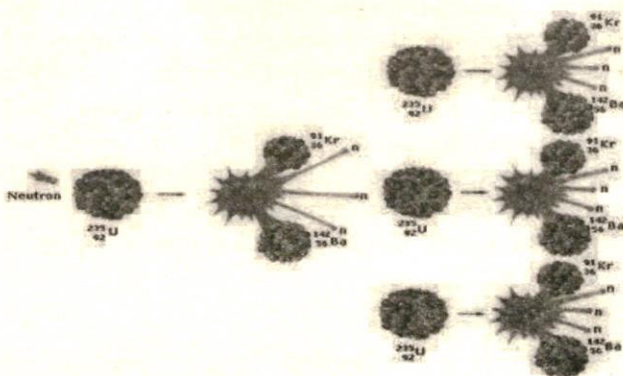
Salah satu reaksi inti yang paling praktis adalah pembentukan inti majemuk apabila sebuah inti dengan $A > 230$ menyerap sebuah neutron. Kebanyakan inti majemuk ini kemudian akan membelah diri ke dalam dua fragmen (*fragment*) inti bermassa sedang (*medium-mass*) dan neutron tambahan. Jenis reaksi inti ini disebut fisi inti (*nuclear fission*).

Dalam sebuah reaktor atom, jumlah fisi per satuan waktu dikendalikan oleh penyerapan kelebihan neutron, sehingga secara rata-rata, satu neutron dari tiap-tiap fisi menghasilkan suatu fisi baru. Panas yang dibebaskan oleh reaksi inti ini kemudian digunakan untuk menghasilkan uap air guna membangkitkan turbin pembangkit tenaga listrik. Jika reaksinya tidak terkendali, sehingga tiap fisi menghasilkan lebih dari satu neutron yang kemudian masing-masing memungkinkan terjadinya fisi-fisi berikutnya, maka jumlah fisi yang terjadi akan meningkat sesuai dengan deret ukur. Akibatnya, semua energi sumber akan terbebaskan dalam selang waktu yang sangat singkat, sehingga menimbulkan ledakan bom nuklir.

Salah satu reaksi fisi yang khas adalah:



$A_1 + A_2 + \hat{I} = 236$, dan \hat{I} sebuah bilangan bulat. Perbandingan masa antara fragmen-fragmen, M_1/M_2 , secara eksperimen diperoleh kurang lebih $3/2$. Bilangan ϵ yang menyatakan jumlah neutron yang dibebaskan dalam fisi sebuah unsur atau inti tertentu bergantung pada fragmen-fragmen akhir yang dihasilkan.



Sumber: <http://www.rizkyagung.com>

Gambar 5.3. Reaksi inti fisi berantai

Probabilitas reaksi dapat pula dinyatakan sebagai probabilitas untuk menemukan partikel b pada partikel datang a atau $\frac{I}{I_0}$. Persamaan rumusnya adalah

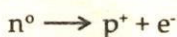
$$\frac{I}{I_0} = \frac{\sigma N}{A}$$

dimana s = luas efektif dan N = jumlah inti atom.

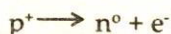
6. Inti Gabung

Neutron tidak bermuatan dan memiliki momen magnetik yang sangat kecil, sehingga dalam perjalanannya neutron tidak berinteraksi dengan elektron atomik, tetapi hanya berinteraksi dengan intinya. Neutron dapat berinteraksi dengan inti secara elastis (energi kinetiknya kekal) atau secara tak elastis. Jika tumbukannya tak elastis, inti ditinggalkan dalam keadaan tereksitasi, kemudian energi eksitasinya dikeluarkan dalam peluruhan gamma.

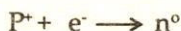
Tidak setiap gabungan neutron dan proton menjadi sebuah inti mantap. Pada umumnya, inti ringan ($A < 20$) mengandung jumlah neutron dan proton yang hampir sama, sedangkan pada inti , berat proporsi neutron bertambah besar. Karena partikel alfa terdiri dari dua proton dan dua neutron, peluruhan alfa mereduksi Z dan N inti induk, masing-masing dengan dua. Dalam peluruhan beta negatif, neutron bertransformasi menjadi proton dan elektron :



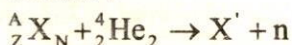
Elektronnya meninggalkan inti dan teramati sebagai "partikel beta". Dalam peluruhan beta positif, sebuah proton menjadi sebuah neutron dan sebuah positron dipancarkan :



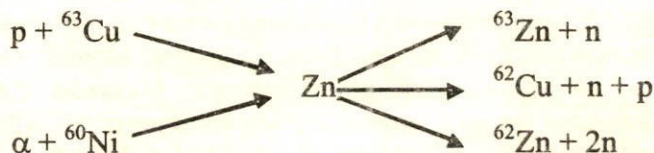
Jadi, peluruhan beta negatif mengurangi proporsi neutron, dan peluruhan beta positif menambahnya. Elektron diabsorpsi oleh proton nuklir yang bertransformasi menjadi neutron :



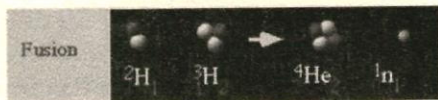
Salah satu contoh dari reaksi inti gabung adalah sebagai berikut :



Makin banyak energi yang diberikan pada inti, semakin banyak neutron yang kita dapati melingkari inti.



Salah satu contoh reaksi inti dengan inti gabung adalah reaksi fusi. Misal pada ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \longrightarrow {}^4\text{He} + \text{n}$



<http://nuclearcommunity.blogspot.com>

Gambar 5.4. Reaksi fusi

Reaksi fusi (fusion) adalah suatu reaksi inti ketika dua inti atau inti-inti yang relatif ringan ($A < 20$) bergabung membentuk suatu inti yang lebih berat, dengan hasil pembebasan energi. Salah satu contoh reaksi fusi adalah pembentukan sebuah detron dari sebuah proton dan sebuah neutron :



Reaksi fusi yang lainnya adalah pembentukan sebuah partikel α oleh fusi dua buah detron.



Meskipun energi-energi ini lebih kecil dari yang dibebaskan dalam suatu reaksi fisi khas ($\gg 200 \text{ MeV}$), tetapi energi per satuan massanya lebih besar sebab massa partikel-partikel yang terlibat lebih kecil.

Pembebasan energi dalam fusi menunjukkan bahwa untuk inti-inti ringan, energi ikat per nukleon (partikel inti) pada umumnya meningkat dengan bertambahnya nomor massa A . Sebagai akibatnya, inti yang lebih berat yang dibentuk dari dua inti yang lebih ringan memiliki energi ikat per nukleon yang lebih besar dari yang dimiliki masing-masing inti semula. Tetapi energi ikat per nukleon yang lebih besar dari yang dimiliki masing-masing inti semula. Tetapi energi ikat yang lebih tinggi berarti massa diam yang bersangkutan lebih rendah.

C. Kinematika Reaksi Energi Rendah

Dalam reaksi inti, energi seringkali dilepaskan atau diserap. Suatu reaksi melepas energi berarti energi kinetik partikel-partikel setelah reaksi lebih besar dari energi kinetik partikel-partikel sebelum reaksi. Penambahan energi ini datang dari perubahan energi diam menjadi energi kinetik. Jumlah energi yang dilepas diukur oleh nilai Q reaksi inti, yang didefinisikan sebagai selisih antara energi kinetik akhir dan awal.

Dalam sistem laboratorium, energi kinetik total timbul dari partikel datang saja :

$$K_{\text{lab}} = \frac{1}{2} m_A V^2 \quad (\text{energi kinetik dalam sistem lempengan})$$

Dalam sistem pusat massa, kedua partikel bergerak dan memberikan kontribusi pada energi kinetik total.

$$\begin{aligned} K_{\text{cm}} &= \frac{1}{2} m_A (v-V)^2 + \frac{1}{2} m_B V^2 \\ &= \frac{1}{2} m_A v^2 - \frac{1}{2} (m_A - m_B) V^2 \\ &= K - \frac{1}{2} (m_A - m_B) V^2 \\ &= \left(\frac{m_B}{m_A + m_B} \right) K_{\text{lab}} \quad (\text{energi kinetik dalam sistem pusat massa}) \end{aligned}$$

Energi kinetik total partikel relatif terhadap pusat massanya ialah energi kinetik total dalam sistem laboratorium dikurangi energi kinetik $\frac{1}{2} (m_A + m_B) V^2$ dari pusat massa yang bergerak. Jadi dapat dianggap bahwa K_{cm} sebagai energi kinetik gerak relatif partikel itu. Jika partikel bertumbukan, energi kinetik maksimum yang dapat berubah menjadi energi eksitasi dari inti majemuk yang terjadi dengan tetap mempertahankan kekekalan momentum ialah K_{cm} yang lebih kecil dari K_{lab} .

Harga Q suatu reaksi nuklir :

$$Q = [(m_A + m_B) - (m_C + m_D)] c^2$$

$$= [(m_A + m_B - m_C - m_D)] c^2$$

Jika Q merupakan kuantitas positif, energi dilepaskan oleh reaksi itu. Jika Q kuantitas negatif energi kinetik dalam sistem pusat massa cukup besar harus diberikan oleh partikel-partikel yang bereaksi sehingga

$$K_{cm} + Q \geq 0$$

D. Energi Ambang Reaksi Inti

Untuk reaksi-reaksi eksoergik, nampaknya tidak diperlukan nilai ambang, tetapi sering di dalam praktek menghadapi energi penghalang tertentu terdapat energi ambang minimum.

Dalam hal reaksi endoergik, energi ambang sekurang-kurangnya sama dengan $-Q$. Ini harus dalam bentuk energi

kinetik projektil. Fraksi $\left[\frac{m}{m+M} \right] E_a$, energi kinetik projektil diperlukan untuk translasi inti senyawa.

Dengan demikian suatu reaksi hanya akan berlangsung apabila :

$$\left[\frac{m}{m+M} \right] E_a \geq Q \text{ Atau energi ambang } E_0^3 (1+m/M)Q$$

Jadi, bila detron dipercepat dengan energi 8 MeV, menumbuk inti Mg, maka energi yang tersedia untuk mempengaruhi reaksi inti $^{24}\text{Mg} (d,a)^{22}\text{Na}$, hanya ada sebesar

$\left[\frac{24}{2+24} \right] 8 = 7,38 \text{ MeV}$ yang sama dengan energi kinetik pada CMS.

Contoh Soal :

1. $p + {}^{56}\text{Fe} \longrightarrow n + {}^{56}\text{Co}$. Sasaran (tebal lempeng) 1 mm. $s = 1,0$ cm, $I = 3$ mA. Jika berkasnya tersebar merata pada seluruh permukaan bahan sasaran, dengan laju berapakah berkas neutron dihasilkan? Diketahui r besi = $7,9$ gram/cm³, v sasaran = 1 cm x $1,0$ cm x 1 mm = 1×10^{-4} cm³

Penyelesaian :

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ sehingga } m = r \times v.$$

$$m = 7,9 \times 10^{-4} \text{ gram (massa sasaran)}$$

$$n = \frac{\text{gram}}{Mr} = \frac{7,9 \times 10^{-4}}{56} = 1,4 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

$$N = n \times N_A$$

$$= 1,4 \times 10^{-5} \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$= 8,428 \times 10^{18} \text{ partikel}$$

$$I_0 = \frac{3 \times 10^{-6} \text{ c/s}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ c/partikel}} = 1,9 \times 10^{13} \text{ partikel/s}$$

$$I = \frac{N \sigma I_0}{A} = 9,7 \times 10^7 \text{ partikel/s}$$

2. Berapakah aktivitas 1gram ${}^{226}_{8}\text{Ra}$, yang waktu paruhnya adalah 1622 tahun?

Penyelesaian :

Jumlah atom dalam 1 gram radium adalah

$$N = 1 \text{ gram} \left(\frac{1 \text{ g/mol}}{226 \text{ gram}} \right) \left(6,025 \times 10^{23} \text{ atom/g/mol} \right) = 2,666 \times 10^{21}$$

μm Tetapan peluruhan berhubungan dengan waktu hidup melalui

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} = \left(\frac{0,693}{1622 \text{ tahun}} \right) \left(\frac{1 \text{ tahun}}{365 \text{ hari}} \right) \left(\frac{1 \text{ hari}}{8,64 \times 10^4 \text{ detik}} \right) = 1,355 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$$

maka aktivitasnya diperoleh dari

$$\text{aktivitas} = I N$$

$$= (1,355 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}) (2,666 \times 10^{21})$$

$$= 3,612 \times 10^{10} \text{ disintegrasi/s}$$

3. Tunjukkan bahwa inti ${}^{236}_{94}\text{Pu}$ adalah tak stabil dan akan mengalami peluruhan α .

Penyelesaian :

Agar reaksi inti ${}^{236}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{232}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He} + Q$ terjadi. Maka nilai Q -nya harus positif. Pemecahan untuk Q memberikan

$$\begin{aligned} Q &= (M_{\text{Pu}} - M_{\text{U}} - M_{\text{He}}) c^2 \\ &= (236,046071 \text{ u} - 232,037168 \text{ u} - 4,002603 \text{ u})(931,5 \text{ MeV/u}) \\ &= 5,87 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Oleh karena itu, inti ${}^{236}_{94}\text{Pu}$ dapat, dan memang pada kenyataannya, mengalami peluruhan α secara spontan.

4. Dalam proses fisi sebuah inti ${}^{235}_{92}\text{U}$ lewat penyerapan neutron membebaskan energi yang dapat dimanfaatkan sekitar 185 MeV. Jika dalam sebuah reaktor secara terus-menerus membangkitkan daya sebesar 100 MW, berapakah waktu yang diperlukan untuk menghabiskan 1 Kg uranium?

Penyelesaian :

Laju fisi yang berkaitan dengan keluaran daya yang diberikan ini adalah :

$$\left(10^8 \frac{\text{J}}{\text{det}} \right) \left(\frac{10^{-6} \text{MeV}}{1,6 \times 10^{-19} \text{J}} \right) \left(\frac{1 \text{Fisi}}{185 \text{MeV}} \right) = 3,38 \times 10^{18} \frac{\text{fisi}}{\text{det}}$$

Satu Kg ^{235}U mengandung

$$\left(\frac{1\text{Kg}}{235\text{Kg} / \text{Kmol}} \right) \left(6,023 \times 10^{26} \frac{\text{inti}}{\text{kmol}} \right) = 2,56 \times 10^{24} \text{ inti}$$

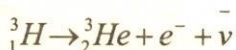
Dengan demikian ia akan terpakai habis dalam waktu

$$t = \frac{2,56 \times 10^{24}}{3,38 \times 10^{18} \text{ det}^{-1}} = 7,58 \times 10^5 \text{ det} = 8,78$$

5. Berapakah energi maksimum elektron yang dipancarkan dalam peluruhan β dari ^3_1H ?

Penyelesaian :

Reaksinya adalah :



$$\begin{aligned} Q &= (M_{\text{H}} - M_{\text{He}})c^2 \\ &= (3,016050 \text{ u} - 3,016030 \text{ u}) (931,5 \text{ MeV/u}) \\ &= 0,0186 \text{ MeV} = K_{\text{He}} + K_e + K_{\bar{\nu}} \end{aligned}$$

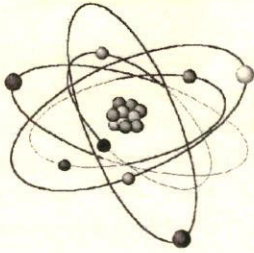
Karena massa neutrino nol dan $M_{\text{He}} \gg M_e$, maka energi kinetik inti He dapat diabaikan, sehingga energi sebesar 0,0186 MeV dibagi antara elektron dan neutrino. Apabila energi neutrino adalah nol, maka energi kinetik elektron dan memiliki nilai maksimum, yaitu 0,0186 MeV.

E. Aplikasi Radioaktifitas dan Radioisotop dalam Kehidupan

Pemanfaatan Radioisotop (isotop-isotop yang tidak stabil):

- a. Penggunaan radioisotop sebagai perunut (pencari jejak)
Contoh: I-123 ginjal, I-131 tiroid, paru-paru, Na-24 penyempitan pembuluh darah, C-14 diabetes dan anemia, Co-60 membunuh sel kanker, Cr-51 limpa,

- b. Pengobatan (membunuh sel kanker dengan radiotherapy),
- c. Sterilisasi (sinar gamma dapat membunuh bakteri),
- d. Industri (pengatur ketebalan kertas menggunakan radiasi sinar beta),
- e. Pertanian (pemandulan serangga pengganggu),
- f. Seni (detektor pemalsuan lukisan dan keramik),
- g. Penentuan umur dengan radioaktif (menggunakan pemancaran sinar beta).



BAB VI

Reaktor Nuklir

A. Definisi Reaktor

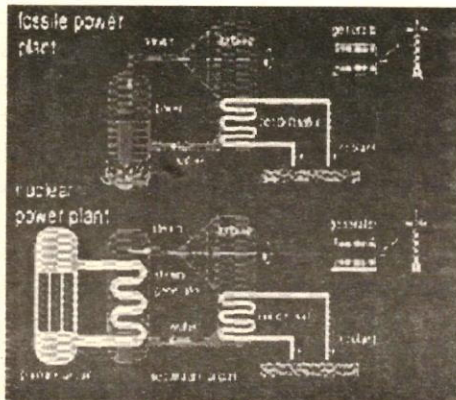
Reaktor nuklir adalah suatu alat untuk mengendalikan reaksi fisi berantai dan sekaligus menjaga kesinambungan reaksi itu. Reaktor nuklir ditetapkan sebagai "alat yang menggunakan materi nuklir sebagai bahan bakarnya. Materi fisi yang digunakan sebagai bahan bakar misalnya uranium, plutonium dan lain-lain. Untuk uranium digunakan uranium alam atau uranium diperkaya. Jadi secara umum reaktor nuklir adalah tempat berlangsungnya reaksi nuklir yang terkendali. Untuk mengendalikan operasi dan menghentikannya digunakan bahan penyerap neutron yang disebut batang kendali. Jenis reaktor nuklir dibedakan berdasarkan besarnya energi kinetik neutron yang merupakan faktor utama dalam reaksi fisi berantai, yaitu reaktor neutron panas, reaktor neutron cepat dan lain-lain. Berdasarkan jenis materi yang digunakan sebagai moderator dan pendingin, reaktor diklasifikasikan menjadi reaktor air ringan, reaktor air berat, reaktor grafit dan lain-lain. Berdasarkan tujuannya, diklasifikasikan menjadi reaktor riset, reaktor uji material, reaktor daya dan lain-lain.(www.batan.go.id)

B.Reaktor Nuklir

Dalam reaktor nuklir terjadi proses pemecahan inti atom atau yang lebih dikenal dengan proses fisi, yaitu bahan bakar dipecah dengan penembakan neutron. Pemecahan ini menghasilkan energi dan partikel-partikel. Energi yang dihasilkan sangat besar, yaitu sekitar 200 MeV, dan partikel dasar yaitu photon, elektron, dan neutron. Neutron yang baru terbentuk ini akan menembak atom disampingnya. Demikian seterusnya sehingga reaksi ini dinamakan reaksi berantai (*chain reaction*).

Tipe reaktor nuklir di dunia yang sering digunakan adalah tipe LWR (*Light Water Reactor*), tipe ini menggunakan air biasa sebagai moderator (pengontrol kecepatan neutron) sekaligus menghasilkan uap air yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin. Di Amerika, BWR (*Boiling Water Reactor*) dan PWR (*Pessurized Water Reactor*) adalah jenis LWR yang banyak digunakan.

Daya nuklir menghasilkan energi yang digunakan untuk pembangkit panas dan pembangkit listrik. Penggunaan daya nuklir guna kepentingan manusia saat ini masih terbatas pada reaksi fisi nuklir dan peluruhan radioaktif.



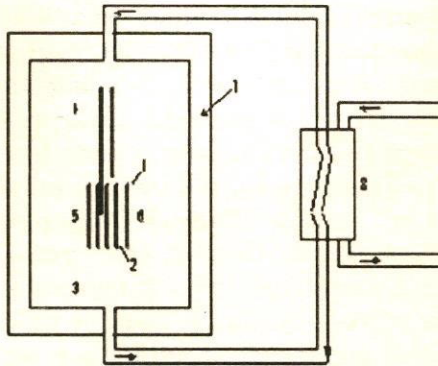
Sumber : <http://lh6.ggpht.com>
Gambar 6.1. Reaktor Nuklir

Reaktor nuklir adalah tempat terjadinya reaksi fisi berantai, diatur dan dijaga kesinambungannya pada laju yang tetap (berlawanan dengan bom nuklir dimana reaksi berantai terjadi pada orde pecahan detik, reaksi ini tidak terkontrol) dijaga kesinambungannya pada laju yang tetap. Reaktor nuklir digunakan untuk banyak tujuan. Saat ini, reaktor nuklir paling banyak digunakan untuk membangkitkan listrik dan reaktor penelitian yang digunakan untuk pembuatan radio isotop (isotop radioaktif) dan untuk penelitian. Awalnya, reaktor nuklir pertama digunakan untuk memproduksi plutonium sebagai bahan senjata nuklir.

C. Komponen-komponen Reaktor Nuklir

Untuk dapat mengendalikan laju pembelahan, suatu reaktor nuklir harus didukung dengan beberapa fasilitas yang disebut sebagai KOMPONEN REAKTOR . Komponen-komponen reaktor nuklir itu adalah :

1. Bahan bakar nuklir/bahan dapat belah
2. Bahan moderator
3. Pendingin reaktor
4. Perangkat batang kendali
5. Perangkat detektor
6. Reflektor
7. Perangkat bejana dan perisai reaktor
8. Perangkat penukar panas

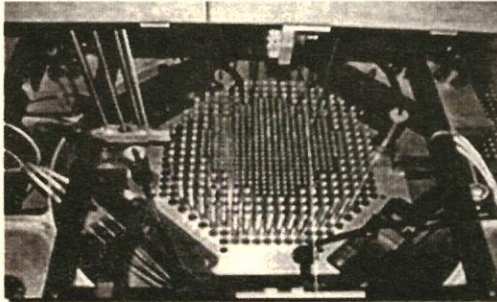


Sumber : <http://www.batan.go.id/>

Gambar 62. Komponen-komponen reaktor nuklir

Komponen No. 1 s/d 6 berada pada suatu lokasi yang disebut sebagai teras reaktor, yaitu suatu tempat dimana reaksi berantai tersebut berlangsung.

Sumber: <http://lh6.ggpht.com>



Gambar 6.3. Teras sebuah reaktor kecil yang digunakan untuk penelitian

1. Bahan Bakar Nuklir

Terdapat dua jenis bahan bakar nuklir yaitu BAHAN FISIL dan BAHAN FERTIL. Bahan Fisil ialah: suatu unsur/atom yang langsung dapat memberikan reaksi pembelahan

apabila dirinya menangkap neutron. Contoh: ${}_{92}\text{U}^{233}$, ${}_{92}\text{U}^{235}$, ${}_{94}\text{Pu}^{239}$, ${}_{94}\text{Pu}^{241}$.

Bahan Fertile ialah : suatu unsur /atom yang setelah menangkap neutron tidak dapat langsung membelah, tetapi membentuk bahan fisil. Contoh: ${}_{90}\text{Th}^{232}$, ${}_{92}\text{U}^{238}$

Pada kenyataannya sebagian besar bahan bakar nuklir yang berada di alam

adalah bahan fertile, sebagai contoh isotop Thorium di alam adalah 100% Th-232, sedangkan isotop Uranium hanya 0,7% saja yang merupakan bahan fisil (U-235), selebihnya sebesar 99,35 adalah bahan fertile (U-238).

Karena alasan fisis, elemen bakar suatu reaktor dibuat dengan kadar isotop fisilnya lebih besar dari kondisi alamnya, isotop yang demikian disebut sebagai isotop yang diperkaya, sedangkan sebaliknya untuk kadar isotop fisil yang lebih kecil dari kondisi alamnya disebut sebagai isotop yang susut kadar, biasanya ditemui pada elemen bakar bekas. Selain perubahan kadar bahan fisilnya, elemen bakar biasanya dibuat dalam bentuk oksida atau paduan logam dan bahkan pada dasawarsa terakhir ini sudah banyak dikembangkan dalam bentuk silisida. Contoh komposisi elemen bakar yang banyak dipakai: UO_2 , $\text{U}_3\text{O}_8\text{-Al}$, UzrH , $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$. Tujuan utama dibuatnya campuran tersebut adalah agar diperoleh elemen bakar yang nilai bakarnya tinggi, titik lelehnya tinggi, penghantaran panasnya baik, tahan korosi, tidak mudah retak serta mampu menahan produk fisi yang terlepas.

2. Bahan Moderator

Dalam reaksi fisi, neutron yang dapat menyebabkan reaksi pembelahan adalah neutron termal. Neutron tersebut memiliki energi sekitar 0,025 eV pada suhu 27°C. Sementara neutron yang lahir dari reaksi pembelahan memiliki energi rata-rata 2 MeV, jauh lebih besar dari energi termalnya.

Syarat bahan moderator adalah atom dengan nomor massa kecil. Syarat lainnya memiliki tampang lintang serapan neutron (keboleh-jadian menyerap neutron) yang kecil, memiliki tampang lintang hamburan yang besar dan memiliki daya hantara panas yang baik, serta tidak korosif. Contoh bahan moderator : H_2O , D_2O (Grafit), Berilium (Be).

3. Pendingin Reaktor

Pendingin reaktor berfungsi sebagai sarana pengambilan panas hasil fisi dari dalam elemen bakar untuk dipindahkan/dibuang ke tempat lain/lingkungan melalui perangkat penukar panas (H.E.). Sesuai dengan fungsinya maka bahan yang baik sebagai pendingin adalah fluida yang koefisien perpindahan panasnya sangat bagus. Persyaratan lain yang harus dipenuhi agar tidak mengganggu kelancaran proses fisi pada elemen bakar adalah pendingin juga harus memiliki tampang lintan serapan neutron yang kecil, dan tampang lintang hamburan yang besar serta tidak korosif. Contoh fluida-fluida yang biasa dipakai sebagai pendingin adalah: H_2O , D_2O , Na cair. Gas He dan lain-lain.

4. Batang Kendali Reaktor

Batang kendali berfungsi sebagai pengendali jalannya operasi reaktor agar laju pembelahan/populasi neutron di dalam teras reaktor dapat diatur sesuai dengan kondisi operasi yang dikehendaki. Selain itu, batang kendali juga berfungsi untuk memadamkan reaktor/menghentikan reaksi pembelahan. Sesuai dengan fungsinya, bahan batang kendali adalah material yang mempunyai tampang lintang serapan neutron yang sangat besar, dan tampang lintang hamburan yang kecil. Bahan-bahan yang sering dipakai adalah: Boron, cadmium, gadolinium dan lain-lain. Bahan-bahan tersebut biasanya dicampur dengan bahan lain agar

diperoleh sifat yang tahan radiasi, titik leleh yang tinggi dan tidak korosif.

Prinsip kerja pengaturan operasi adalah dengan jalan memasukkan dan mengeluarkan batang kendali ke dan dari teras reaktor. Jika batang kendali dimasukkan, maka sebagian besar neutron akan tertangkap olehnya, yang berarti populasi neutron di dalam reaktor akan berkurang dan kemudian padam. Sebaliknya jika batang kendali dikeluarkan dari teras, maka populasi neutron akan bertambah, dan akan mencapai tingkat jumlah tertentu. Pertambahan/penurunan populasi neutron berkait langsung dengan perubahan daya reaktor.

5. Perangkat Detektor

Detektor adalah komponen penunjang yang mutlak diperlukan di dalam reaktor nuklir. Semua informasi tentang kejadian fisis di dalam teras reaktor, yang meliputi popularitas neutron, laju pembelahan, suhu dan lain-lain hanya dapat dilihat melalui detektor yang dipasang didalam teras.

6. Reflektor

Neutron yang keluar dari pembelahan bahan fisis, berjalan dengan kecepatan tinggi ke segala arah. Karena sifatnya yang tidak bermuatan listrik maka gerakannya bebas menembus medium dan tidak berkurang bila tidak menumbuk suatu inti atom medium. Karena sifat itu, sebagian neutron dapat lolos keluar teras reaktor, atau hilang dari sistem. Keadaan ini secara ekonomi berarti kerugian, karena neutron tidak dapat digunakan untuk proses fisi berikutnya.

Untuk mengurangi kejadian ini, maka sekeliling teras reaktor dipasang bahan pemantul neutron yang disebut reflektor, sehingga neutron-neutron yang lolos akan

bertahan dan dikembalikan ke dalam teras untuk dimanfaatkan lagi pada proses fisi berikutnya.

Bahan-bahan reflektor yang baik adalah unsur-unsur yang mempunyai tampang lintang hamburan neutron yang besar, dan tampang lintang serapan yang sekecil mungkin serta tidak korosif. Bahan-bahan yang sering digunakan antara lain: Berilium, Grafit, Parafin, Air, D_2O .

7. Bejana dan Perisai Reaktor

Bejana/tangki reaktor berfungsi untuk menampung fluida pendingin agar teras reaktor selalu terendam didalamnya. Bejana tersebut selain harus kuat menahan beban, juga harus tidak korosif bila berinteraksi dengan pendingin atau benda lain di dalam teras. Bahan yang bisa digunakan adalah: aluminium, dan stainless steel.

Perisai reaktor berfungsi untuk menahan/menghambat/menyerap radiasi yang lolos dari teras reaktor agar tidak menerobos keluar sistem reaktor. Karena reaktor adalah sumber radiasi yang sangat potensial, maka diperlukan suatu sistem perisai yang mampu menahan semua jenis radiasi. Umumnya perisai yang digunakan adalah lapisan beton berat.

8. Perangkat Penukar Panas (*Heat exchanger/H.E*)

Perangkat penukar panas (*Heat exchanger*) merupakan komponen penunjang yang berfungsi sebagai sarana pengalihan panas dari pendingin primer, yang menerima panas dari elemen bakar untuk diberikan pada fluida pendingin yang lain (sekunder). Dengan sistem pengambilan panas tersebut maka integritas komponen teras akan selalu terjamin.

Pada jenis reaktor tertentu, terutama jenis PLTN, H.E. juga berfungsi sebagai fasilitas pembangkit uap.

D. Jenis-jenis Reaktor Nuklir

Klasifikasi reaktor dibedakan berdasarkan kegunaan, tenaga neutron dan nama komponen serta parameter operasinya.

1. Menurut kegunaan :

- Reaktor daya
- Reaktor riset termasuk uji material dan latihan
- Reaktor produksi isotop yang kadang-kadang digolongkan juga kedalam reaktor riset

2. Ditinjau dari tenaga neutron yang melangsungkan reaksi pembelahan, reaktor dibedakan atas:

- Reaktor cepat: GCFBR, LMFBR, SCFBR
- Reaktor thermal: PWR, BWR, PHWR, GCR.

3. Berdasarkan parameter yang lain dapat disebut:

- Reaktor berreflektor grafit: GCR, AGCR
- Reaktor berpendingin air ringan: PWR, BWR
- Reaktor suhu tinggi: HTGR

4. Reaktor Fisi

Reaktor fisi merupakan instalasi yang menghasilkan daya panas secara konstan dengan memanfaatkan reaksi fisi berantai. Istilah ini dibedakan dengan reaktor fusi yang memanfaatkan panas dari reaksi fusi. Dimungkinkan adanya reaktor yang memadukan kedua jenis tersebut (reaktor hibrid).

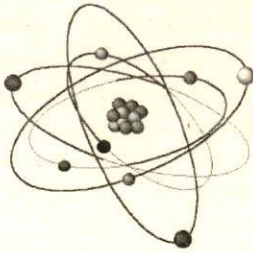
5. Reaktor Fusi

Reaktor fusi adalah suatu instalasi untuk mengubah energi yang terjadi pada reaksi fusi menjadi energi panas atau listrik yang mudah dimanfaatkan. Reaksi fusi merupakan reaksi penggabungan inti atom ringan, misalnya reaksi antara deuterium dan tritium. Deuterium sangat melimpah di alam, namun tritium tidak ada di alam ini. Oleh karena itu, bahan yang mengandung Li-

6 digunakan sebagai selimut, selanjutnya direaksikan dengan neutron yang terjadi dari reaksi fusi untuk menghasilkan tritium, sehingga diperoleh siklus bahan bakar. Sistem reaktor fusi terdiri dari bagian plasma teras, selimut, bejana vakum, magnet superkonduktor, dan lain-lain. Dibandingkan dengan reaktor fisi, reaktor fusi tidak akan mengalami lepas kendali, dan sedikit menghasilkan produk radioaktif, sehingga memiliki tingkat keselamatan yang tinggi.

6. Reaktor Penelitian

Reaktor riset/penelitian adalah suatu reaktor yang dimanfaatkan untuk berbagai macam tujuan penelitian. Misalnya reaktor uji material yang digunakan secara khusus untuk uji iradiasi, reaktor untuk eksperimen fisika reaktor, reaktor riset untuk penelitian dengan menggunakan berkas neutron dan alat eksperimen kekritisan, reaktor untuk pendidikan dan pelatihan. Di antara reaktor-reaktor tersebut, yang disebut reaktor riset pun terdiri dari berbagai macam, misalnya reaktor untuk eksperimen berkas neutron dan uji iradiasi material, reaktor untuk eksperimen perisai, reaktor untuk uji pulsa dan lain-lain. Tipe-tipe reaktor riset antara lain tipe kolam berpendingin dan bermoderator air berat, tipe kolam berpendingin dan bermoderator air ringan dan tipe kolam berpendingin air ringan dan bermoderator air berat.



BAB VII

Energi Nuklir

Sebuah reaktor merupakan sumber energi yang sangat efisien, fisi 1 g inti per hari melepaskan energi dengan laju sekitar 1 MW (10^6 W) jika bahan bakar batu bara memerlukan 2,6 ton baru menghasilkan energi 1 MW. Pada table dibawah ini akan lebih jelas tampak betapa energi yang dihasilkan oleh reaksi inti atom pada sebuah reactor jauh lebih besar dari sumber energi lain.

Tabel 7.1

Energi dari 1,0 kg bahan diukur dengan energi yang dihasilkan untuk mengoperasikan bola lampu 100 W

Bahan	Proses perolehan energi	Waktu menyalakan lampu 100 W
Air	Air terjun setinggi 50 m	5 detik
Batu bara	Pada proses pembakaran memerlukan 2,7 kg oksigen	8 jam
UO ₂ (diperkaya dengan 3% ²³⁵ U)	Fisi dalam sebuah reactor	680 tahun

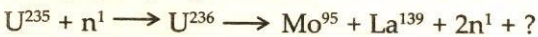
(Sumber: Halliday-Resnick, Fisika Modern (terjemahan) 1986 : 177)

Untuk menghitung energi yang dihasilkan dari reaksi nuklir, perubahan massa isotop sebelum dan sesudah reaksi diperhitungkan. Dimana jumlah massa yang hilang dikalikan dengan kuadrat kecepatan cahaya, hasilnya sama dengan energi yang dilepaskan dalam reaksi itu. Berikut contoh perhitungan energi yang dihasilkan dari reaksi fisi :

Tabel 7.2 . Isotop

No	Isotop	Massa(sma)
1	^{235}U	235,124
2	^1_0n	1,009
3	^{95}Mo	94,946
4	^{39}La	138,995
5	2^1_0n	2,018

Energi yang dipancarkan oleh fisi



$$235,124 + 1,009 \longrightarrow 94,946 + 138,995 + 2,018$$

$$236,133 \longrightarrow 235,919$$

$$\text{Massa hilang} = 236,133 - 235,919$$

$$= 0,214 \text{ sma}$$

$$E = mc^2$$

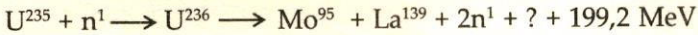
$$c^2 = 21,48 \text{ Mt TNT/Kg}$$

Massa 1 sma akan setara dengan 931.5 MeV

$$E = 0,214 \times 931.5 \text{ MeV}$$

$$E = 199,2 \text{ MeV}$$

$$E = 200 \text{ MeV (dibulatkan)}$$



Massa yang hilang sebanyak 0,09 %

$$0,09 \% \times \text{faktor } c^2 (21,48 \text{ Mt TNT/Kg}) = 1,95 \text{ kt/kg}$$

Jadi jumlah energi yang bisa dihasilkan melalui reaksi fisi nuklir berbahan materi

$$U^{235} + n^1 = 1,95 \text{ kt/kg} = 1950 \text{ ton TNT/kg}$$

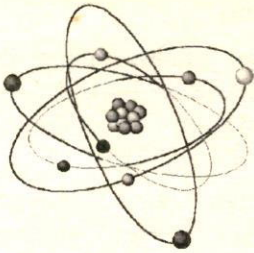
Rata-rata kandungan energi nuklir

Berikut adalah jumlah energi fisi nuklir yang bisa dihasilkan per kg materi:

Uranium-233: = 17800 Ton TNT/ kg

Uranium-235: = 17600 Ton TNT/ kg

Plutonium-239: = 17300 Ton TNT/ kg



BAB VIII

Keselamatan Reaktor Nuklir

A. Sistem Keselamatan Berlapis

Dalam teknologi reaktor dikenal istilah sistem keselamatan berlapis yaitu lapisan penghalang terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan. Sistem penghalang pada suatu reaktor daya, yaitu:

- Kristal bahan bakar
- Kelongsong elemen bakar
- Bejana tekan
- Bejana keselamatan
- Sistem penahan gas dan cairan aktif
- Perisai biologis
- Gedung reaktor
- Sistem tekanan negatif

Bila prinsip-prinsip keselamatan ini digunakan dalam pembangunan reaktor, keselamatan operasi reaktor akan terjamin. Untuk reaktor kecil seperti reaktor riset sistem keselamatannya tidak selengkap reaktor daya.

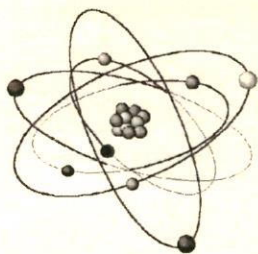
B. Fungsi Utama Keselamatan Reaktor

Fungsi utama keselamatan reaktor adalah mencegah terlepasnya zat-zat radioaktif ke lingkungan baik dalam keadaan operasi normal, gangguan maupun kecelakaan. Tugas ini dilakukan oleh sistem keselamatan reaktor.

Filosofi keselamatan reaktor adalah "gagal selamat" artinya bila reaktor beroperasi tidak normal sistem keselamatan segera mematikan reaktor dan mengambil tindakan pengamanan secara otomatis. Tujuannya agar elemen bakar selalu memperoleh pendinginan yang cukup sehingga integritasnya selalu terjaga dan pelepasan zat radioaktif terhindarkan. Oleh karena itu sistem keselamatan reaktor harus mempunyai keandalan yang tinggi. Dia harus berfungsi dalam setiap saat dan setiap keadaan termasuk keadaan bila terjadi bencana alam seperti gempa bumi.

Keandalan keamanan yang tinggi ini dicapai dengan jalan:

- Kontrol kualitas yang ketat setiap komponen reaktor dari pembuatan sampai pemasangan dengan pengesetan berulang-ulang dengan berbagai cara.
- Inspeksi kontinyu selama beroperasi
- Didesain dengan prinsip ganda yaitu diversiter dan redudan Diversiter artinya beberapa sistem yang berbeda tetapi mempunyai tugas yang sama. Redudan artinya perangkat sistem dan komponen
 - Analisis keselamatan yang berisi tanggapan reaktor terhadap gangguan dan kecelakaan yang mungkin terjadi termasuk resikonya. Analisis ini harus menunjukkan bahwa reaktor hanya akan memberikan resiko dibawah batas yang diijinkan meskipun dalam keadaan kecelakaan.



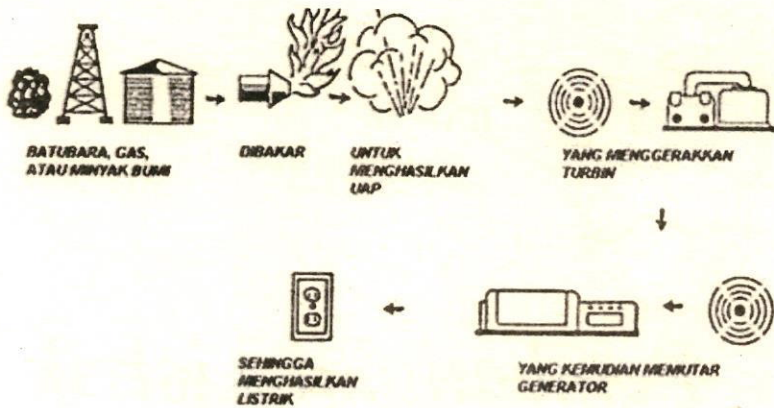
BAB IX

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

A. Prinsip Kerja PLTN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) adalah *stasiun pembangkit listrik termal* di mana panas yang dihasilkan diperoleh dari satu atau lebih *reaktor nuklir* pembangkit listrik. PLTN termasuk dalam pembangkit daya *base load*, yang dapat bekerja dengan baik ketika daya keluarannya konstan (meskipun *boiling water reactor* dapat turun hingga setengah dayanya ketika malam hari). Daya yang dibangkitkan per unit pembangkit berkisar dari 40 MWt hingga 1000 MWt.

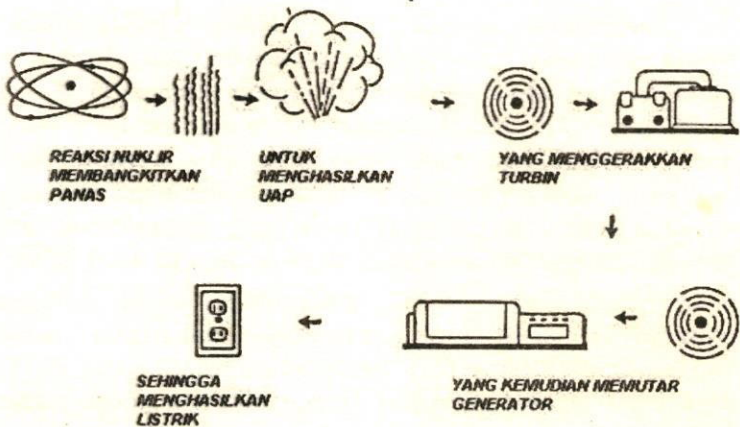
Prinsip kerja PLTN sebenarnya mirip dengan pembangkit listrik lainnya, misalnya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Uap bertekanan tinggi pada PLTU digunakan untuk memutar turbin. Tenaga gerak putar turbin ini kemudian diubah menjadi tenaga listrik dalam sebuah generator.



Sumber : <http://www.batan.go.id>

Gambar 9.1. Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga fosil

Perbedaan PLTN dengan pembangkit lain terletak pada bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan uap, yaitu Uranium. Reaksi pembelahan (fisi) inti Uranium menghasilkan tenaga panas (termal) dalam jumlah yang sangat besar serta membebaskan 2 sampai 3 buah neutron



Sumber : <http://www.batan.go.id>

Gambar 9.2 Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga nuklir

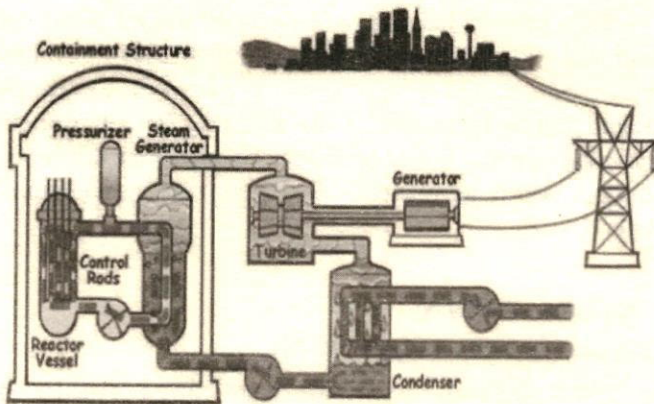
Pada prinsipnya sistem kerja pembangkit listrik tenaga nuklir atau PLTN tidak ubahnya seperti prinsip kerja dari sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan panas sebagai pembangkit uap. Uap air yang bertekanan tinggi digunakan untuk menggerakkan turbin, kemudian turbin menggerakkan generator, dan generator menghasilkan listrik.

B. Jenis-jenis PLTN

1. *Pressurized Water Reactor (PWR)*

PWR adalah jenis reaktor daya nuklir yang menggunakan air ringan biasa sebagai pendingin maupun moderator neutron. Reaktor ini pertama sekali dirancang oleh Westinghouse Bettis Atomic Power Laboratory untuk kepentingan kapal perang, tetapi kemudian rancangan ini dijadikan komersial oleh Westinghouse Nuclear Power Division. Reaktor PWR komersial pertama dibangun di Shippingport, Amerika Serikat yang beroperasi sampai tahun 1982.

Selain Westinghouse, banyak perusahaan lain seperti Asea Brown Boveri-Combustion Engineering (ABB-CE), Framatome, Kraftwerk Union, Siemens, and Mitsubishi yang mengembangkan dan membangun reaktor PWR ini. Reaktor jenis ini merupakan jenis reaktor yang paling umum. Lebih dari 230 buah reaktor digunakan untuk menghasilkan listrik, dan beberapa ratus lainnya digunakan sebagai tenaga penggerak kapal.



Sumber : <http://www.batan.go.id>

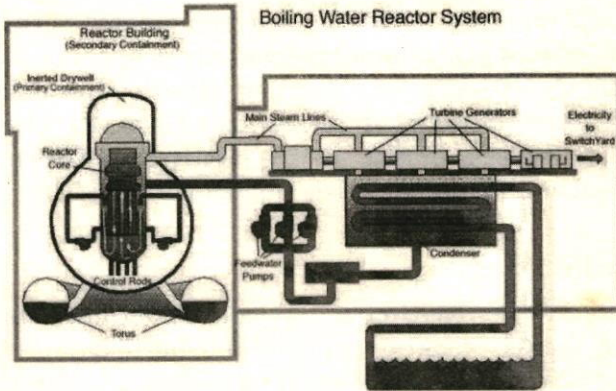
Gambar 9.3. Skema Reaktor Pressurized Water Reactor (PWR)

Pada reaktor jenis PWR, aliran pendingin utama yang berada di teras reaktor bersuhu mencapai 325°C sehingga perlu diberi tekanan tertentu (sekitar 155 atm) oleh perangkat pressurizer sehingga air tidak dapat mendidih. Pemindah panas, generator uap, digunakan untuk memindahkan panas ke aliran pendingin sekunder yang kemudian mendidih menjadi uap air dan menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Uap kemudian diembunkan di dalam kondenser menjadi aliran pendingin sekunder. Aliran ini kembali memasuki generator uap dan menjadi uap kembali, memasuki turbin, dan demikian seterusnya.

2. Boiling water reactor (BWR)

Reaktor jenis BWR merupakan rancangan reaktor jenis air ringan sebagai pendingin dan moderator, yang juga digunakan di beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Reaktor BWR pertama sekali dirancang oleh Allis-Chambers dan General Electric (GE). Sampai saat ini, hanya rancangan General Electric yang masih bertahan. Reaktor BWR rancangan General Electric dibangun di Humboldt Bay di

California. Perusahaan lain yang mengembangkan dan membangun reaktor BWR ini adalah ASEA-Atom, Kraftwerk Union, Hitachi. Reaktor ini mempunyai banyak persamaan dengan reaktor PWR; perbedaan yang paling kentara ialah pada reaktor BWR, uap yang digunakan untuk memutar turbin dihasilkan langsung oleh teras reaktor.



Sumber : <http://www.batan.go.id>

Gambar 9.4. Skema Reaktor Boiling Water Reactor (BWR)

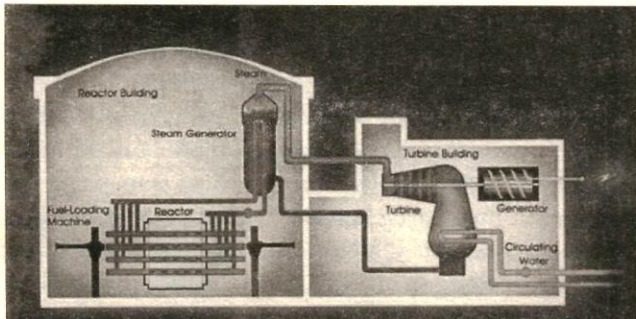
Pada reaktor BWR hanya terdapat satu sirkuit aliran pendingin yang bertekanan rendah (sekitar 75 atm) sehingga aliran pendingin dapat mendidih di dalam teras mencapai suhu 285°C. Uap yang dihasilkan mengalir menuju perangkat pemisah dan pengering uap yang terletak di atas teras kemudian menuju turbin. Karena air yang berada di sekitar teras selalu mengalami kontaminasi oleh peluruhan radio-nuklida, maka turbin harus diberi perisai dan perlindungan radiasi sewaktu masa pemeliharaan. Kebanyakan zat radioaktif yang terdapat pada air tersebut beumur paro sangat singkat, misalnya N-16 dengan umur paro 7 detik sehingga ruang turbin dapat dimasuki sesaat setelah reaktor dipadamkan. Uap tersebut kemudian memasuki turbin-generator. Setelah turbin digerakkan, uap diembunkan di kondenser menjadi aliran pendingin, kemudian dipompa ke reaktor dan memulai siklus kembali seperti di atas.

3. Reaktor Air Didih Lanjut (*Advanced Boiling Water Reactor, ABWR*)

ABWR adalah reaktor air didih lanjut, yaitu tipe modifikasi dari reaktor air didih yang ada pada saat ini. Perbaikan ditekankan pada keandalan, keselamatan, limbah yang rendah, kemudahan operasi dan faktor ekonomi. Perlengkapan khas ABWR yang mengalami perbaikan desain adalah (1) pompa internal, (2) penggerak batang kendali, (3) alat pengatur aliran uap, (4) sistem pendinginan teras darurat, (5) sungkup reaktor dari beton pra-tekan, (6) turbin, (7) alat pemanas untuk pemisah uap (penurun kelembaban), (8) sistem kendali digital dan lain-lain.

4. Reaktor CANDU

Reaktor CANDU atau CANada Deuterium Uranium adalah jenis reaktor air berat bertekanan yang menggunakan Uranium alam oksida sebagai bahan bakar. Reaktor ini dirancang oleh Atomic Energy Canada Limited (AECL) semenjak tahun 1950 di Kanada. Karena menggunakan bahan bakar Uranium alam, maka reaktor ini membutuhkan moderator yang lebih efisien seperti air berat



Sumber : <http://www.batan.go.id>

Gambar 9.5 Skema Reaktor CANDU atau CA Nada Deuterium Uranium

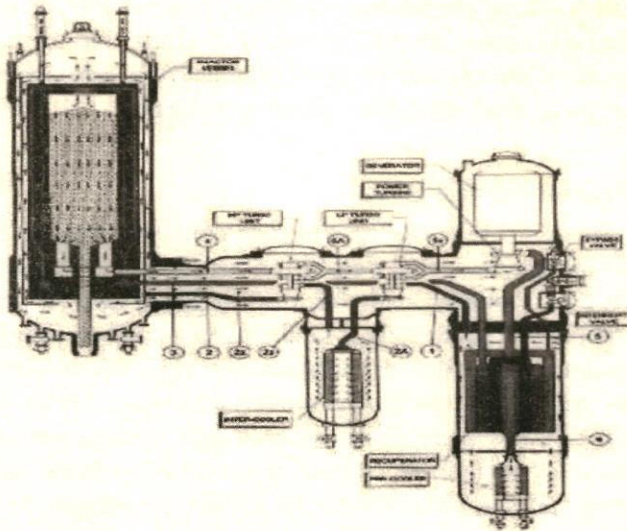
Moderator reaktor CANDU terletak pada tangki besar yang disebut calandria, yang disusun oleh tabung-tabung bertekanan horisontal yang digunakan sebagai tempat bahan bakar, didinginkan oleh aliran air berat bertekanan tinggi yang mengalir melewati tangki calandria ini sampai mencapai suhu 290°C. Sama seperti Reaktor PWR, uap dihasilkan oleh aliran pendingin sekunder yang mendapat panas dari aliran pendingin utama. Dengan digunakannya tabung-tabung bertekanan sebagai tempat bahan bakar, memungkinkan untuk mengisi bahan bakar tanpa memadamkan reaktor dengan memisahkan tabung bahan bakar yang akan diisi dari aliran pendingin.

5. Reaktor tabung tekan

Reaktor tabung tekan merupakan reaktor yang terasnya tersusun atas pendingin air ringan (ada juga air berat) dan moderator air berat atau pendingin air ringan dan moderator grafit dalam pipa kalandria. Bahan pendingin dan bahan moderator dipisahkan oleh pipa tekan, sehingga bahan pendingin dan bahan moderator dapat dipilih secara terpisah. Pada kenyataannya terdapat variasi gabungan misalnya pendingin air ringan moderator air berat (*Steam-Generating Heavy Water Reactor, SGHWR*), pendingin air berat moderator air berat (*Canadian Deuterium Uranium, CANDU*), pendingin air ringan moderator grafit (*Channel Type Graphite-moderated Water-cooled Reactor, RBMK*). Teras reaktor terdiri dari banyak kanal bahan bakar dan dideretkan berbentuk kisi kubus di dalam tangki kalandria, bahan pendingin mengalir masing-masing di dalam pipa tekan, energi panas yang timbul pada kanal bahan bakar diubah menjadi energi penggerak turbin dan digunakan pada pembangkit listrik. Disebut juga rektor nuklir tipe kanal.

6. Pebble Bed Modular Reactor (PBMR)

Reaktor PBMR menawarkan tingkat keamanan yang baik. Proyek PBMR masa kini merupakan lanjutan dari usaha masa lalu dan dipiloti oleh konglomerat internasional USA berbasis Exelon Corporation (Commonwealth Edison PECO Energy), British Nuclear Fuels Limited dan South African based ESKOM sebagai perusahaan reaktor.

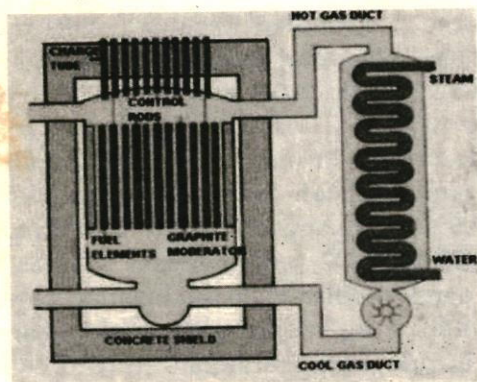


Sumber : <http://www.batan.go.id>

Gambar 9.6. Skema PBMR

PBMR menggunakan helium sebagai pendingin reaktor, berbahan bakar partikel uranium dioksida yang diperkaya, yang dilapisi dengan Silikon Karbida berdiameter kurang dari 1mm, dirangkai dalam matriks grafit. Bahan bakar ini terbukti tahan hingga suhu 1600°C dan tidak akan meleleh di bawah 3500°C. Bahan bakar dalam bola grafit akan bersirkulasi melalui inti reaktor karena itu disebut sistem pebble-bed.

7. Reaktor Magnox



Sumber : <http://www.batan.go.id>

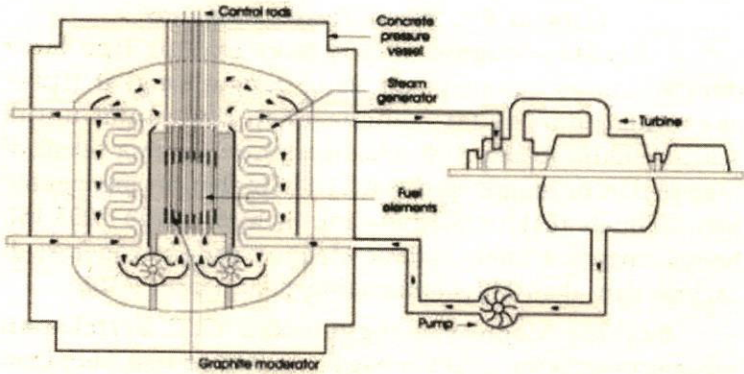
Gambar 9.7. Skema Reaktor Magnox

Reaktor Magnox merupakan reaktor tipe lama dengan siklus bahan bakar yang sangat singkat (tidak ekonomis), dan dapat menghasilkan plutonium untuk senjata nuklir. Reaktor ini dikembangkan pertama sekali di Inggris dan di Inggris terdapat 11 PLTN dengan menggunakan 26 buah reaktor Magnox ini. Sampai tahun 2005 ini, hanya tinggal 4 buah reaktor Magnox yang beroperasi di Inggris dan akan didekomisioning pada tahun 2010.

Reaktor Magnox menggunakan CO₂ bertekanan sebagai pendingin, grafit sebagai moderator dan berbahan bakar Uranium alam dengan logam Magnox sebagai pengungkuh bahan bakarnya. Magnox merupakan nama dari logam campuran yaitu dengan logam utama Magnesium dengan sedikit Aluminium dan logam lainnya, yang digunakan sebagai pengungkuh bahan bakar logam Uranium alam dengan penutup yang tidak mudah teroksidasi untuk menampung hasil fisi.

8. Advanced Gas-cooled Reactor (AGR)

Advanced Gas-Cooled Reactor (AGR) merupakan reaktor generasi kedua dari reaktor berpendingin gas yang dikembangkan Inggris. AGR merupakan pengembangan dari reaktor Magnox. Reaktor ini menggunakan grafit sebagai moderat neutron, CO₂ sebagai pendingin dan bahan bakarnya adalah pelet Uranium oksida yang diperkaya 2,5%-3,5% yang dikungkung di dalam tabung stainless steel. Gas CO₂ yang mengalir di teras mencapai suhu 650oC dan kemudian memasuki tabung generator uap. Kemudian uap yang memasuki turbin akan diambil panasnya untuk menggerakkan turbin. Gas telah kehilangan panas masuk kembali ke teras.



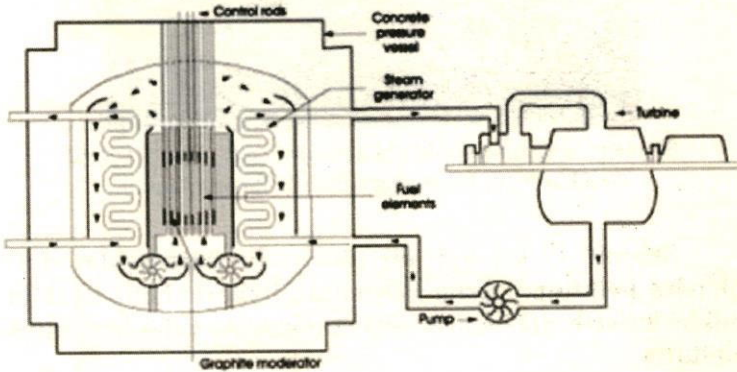
Sumber : <http://www.batan.go.id>

Gambar 9.8 Skema Advanced Gas-cooled Reactor (AGR)

9. Russian Reaktor Bolshoi Moshchnosty

RBMK merupakan singkatan dari Russian Reaktor Bolshoi Moshchnosty Kanalny yang berarti reaktor Rusia dengan saluran daya yang besar. Pada tahun 2004 masih terdapat beberapa reaktor RBMK yang masih beroperasi,

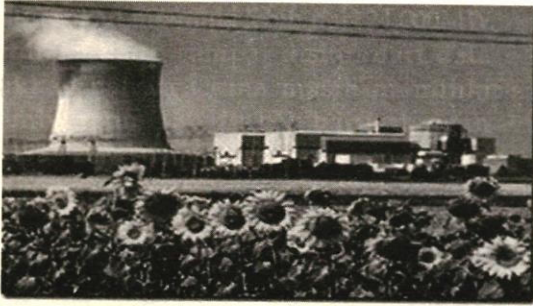
namun tidak ada rencana untuk membangun reaktor jenis ini lagi. Keunikan reaktor RBMK terdapat pada moderator grafitnya yang dilengkapi dengan tabung untuk bahan bakar dan tabung untuk aliran pendingin.



Sumber : <http://www.batan.go.id>

Gambar 9.9. Skema RBMK

Pada rancangan reaktor RBMK, terjadi pendidihan aliran pendingin di teras samapi mencapai suhu 290°C . Uap yang dihasilkan kemudian masuk ke perangkat pemisah uap yang memisahkan air dari uap. Uap yang telah dipisahkan kemudian mengalir menuju turbin, seperti pada rancangan reaktor BWR. Masalah yang dihadapi pada BWR yaitu uap yang dihasilkan bersifat radioaktif juga terjadi pada reaktor ini. Namun, dengan adanya pemisahan uap, maka terdapat waktu jeda yang menurunkan radiasi di sekitar turbin. Dengan menggunakan moderasi neutron yang sangat bergantung pada grafit, apabila terjadi pendidihan yang berlebihan, maka aliran pendingin akan berkurang sehingga penyerapan neutron juga berkurang, tetapi reaksi fisi akan semakin cepat sehingga dapat menimbulkan kecelakaan



Sumber : http://lh6.ggpht.com/rdkkurnia/clip_image0171.gif

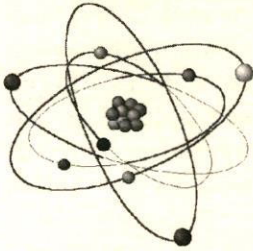
Gambar 9.10. Pembangkit listrik Tenaga Nuklir

Sebuah PLTN uap air non radioaktif keluar dari menara pendingin yang berbentuk hyperboloid. Reaktor nuklir terletak didalam *containmentbuilding* yang berbentuk silindris.

C. Keuntungan dan Kekurangan PLTN

1. Keuntungan PLTN dibandingkan dengan pembangkit daya utama lainnya
 - Tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca (selama operasi normal) gas rumah kaca hanya dikeluarkan ketika Generator Diesel Darurat dinyalakan dan hanya sedikit menghasilkan gas).
 - Tidak mencemari udara tidak menghasilkan gas-gas berbahaya seperti karbon monoksida, sulfur dioksida, aerosol, mercury, nitrogen oksida, partikulate atau asap fotokimia.
 - Sedikit menghasilkan limbah padat (selama operasi normal).

- Biaya bahan bakar rendah - hanya sedikit bahan bakar yang diperlukan.
 - Ketersedian bahan bakar yang melimpah, karena sangat sedikit bahan bakar yang diperlukan.
2. Kekurangan PLTN :
- Resiko kecelakaan nuklir. Sebagai contoh kecelakaan nuklir terbesar adalah kecelakaan *Chernobyl* (yang tidak mempunyai *containment building*).
 - Resiko kebocoran reaktor karena gempa bumi atau getaran yang sangat kuat, misal reaktor nuklir Fukushima Jepang.
 - Limbah nuklir. Limbah Nuklir tingkat tinggi yang dihasilkan dapat bertahan hingga ribuan tahun.



BAB X

Limbah Nuklir

A. Limbah Radioaktif

Limbah radioaktif merupakan hasil samping dari kegiatan pemanfaatan teknologi nuklir. Dalam limbah radioaktif terdapat unsur-unsur radioaktif yang masih memancarkan radiasi. Limbah radioaktif tidak boleh dibuang ke lingkungan karena radiasi yang dipancarkan berpotensi memberikan efek merugikan terhadap kesehatan manusia.

Program pengelolaan limbah radioaktif ditujukan untuk menjamin agar tidak seorang pun akan menerima paparan radiasi melebihi nilai batas yang dizinkan. Terdapat hal-hal unik yang menguntungkan dalam rangka pengelolaan limbah radioaktif:

1. Sifat fisika dari zat radioaktif yang selalu meluruh menjadi zat stabil (tidak radioaktif lagi). Karena terjadi peluruhan, maka jumlah zat radioaktif akan selalu berkurang oleh waktu. Sifat ini sangat menguntungkan karena cukup hanya dengan menyimpan secara aman, zat radioaktif sudah berkurang dengan sendirinya.

2. Sebagian besar zat radioaktif yang terbentuk dalam teras reaktor nuklir umumnya memiliki waktu paro yang sangat pendek, mulai orde beberapa detik hingga beberapa hari. Hal ini menyebabkan peluruhan zat radioaktif yang sangat cepat yang berarti terjadi pengurangan volume limbah yang sangat besar dalam waktu relatif singkat.
3. Saat ini telah berhasil dikembangkan berbagai jenis alat ukur yang sangat peka terhadap radiasi. Dengan alat ukur ini keberadaan zat radioaktif sekecil apa pun selalu dapat dipantau.

B. Kategori Limbah Radioaktif

Limbah radioaktif berasosiasi dengan reaktor nuklir memiliki dua kategori yaitu limbah komersial yang merupakan hasil dari operasi fasilitas listrik tenaga nuklir, dan limbah militer yang merupakan hasil dari operasi reaktor yang berasosiasi dengan pabrikasi senjata. Karena bahan bakar dalam reaktor produksi plutonium diperlukan oleh senjata memiliki radiasi yang lebih lemah daripada nuklir yang digunakan di PLTN, limbah militer mengandung lebih sedikit produk fisi dan tidak seaktif limbah PLTN baik secara radiologis maupun termal. Walau begitu, mereka masih cukup berbahaya dan memerlukan pembuangan yang hati-hati.

PLTN menggunakan batang-batang bahan bakar dengan rentang usia sekitar tiga tahun. Tiap tahun, sekitar sepertiga batang bahan bakar yang habis dibuang dan disimpan dalam limbah pendingin, baik dalam lokasi reaktor maupun di tempat lain. PLTN modern umumnya membuang sekitar 30 ton bahan bakar yang telah habis per reaktor per tahun. Sedikit bagian dari limbah ini masih dapat di daur ulang dan kembali digunakan. Sebenarnya, daur ulang justru meningkatkan volume limbah radioaktif, namun seperti dalam kasus limbah militer, limbah dari daur

ulang limbah sebelumnya ini lebih lemah dalam jangka panjang. Walau begitu, limbah dari daur ulang juga harus dibuang dengan hati-hati.

Bahan bakar yang habis dari sebuah reaktor mengandung uranium tak berguna dan plutonium-239 yang telah dibuat dengan pengeboman neutron saat proses fisi. Campuran lain limbah ini adalah cesium-137 dan strontium-90 yang merupakan produk fisi yang sangat radioaktif dan berbahaya. Karena bahan bakar daur ulang mengandung plutonium, sesuai untuk membuat senjata nuklir, terdapat pertimbangan keamanan atas kemungkinan limbah ini direbut oleh agen atau teroris yang tidak memiliki kapabilitas senjata nuklir.

Selain kategori berdasarkan sumber, limbah radioaktif juga dapat digolongkan berdasarkan isinya: Limbah tingkat tinggi mengandung 99.9% produk fisi nonvolatil, 0.5% uranium dan plutonium, dan semua aktinida yang terbentuk oleh transmudasi uranium dan plutonium di reaktor. Diantara aktinida ini adalah neptunium dan americium. Limbah tingkat tinggi dapat berupa cairan dari daur ulang atau berupa batang bahan bakar yang dibuang tanpa daur ulang.

Limbah wadah terdiri dari potongan padat Zircaloy dan wadah baja tahan karat (tabung dimana bahan bakar disimpan) serta unsur struktural lainnya rakitan bahan bakar yang tersisa setelah inti akhir telah terlarut.

Limbah transuranik tingkat rendah adalah bahan padat atau dipadatkan yang mengandung plutonium atau pemancar partikel alfa berumur panjang lainnya dalam konsentrasi yang diketahui atau diduga lebih tinggi dari 10 nanocurie per gram dan tingkat radiasi eksternal setelah pengemasan cukup rendah untuk memungkinkan penanganan langsung.



Sumber : <http://www.faktailmiah.com>

Gambar 10.1. Penangan limbah pada reaktor nuklir

Limbah transuranik tingkat sedang adalah bahan padat atau dipadatkan yang mengandung pemancar partikel alpha berumur panjang dengan konsentrasi lebih dari 10 nanocurie per gram dan setelah pengemasan memiliki dosis permukaan antara 10 dan 1000 mrem/jam karena pencemaran produk fisi. Limbah tingkat rendah non transuranik adalah beraneka bahan yang tercemar dengan isotop pemancar beta dan gamma tingkat rendah, namun mengandung kurang dari 10 nanocurie aktivitas alfa berumur panjang per gram.

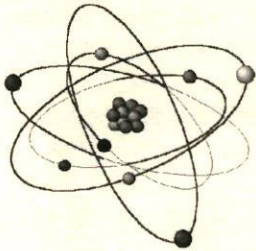
C. Metode Pembuangan Limbah

Karena banyak keraguan diantara para pemerintah dengan penyimpanan geologis permanen, seperti telah disebutkan sebelumnya, berbagai usaha terus dilakukan dalam metode penyimpanan permanen dan semipermanen. Banyak metode melibatkan pendekatan "barisan penghalang". Penghalang pertama adalah badan limbah dimana bahan radioaktif disimpan - vitrifikasi, pengapuran, dsb. Persyaratan penghalang pertama adalah ia tidak korosif dan memiliki stabilitas termal dan integritas mekanis yang baik. Limbah menghasilkan banyak panas saat dekade

pertama penyimpanannya. Hal ini mempengaruhi keputusan mengenai bentuk limbah dan penghalang kedua, wadah yang menyelubungi badan limbah. Fungsi utama wadah ini adalah melindungi bahan saat pengumpulan dan transportasi (ke lokasi geologis). Wadah ini juga menjadi pelindung yang baik untuk isinya selama minimal 50 tahun, untuk berjaga-jaga bila limbah ini akan diambil lagi di masa depan. Wadah ini harus mampu menahan zat kimia korosif, mereka harus tahan terhadap fluks radiasi sangat tinggi yang disebabkan peluruhan produk fisi dan panas yang dibangkitkan oleh limbah yang meluruh. Wadah baja tahan karat tak terlindungi tidak akan mampu menahan peluruhan struktur yang terjadi akibat penumpukan garam untuk periode selama itu. Persediaan harus ada untuk mendinginkan wadah, baik dengan udara maupun air. Wadah ini harus dirancang untuk memungkinkan transfer panas maksimum dan saat ini, konfigurasi silinder atau anulus yang digunakan. Penghalang ketiga adalah lokasi geologis itu sendiri, jelas harus tahan terhadap penetrasi air dan merupakan lokasi yang stabil secara seismik. Untuk memenuhi semua persyaratan lebih jauh, pertimbangan diberikan untuk membuat pembuangan limbah secara bertahap, mungkin menyimpan wadah dalam air pendingin selama beberapa tahun pertama, kemudian menggantinya dengan pendingin udara.

Pilihan dominan adalah penyimpanan bawah tanah. Masih ada metode lain yang diajukan para ilmuwan nuklir. **Metode rongga tambang** larutan, dimana larutan kimia digunakan untuk menggali rongga dalam media yang sesuai, seperti garam batu. **Metode matriks lubang bor** dilakukan dengan sederetan lubang berdiameter besar yang dibor dalam media geologis hingga kedalaman 2 kilometer untuk membentuk kisi-kisi lubang, limbah padat kemudian dikemas ke dalam lubang ini dan disegel. **Metode pelelehan batuan** diajukan untuk menangani limbah cair yang tidak

dapat memadat, dimana limbah dituang kedalam rongga bawah tanah yang dibuat lewat ledakan bawah tanah. **Metode hidrofraktura** juga diajukan untuk limbah cair, dimana limbah ini diubah menjadi semacam semen (grout). Grout ini dipompakan dengan tekanan tinggi kedalam landas sedalam 1 kilometer. Tekanan operasi menyebabkan landas ini retak dan limbah mengisi retakan dan memadat. Prosedur ini telah digunakan selama bertahun-tahun dalam bidang perminyakan. **Metode es kutub** memperlakukan limbah yang dilelehkan lewat bantuan es (walaupun metode ini akan memerlukan teknologi baru); atau limbah harus diletakkan diatas permukaan es atau ditanamkan kedalam es. Manfaatnya adalah jarak yang jauh dari populasi dan pendinginan termal yang baik. Kerugiannya adalah transportasi yang ekstensif dan kesulitan dalam pengambilan kembali. Metode ini tidak menarik untuk dipilih karena terlalu banyak faktor yang tidak diketahui sehingga masih memerlukan penelitian lebih jauh. **Metode disposisi samudera**, dimana proses yang sama dengan metode es kutub dilakukan pada zona subduksi dan parit laut dalam atau daerah endapan cepat lain.



BAB XI

Politik Energi Nuklir

A. Krisis Energi Dunia

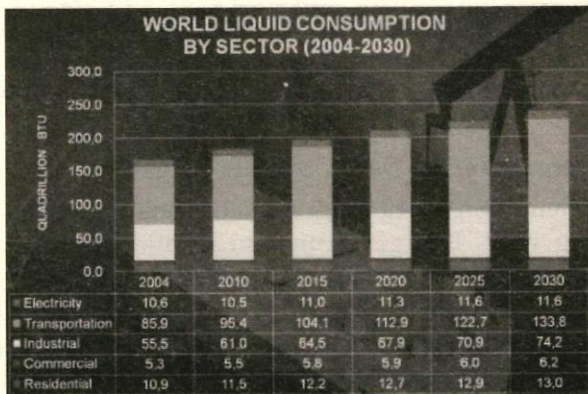
1. Review Of Word Energy

Hari-hari terakhir ini dunia dicemaskan oleh naiknya harga minyak dunia, bahkan minyak sempat menembus angka \$120/barel yang masih berpeluang naik tajam terkait masih memanasnya konflik di jazirah arab. Fakta ini mengulang krisis ekonomi dan minyak tahun 2008 dimana harga minyak sempat sampai \$180/barel rekor harga tertinggi sepanjang sejarah peradaban manusia. Hal ini cukup membuat banyak negara kelabakan, terutama negara yang masih mengandalkan pemenuhan energi berbasis fosil dari impor, seperti Indonesia.

Dengan defisit minyak sekitar 350.000 barel/ hari (yang menyebabkan Indonesia terdepak dari OPEC) dan harus mengimpornya dengan harga pasar dunia yang selalu fluktuatif cukup membuat politisi Indonesia mengernyitkan jidatnya dan berfikir untuk mengkonversi kebutuhan energinya. Dari sini kita tahu peran penting minyak sebagai bahan utama penggerak kehidupan, sehingga tak jarang banyak negara bersaing dalam memilikinya. Fakta perang

Produksi, konsumsi, perdagangan dan konflikTotal konsumsi energi dunia hingga akhir 2006 mencapai setara 10,54 milyar ton ekuivalen minyak (sangat fantastis, setara dengan sekitar 1/15 dari total cadangan minyak dunia yang ditemukan hingga tahun 2005 mencapai sekitar 163,6 milyar ton). Jumlah energi dunia didominasi sumber energi fosil utama yaitu minyak bumi, gas alam dan batu bara. Ketiga sumber energi yang paling dicari itu menyumbang hingga 87,7% dari total konsumsi energi dunia. Sumber energi tradisional dari minyak bumi masih memberikan kontribusi (produksi) terbesar untuk memenuhi kebutuhan energi dunia yang mencapai 37% dari total konsumsi energi, atau sebesar 3,9 milyar ton minyak. Batubara penyumbang kebutuhan energi dunia terbesar kedua (2,89 milyar ton ekuivalen minyak) dan gas alam penyumbang ketiga (2,49 milyar ton ekuivalen minyak)

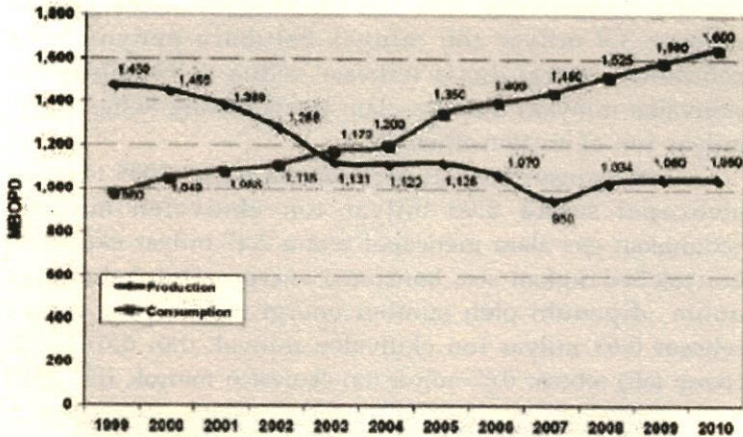
Total konsumsi batu bara selama tahun 2005 tersebut mencapai setara 2,93 milyar ton ekuivalen minyak. Sedangkan gas alam mencapai setara 2,47 milyar ekuivalen minyak. Sedangkan sisa konsumsi energi untuk kebutuhan dunia dipenuhi oleh sumber energi nuklir yang hanya sebesar 0,63 milyar ton ekuivalen minyak dan dari hidro energi (air) sebesar 0,67 milyar ton ekuivalen minyak. (BP, 2006)



Sumber : BP 2006

Gambar 11.2 Konsumsi minyak dunia berdasarkan sektor

Setelah pulih dari krisis moneter pada tahun 1998, Indonesia mengalami lonjakan hebat dalam konsumsi energi. Dari tahun 2000 hingga tahun 2004 konsumsi energi primer Indonesia meningkat sebesar 5.2 % per tahunnya. Peningkatan ini cukup signifikan apabila dibandingkan dengan peningkatan kebutuhan energi pada tahun 1995 hingga tahun 2000, yakni sebesar 2.9 % pertahun. Dengan keadaan seperti ini, diperkirakan kebutuhan listrik Indonesia akan terus bertambah sebesar 4.6 % setiap tahunnya, hingga diperkirakan mencapai tiga kali lipat pada tahun 2030. Seperti terlihat pada Gambar berikut :



Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>.

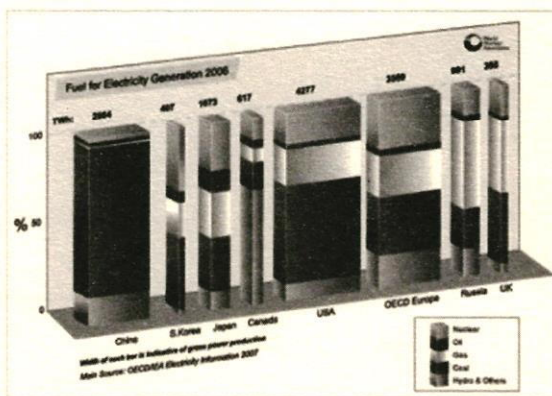
Gambar 10.3 Konsumsi dan Produksi minyak Indonesia 1999-2010

2. Ketergantungan Dunia kepada Migas

Ketersedian energi bagi sebuah negara memang suatu hal yang vital. Energi digunakan untuk industri, untuk menggerakkan roda transportasi, menyalakan penerangan, memanaskan rumah dan alat dapur, menghidupkan peralatan elektronik, hingga intensifikasi pertanian, karena pada hakekatnya pemberian pupuk adalah subsidi energi ke produk tanaman. Tidak heran setiap kali pasokan energi

berkurang, terjadilah krisis. Namun dalam sejarah manusia, krisis energi sebenarnya sudah terjadi berkali-kali. Di zaman purba ketika manusia masih hidup dari berburu, dan energi paling banyak didapatkan dari tenaga manusia, pertumbuhan jumlah manusia berakibat cadangan hewan buruan disekitarnya terus menipis hingga akhirnya terjadi krisis pangan yang berarti juga krisis energi. Namun krisis ini kemudian dijawab dengan beralihnya budaya berburu menjadi budaya pertanian dan peternakan, dan ketika tenaga manusia lalu digantikan dengan tenaga hewan yang telah dijinakkan.

Ketika jumlah manusia berikut kebutuhannya semakin meningkat, terjadilah krisis energi lagi. Tenaga hewan tidak cukup lagi untuk menggerakkan industri yang makin menjamur disekitar perkotaan. Maka daya kreatifitas manusia ditantang lagi, muncullah penggunaan energi non hayati. Rentang masa ini cukup panjang. Dimulai dari penggunaan energi air sejak zaman romawi kuno, hingga penggunaan energi fosil (batubara, minyak) diawal revolusi industri (abad 17-18M). Berikut konsumsi energi beberapa Negara di dunia berdasarkan jenis energi fosil yang digunakan.



Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>

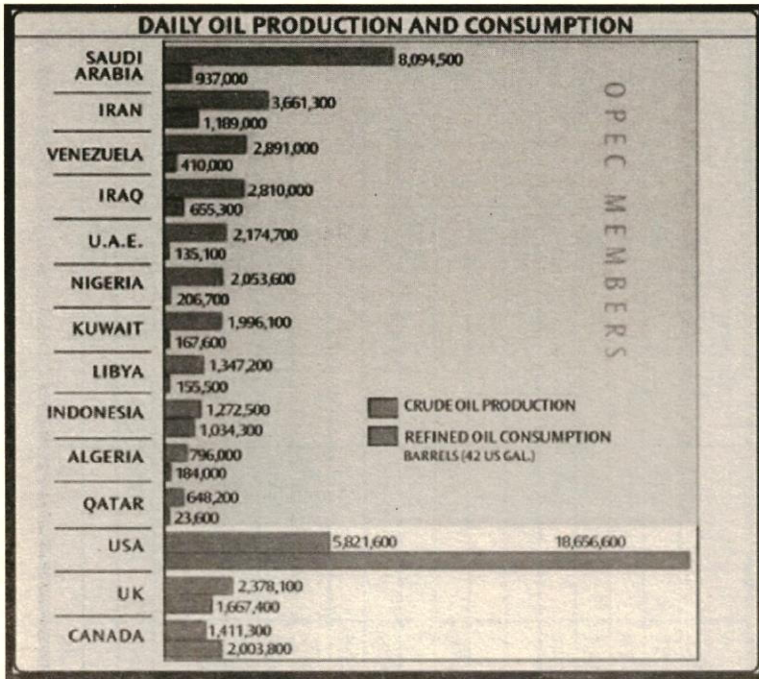
Gambar 11.4. Keperluan Bahan Bakar Untuk Pembangkit Listrik di Dunia

Tabel 11.1
Negara Yang Menjadikan Minyak
Sebagai Sumber Utama Pemenuhan Energinya

No	Nama Negara	Produksi (juta barrel/hari)	%	Konsumsi (juta barrel/hari)	%
	World	81,09	100,0%	82,46	100,0%
	OECD	19,76	23,8%	49,25	59,2%
	OPEC 25	33,84	41,7%		
	Non OPEC	35,41	43,4%		
	Former Soviet Union	11,84	14,8%	3,94	4,9%
	European Union			14,77	18,3%
	Other EMEs			29,27	36,0%

Sumber : BP 2006

Nama Negara	Produksi (juta barrel/hari)	%	Konsumsi (juta barrel/hari)	%
1. China	363	4,6%	6,99	8,5%
2. India	0,78	0,9%	2,49	3,0%
3. Amerika	6,83	8%	20,66	24,8%
4. Indonesia	1,14	1,4%	1,17	1,4%
10. Japan			5,36	6,4%
14. Germany			2,59	3,2%
19. Iran	4,05	5,1%	1,66	2,0%
22. United Kingdom	1,81	2,2%	1,79	2,2%
32. Sudan	3,79	0,5%		
36. Canada	3,05	3,7%	2,24	2,6%
43. Saudi Arabia	11,035	13,50%	1,89	2,3%
45. Venezuela	30,07	4,0%	0,56	0,7%
46. Malaysia	0,83	0,9%	0,48	0,6%
54. Australia	0,55	0,60%	0,88	1,0%
105. Libya	1,70	2,1%		
116. Norway	2,97	3,5%	0,21	0,3%
117. Singapore			0,83	1,1%
158. Qatar	1,10	1,3%		



Sumber : BP 2006

Gambar 11.5: Konsumsi dan produksi harian negara di dunia

Dari gambar-gambar diatas terlihat jelas bahwa dunia masih sangat bergantung kepada minyak, minyak lebih dominan dibandingkan energi yang lain seperti gas, maupun nuklir. Padahal kita tahu bahwa energi minyak termasuk energi yang tak terbarukan dan cadangannya semakin lama semakin menipis. Perkiraan cadangan Indonesia akan habis beberapa tahun kedepan. Disinilah kreatifitas manusia ditantang kembali untuk mengatasi krisis energi.

3. Fluktuatif Harga Minyak Dunia

Crude Oil atau yang sering kita sebut sebagai minyak mentah untuk saat ini masih dikatakan sebagai barang

yang sangat penting dalam pemenuhan energi dunia. Fungsinya masih sangat dominan dan belum tergantikan oleh sumber energi yang lain. Sehingga wajar jika terjadi kelangkaan minyak mentah maka harga minyak akan mengalami fluktuasi.

Fluktuasi minyak bisa terjadi karena beberapa sebab diantaranya :

1. Produksi minyak dunia menurun.

Produksi minyak dunia turun dan tidak bisa memenuhi permintaan pasar bisaanya dipengaruhi faktor cuaca atau politik. Misalnya kasus goncangnya Libya vs Nato akhir-akhir ini yang sedikit banyak mempengaruhi suplai minyak mentah dunia atau sebelumnya perang Afghanistan Vs AS, Irak vs AS.

2. Distribusi tersumbat

Distribusi ini terhambat biasanya disebabkan oleh ulah para spekulan yang menimbun minyak pada waktu minyak murah dan mengadakan aksi *profit taking* ketika harga *Crude Oil* melonjak tajam.

Fluktuasi harga minyak sangat merugikan banyak Negara, terutama negar-negara yang pemenuhan konsumsi minyaknya masih tergantung import, seperti Indonesia. Hal ini karena selisih antara produksi dan konsumsi dalam negeri harus ditutupi dengan impor BBM tentunya dengan harga pasar dunia yang telah melonjak.

Berikut contoh perhitungan dampak fluktuasi harga minyak mentah dunia terhadap APBN Indonesia.

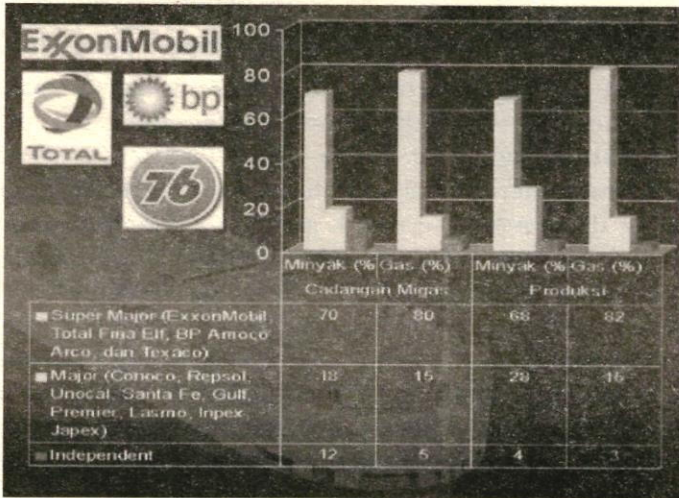
Tabel 11.2
Pengaruh fluktuasi harga minyak terhadap belanja negara

	Sebelum Fluktuasi (sebelum Maret 2010 Dengan asumsi \$ 1 = Rp9.000)	Setelah fluktuasi (Maret 2010 Dengan asumsi \$ 1 = Rp9.000)
Produksi	950.000 barel/hari	950.000 barel/hari
Konsumsi	1.250.000 barel/hari	1.250.000 barel/hari
Selisih (import)	300.000 barel/hari	300.000 barel/hari
Harga crude oil	\$ 80 (harga asumsi APBN)	\$ 110 (harga pasar)
Belanja Negara untuk minyak	216 milyar rupiah/hari	293 milyar rupiah/hari
Selisih yang ditanggung Negara karena fluktuasi harga minyak	- 77 milyar rupiah/hari	

Jika harga minyak dunia tidak turun dalam sebulan saja sampai April 2011 maka setidaknya kas Negara akan jebol sebesar 77 milyar x 30 hari = 2.31 triliun perbulan. Disinilah urgensi untuk menjadikan Indonesia swasembada energi dan tidak bergantung dengan Impor *crude oil*.

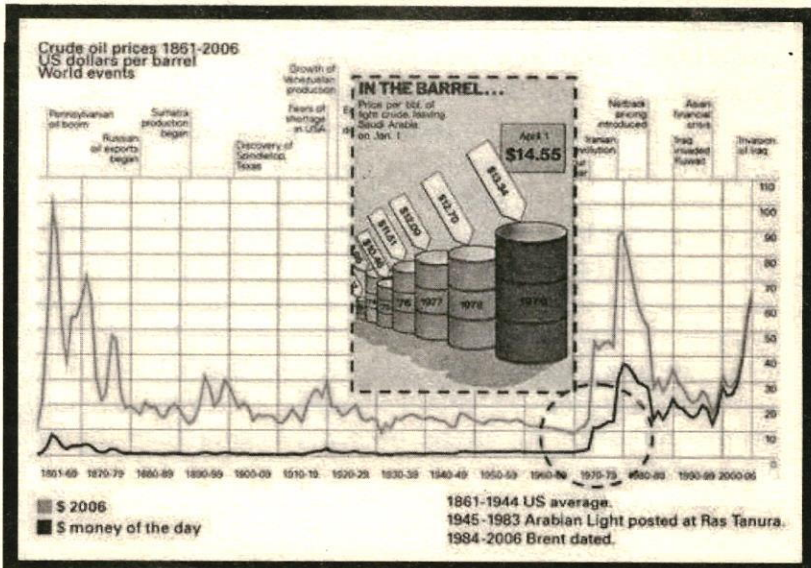
Fakta Indonesia pernah menjadi negara pengekspor minyak tak bisa di pungkiri. Indonesia pernah menjadi negara OPEC, Indonesia mampu mengekspor lebih dari 200 ribu barel/hari. Jika dikalkulasi dengan perhitungan seperti diatas Indonesia setidaknya mendapatkan lebih dari 50 milyar rupiah perhari.

Perubahan status Indonesia dari eksportir minyak ke Importir terjadi setelah liberalisasi sektor migas dengan lahirnya UU 22 tahun 2001 yang dipaksakan IMF yang membawa konsekwensi industri hulu migas Indonesia tidak 100% dikuasai pertamina. Bahkan membuat pertamina hanya menguasai 15 % Migas Indonesia. (Kurtubi, 2001).



Sumber : BP 2006

Gambar 11.6: Cadangan migas dan produksi migas Indonesia



Sumber : BP 2006

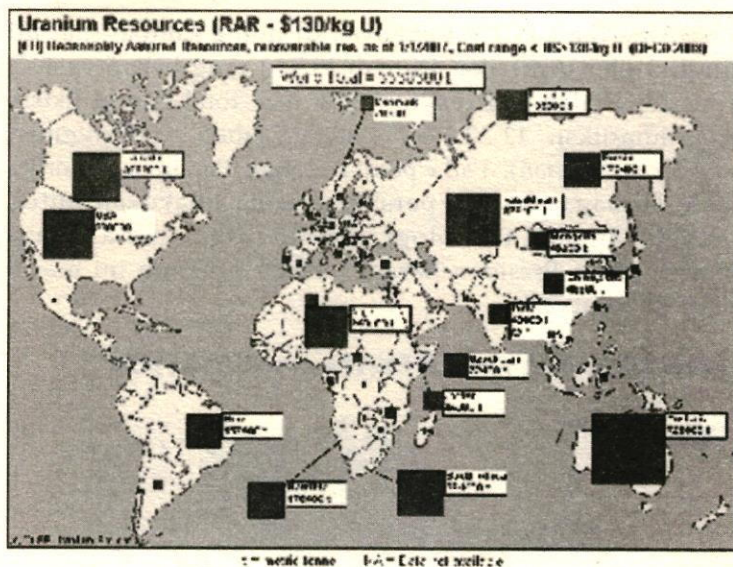
Gambar 11.7: Harga minyak mentah dunia 1861-2006

B. Nuklir Sebagai Salah Satu Solusi Krisis Energi Dunia

Seiring dengan meningkatnya kemampuan produksi Negara-negara Asia, kebutuhan akan energi listrik pun meningkat dengan pesat. China, India, Pakistan, Malaysia dan Vietnam merupakan contoh negara-negara yang siap bersaing dengan Jepang untuk menjadi 'pemimpin pasar' di Asia dengan rencana persiapan pembangkit listrik skala besar-mereka. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) ada dalam rencana penyediaan sumber energi listrik skala besar negara-negara tersebut. Sampai saat ini, 15 % dari total pembangkit listrik yang beroperasi di dunia adalah PLTN. Sebagian besar jenis pembangkit ini terdapat di Benua Amerika, Eropa dan beberapa di Negara-negara Asia seperti Jepang, Korea, dan China.

Buku ini mencoba memberikan sebuah referensi tentang data-data PLTN yang sudah beroperasi (*reactors operable*), dalam tahap pembangunan (*reactors under construction*), tahap rencana (*reactors planned*) dan tahap pengajuan (*reactors proposed*) sampai dengan tahun 2030.

Seperti yang kita ketahui, bahan bakar dari PLTN adalah Uranium. Ada beberapa negara penghasil Uranium di Dunia, seperti Kazakhtan, Australia dan lain-lainnya. Total reaktor yang beroperasi di dunia saat ini berjumlah **436 reaktor**, dalam tahap konstruksi : **45 reaktor**, telah masuk tahap terencana **131 reaktor**, dan sedang dalam tahap pengajuan **282 reaktor**. Pada gambar di bawah ini memberikan gambaran lebih jelas tentang kondisi Uranium dan PLTN saat ini di Dunia. Penjelasan lebih rinci tentang kondisi nuklir untuk energi berbagai negara akan diurai berikutnya.



Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>

Gambar 11.8. Sumber Uranium di Dunia

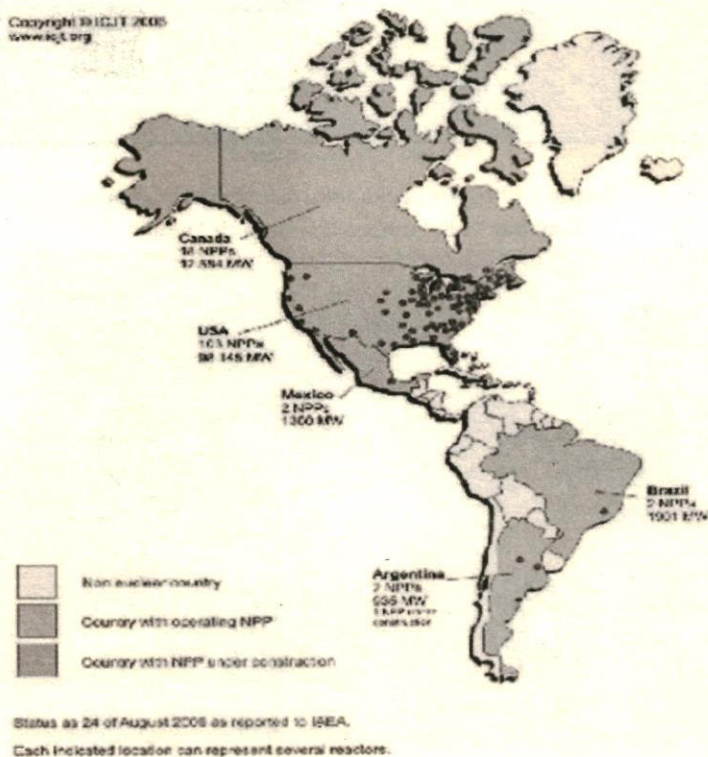


Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>

Gambar 11.9. PLTN di Dunia

Amerika : PLTN terbanyak di dunia sampai saat ini dimiliki oleh Amerika. Jumlah PLTN yang beroperasi di Amerika adalah 104 reaktor, 20% dari total energi listrik yang dihasilkan. 12-32 reaktor dalam tahap pembangunan (*under construction*). Pada pemerintahan Presiden Amerika Bush, berbagai macam persiapan telah dilakukan untuk pengembangan teknologi nuklir, dan pada masa pemerintahan Presiden Barack Obama program ini masih tetap dilanjutkan.

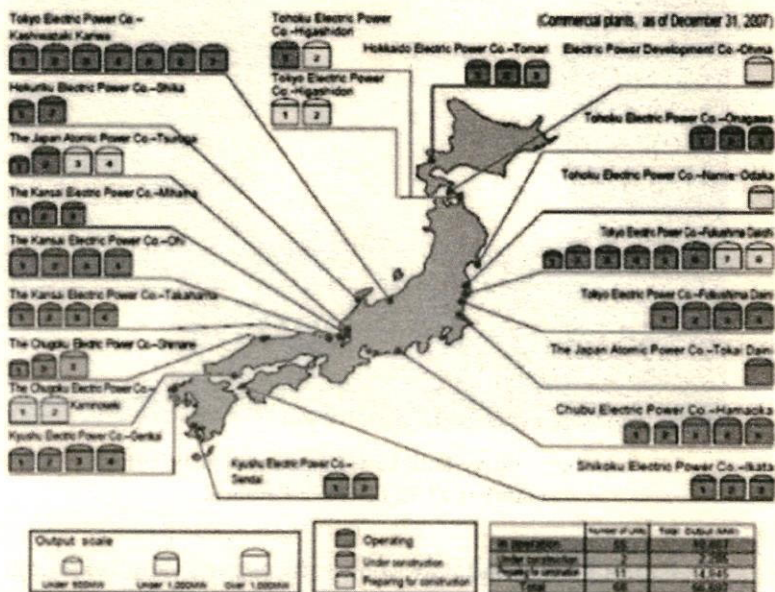
Nuclear Power Plants in America



Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>

Gambar 11.10 PLTN di Amerika

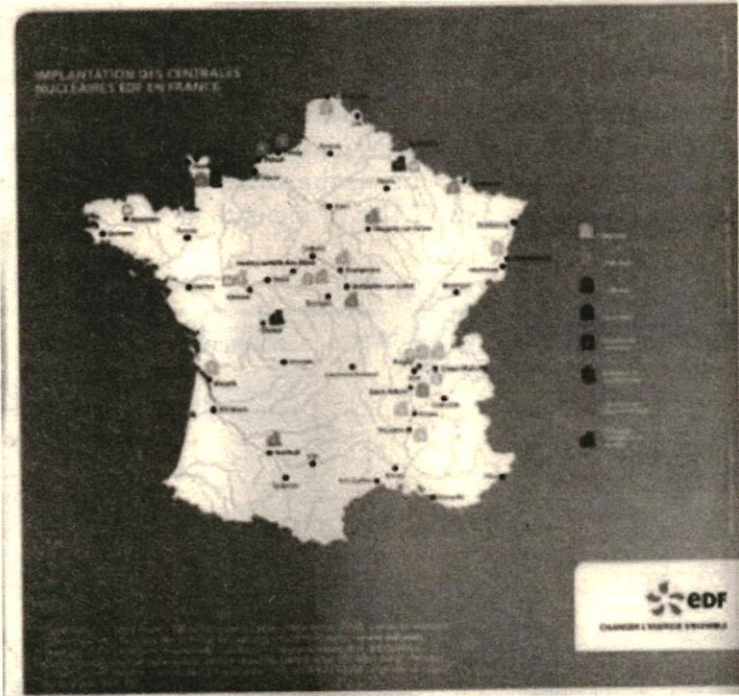
Jepang : Sampai saat ini, jumlah PLTN yang beroperasi di Jepang adalah 53 reaktor, dengan persentasi sebesar 30% dari total energi listrik yang dihasilkan. Sampai tahun 2030 jumlah ini akan bertambah sebesar 15-16 reaktor (*under construction*). Untuk mengurangi produksi gas CO₂, pemerintah Jepang dari Juni 2009 berusaha untuk meningkatkan persentase pembangkit PLTNnya menjadi 40 %.



Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>

Gambar 11.11 PLTN di Jepang

Perancis : Perancis menjadi pemimpin negara-negara Eropa dalam menggunakan PLTN. Hampir 80 % pembangkit listrik di Perancis adalah PLTN, sisanya PLTU dan PLTA. Perancis adalah salah satu negara yang swasembada energi, bahkan perusahaan listrik negara-nya, EDF, adalah perusahaan pemasok listrik terbesar di Eropa, seperti Italia, Belgia, Spanyol dll.

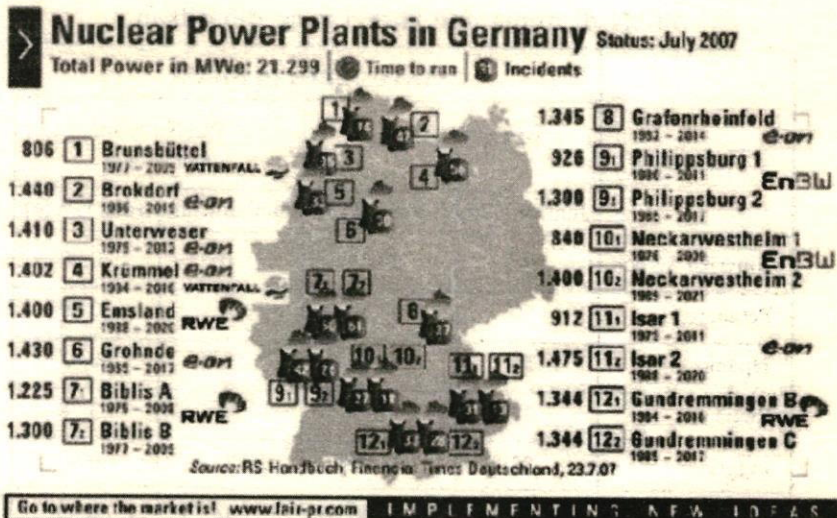


Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>

Gambar 11.12 PLTN di Perancis

China : China adalah salah satu negara yang teknologi nuklirnya berkembang paling pesat sampai saat ini. Di akhir tahun 2008, 11 pembangkit listrik tenaga nuklir telah beroperasi di China, kapasitas daya total dari PLTN yang telah beroperasi ini mencapai 9.068 MW. Hingga saat ini posisi China ada diperingkat 11 sebelah Swedia. Tidak sampai disitu saja, China saat ini berencana untuk melakukan percepatan dalam pembangunan listrik tenaga nuklir. Pada Juli 2009, China memulai untuk membangun lagi 15 PLTN yang saat ini sedang dalam tahap konstruksi dengan kapasitas total mencapai 15.260MW, atau sehingga

Jerman :



EVERS

Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>

Gambar 11.16 PLTN di Jerman

Ukraina :



Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>

Gambar 11.17 PLTN di Ukraina

Tabel 11.3
PLTN di dunia dan energi yang dihasilkan

NEGARA	STATUS PLTN DI DUNIA			
	PLTN Beroperasi		PLTN Dalam Konstruksi	
	Jumlah Unit	Total GW(e)	Jumlah Unit	Total GW(e)
Amerika Serikat	104	99.21	0	0.00
Perancis	59	63.36	0	0.00
Jepang	56	47.84	1	0.87
Rusia	31	21.74	4	3.78
Inggris	23	11.85	0	0.00
Korea Selatan	20	16.81	0	0.00
Kanada	18	12.60	0	0.00
Jerman	17	20.34	0	0.00
Ukraina	15	13.11	2	1.90
India	15	3.04	8	3.60
Swedia	10	8.92	0	0.00
Spanyol	9	7.59	0	0.00
Cina	9	6.60	2	2.00
Belgia	7	5.80	0	0.00
Taiwan	6	4.88	2	2.60
Republik Ceko	6	3.53	0	0.00
Slowakia	6	2.44	0	0.00
Swiss	5	3.22	0	0.00
Bulgaria	4	2.72	0	0.00

SANTIANI

Finlandia	4	2.68	1	1.60
Hungaria	4	1.76	0	0.00
Brazil	2	1.90	0	0.00
Afrika Selatan	2	1.80	0	0.00
Meksiko	2	1.31	0	0.00
Argentina	2	0.94	1	0.69
Pakistan	2	0.43	1	0.30
Lithuania	1	1.19	0	0.00
Slovenia	1	0.66	0	0.00
Rumania	1	0.66	1	0.66
Belanda	1	0.45	0	0.00
Armenia	1	0.38	0	0.00
Iran	0	0.00	1	0.92
Jumlah	443	369.73	24	18.91

Sumber : www.batan.go.id

Tabel 11.4
PLTN di Asia Selatan

JUMLAH PLTN DI ASIA SELATAN			
Wilayah	Beroperasi 2006	Dibangun 2006	Jumlah pada 1996
India	14	8	6
Iran	0	1	0
Pakistan	2	0	1
Jumlah	16	9	7

Sumber : *www.batan.go.id*

Tabel 11.5
PLTN di Asia timur

JUMLAH PLTN DI ASIA TIMUR				
Wilayah	Beroperasi 2006	Dibangun 2006	Jumlah pada 1996	Sasaran
Cina	9	3	0	30
Korsel	20	0	7	-
Jepang	56	1	35	-
Taiwan	6	2	6	-
Jumlah	91	6	48	30

Sumber : *www.batan.go.id*

C. Politik Nuklir Untuk Mendukung Politik Luar Negeri (Polugri) Negara

1. Nuklir untuk polugri, sebuah kebutuhan

AS memelopori perkembangan sistem persenjataan nuklir dunia dengan menjatuhkan bom atomnya di dua kota utama di Jepang, Hiroshima dan Nagasaki, pada penghujung Perang Dunia Kedua. Bencana nuklir tersebut tidak saja menyebabkan puluhan ribu nyawa melayang dan ratusan ribu korban luka-luka dari kalangan masyarakat sipil, tetapi juga memakan korban puluhan ribu bayi bernasib malang yang sama sekali tidak tahu menahu urusan perang. Kemunculan persenjataan baru itu segera saja mengubah perimbangan kekuatan di antara negara-negara utama dunia. Pihak yang memiliki sistem persenjataan nuklir dengan mudah dapat memaksakan kehendaknya kepada musuh-musuh mereka. Tetapi keadaan itu tidak berlangsung lama, ketika Rusia mampu mengejar teknologi nuklir Amerika dengan membuat Bom A dan Bom H. Tidak lama kemudian, Inggris, Prancis, dan Cina menyusul menjadi negara-negara pemilik senjata nuklir.

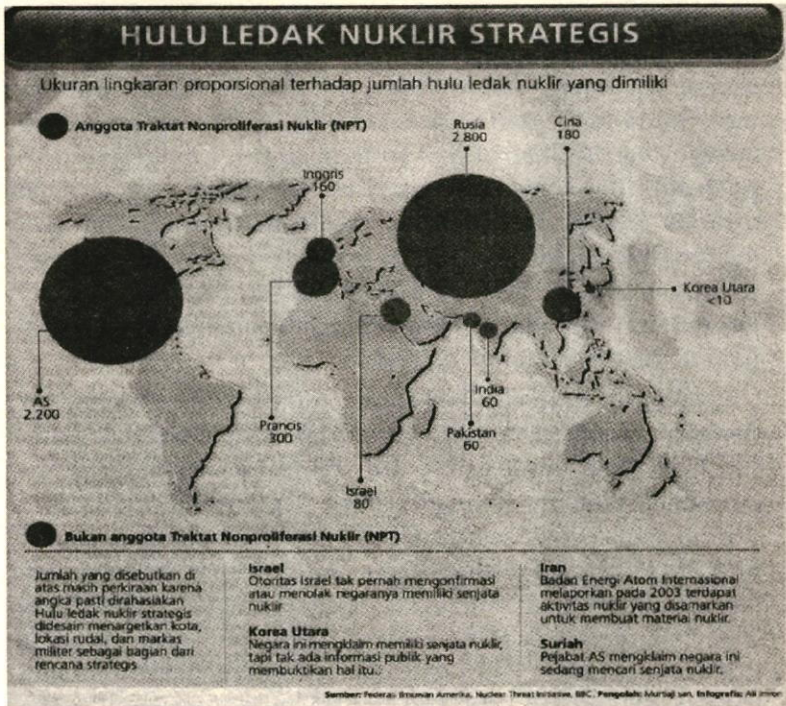
Rusia dan AS dari waktu ke waktu terus berlomba memproduksi senjata pemusnah massal ini hingga mencapai jumlah yang mampu menghancurkan seluruh dunia. Keadaan ini tentu saja menjadi ancaman nyata bagi terwujudnya perdamaian dan keamanan dunia. Bencana kemanusiaan di Hiroshima dan Nagasaki menjadi bukti bahwa pertimbangan "rasional" manusia ternyata mampu menjustifikasi penggunaan suatu jenis persenjataan yang sepatutnya hanya akan digunakan oleh orang-orang yang berdarah dingin.

Selama masa Perang Dingin, masyarakat dunia hidup di tengah teror tak berkesudahan yang dikenal dengan sebutan MAD (*Mutual Assured Destruction*) yang membolehkan pihak yang diserang untuk melancarkan

serangan balasan yang mematikan (dengan senjata nuklir - pen) kepada musuhnya. Pada masa itu, masyarakat dunia menyaksikan bagaimana sumberdaya manusia terbaik, potensi ilmu pengetahuan, kekuatan ekonomi dan finansial, serta sumberdaya militer difokuskan untuk pengembangan ilmu dan teknologi, bukan untuk menciptakan kehidupan yang lebih baik bagi umat manusia, tetapi untuk menciptakan sistem persenjataan yang mematikan, sarana penghancur dan pembunuh yang sangat efektif dan efisien di luar jangkauan angan-angan.

Dalam pemikiran strategi geopolitik, kepemilikan senjata nuklir menjadi simbol bagi suatu negara untuk mendapatkan kedudukannya sebagai salah satu poros kekuatan dunia. Karena itu, mudah dipahami bahwa maksud sesungguhnya dari NPT (*Non-Proliferation Treaty*) adalah untuk memastikan agar pemilik senjata nuklir dibatasi hanya untuk kelima poros kekuatan dunia, yang juga menjadi pemilik hak veto di Dewan Keamanan PBB. Sementara AS dan Rusia berlomba menduduki puncak konstelasi politik dunia, ketiga poros kekuatan dunia - Inggris, Prancis, dan Cina - terus berupaya meningkatkan kemampuan pertahanan nuklirnya dalam rangka memperebutkan bagian "kue" global; "kue" global yang dimaksud tak lain adalah pasar dunia, bahan mentah dan kekayaan alam, serta hak-hak istimewa dalam permainan catur kolonialisme yang tak pernah usai.

Perlombaan senjata nuklir tak pelak menghasilkan persediaan ribuan hulu ledak nuklir, berikut alat dan sistem transportasinya, baik di daratan, lautan, maupun di luar angkasa. Akibat persaingan yang gila-gilaan itu, tidak ada satu pun tempat di bumi maupun di angkasa yang lepas dari penyelidikan manusia. Semua itu dilakukan untuk satu tujuan, yakni mengejutkan musuh dengan senjata nuklirnya.



Gambar 11.18: sebaran hulu ledak nuklir strategis negara-negara di dunia

2. Analisis Kontemporer Politik Nuklir

Pada Januari 2005, Wakil Presiden AS Dick Cheney secara terbuka pernah menyerukan upaya pengembangan dan penyediaan senjata nuklir taktis yang diberi nama samaran "Bunker Buster". Dengan dalih untuk menghancurkan musuh yang bersembunyi di dalam bunker, nama "Bunker Buster" cukup berhasil menyesatkan publik yang berpikir bahwa itu hanyalah bom-bom konvensional yang digunakan untuk menghancurkan bunker-bunker di bawah tanah, padahal yang dimaksud dengan "bunker buster" tidak lain adalah hulu ledak nuklir taktis.

Untuk menyembunyikan maksudnya, AS dan Rusia berpura-pura mengupayakan perdamaian dan keamanan dunia. Sepanjang tahun 70-an, 80-an, dan 90-an, mereka mengadakan negosiasi panjang yang bertujuan untuk mengurangi (bukan dimaksudkan untuk mengeliminasi) pertumbuhan senjata nuklir. Sejumlah perjanjian ditandatangani dan direvisi, meski realitas di lapangan menunjukkan adanya berbagai perbedaan dengan apa yang tertulis di atas kertas. Tak mengherankan jika jumlah arsenal nuklir yang ada di bumi ini tidak semakin berkurang, namun justru semakin banyak.

Sejarah berbagai perjanjian nuklir itu menunjukkan dengan sangat jelas bahwa masalah kunci terletak pada implementasi yang jujur, dan fakta bahwa perjanjian-perjanjian tersebut mencerminkan perimbangan kekuatan dunia. Pada saat George Bush berpikir bahwa ia dapat memanfaatkan kelemahan Rusia untuk segera menjalankan rencana kaum neo-konservatif, pada tanggal 13 Desember 2001 ia sama sekali tidak merasa ragu-ragu untuk menarik diri dari perjanjian SALT 1. Pada saat itulah, untuk pertama kalinya AS menarik diri dari perjanjian internasional tanpa merasa malu sedikit pun. Pada sisi yang lain, hal ini menunjukkan bahwa AS sama sekali tidak pernah menghormati komitmen internasional yang mereka sepakati, apabila kepentingannya mengarahkan mereka ke tujuan yang lain.

Adapun negara-negara nuklir di luar kelima kekuatan yang disebut di atas yaitu: Afrika Utara, Ukraina, Kazakhstan, dan Belarusia, semuanya sudah mengembangkan kemampuan nuklirnya sesuai NPT. Selain itu ada pula Israel, India, Pakistan, dan Korea Utara. Sementara itu, Barat terus melancarkan tuduhan kepada Iran yang dianggap berusaha mengembangkan sistem persenjataan nuklir, meski Iran konsisten berargumentasi bahwa mereka mengembangkan program nuklir semata untuk tujuan damai.

India dan Israel sama sekali tidak berpikir untuk mengembangkan kemampuan nuklirnya sesuai NPT. Menteri Pertahanan Israel, Ehud Barak, secara terbuka pernah menyatakan bahwa tidak ada alasan untuk memaksa Israel menandatangani perjanjian NPT. Namun demikian, Barat dan AS khususnya seolah menutup mata terhadap program persenjataan nuklir Israel. Sebaliknya, mereka terus memberikan bantuan ekonomi dan militer kepada Israel, dan tidak pernah meminta - apalagi menekan - Israel untuk bergabung dalam perjanjian NPT. Sebaliknya, AS pernah menyetujui keputusan konferensi peninjau NPT PBB tanggal 28 Mei 2010 yang meminta Israel menandatangani NPT.

Dengan demikian menjadi jelas bahwa AS menghendaki Israel tetap menjadi salah satu poros kekuatan dunia dan menjadi mata pedang beracun yang menghunjam di jantung kaum Muslim; berperan sebagai lini pertahanan pertama bagi berbagai kepentingan Barat di dunia Islam dan penghalang persatuan seluruh kaum Muslim. Dengan demikian, merupakan suatu hal yang logis bila negara-negara Barat bersikap tutup mata terhadap program senjata nuklir Israel. Namun untuk Iran AS akan melakukan aksi-aksi serius untuk menghentikan program persenjataan nuklir Iran.

Sedangkan India, AS telah menandatangani sebuah perjanjian kerjasama nuklir meskipun India menolak kesepakatan NPT. AS juga terus mengembangkan kemampuan nuklir dan peluru kendali India.

Hal ini tidak selalu berarti bahwa AS dan India telah menjadi sekutu dekat. Partai Kongres yang berkuasa masih sangat pro-Inggris. Namun demikian, AS terus menjalankan politik "*stick and carrot*" untuk memikat partai yang berkuasa di India. Langkah ini diambil agar AS dapat memanfaatkan posisi India sebagai saingan utama melawan Cina, meski hubungannya dengan Pakistan terpaksa harus dipertaruhkan. AS berharap mampu merangkul partai

berkuasa di India melalui perjanjian kerjasama nuklir, dan menghadapkan India dengan Pakistan.

Pada lain pihak AS sangat berkepentingan membangun sistem persenjataan nuklir India yang berbatasan dengan Cina. Pengembangan sistem persenjataan India ini diyakini akan mampu membuat Cina sibuk menghadapi risiko potensial sehingga mengurangi kemampuan Cina dalam menghalangi kepentingan AS.

Demikianlah, ketika membahas program pengembangan nuklir di Israel dan India, maka yang menjadi pertimbangan strategis adalah kepentingan AS, bukan kepentingan kemanusiaan atau keadilan. Inilah penjelasan mengenai sikap Barat, khususnya AS, yang memberikan dukungan kepada Israel dan India, meski mereka tahu persis bahwa kedua negara tersebut tidak menghentikan program persenjataan nuklirnya dan menolak menandatangani perjanjian NPT.

Korea Utara

Besar kemungkinan rezim Korea Utara - yang didukung oleh Cina - akan menerima sebuah penyelesaian sebagai ganti sejumlah jaminan keamanan dan bantuan ekonomi. Pemimpin Korea Utara, Kim Jong Il, menyatakan dalam kunjungannya ke Cina pada 6 Mei 2010, bahwa Korea Utara berkeinginan melanjutkan pembicaraan dengan negara-negara G 6. Kantor berita resmi Korea Utara melaporkan bahwa pemimpin Korea Utara - dalam pertemuannya dengan Presiden Cina Hun Jintao - mengatakan bahwa Korea Utara ingin menciptakan keadaan yang positif bagi kelanjutan pembicaraan. Cina tidak menghendaki adanya sebuah rezim bersenjata nuklir di perbatasannya, dan hal ini mendorong Korea Utara untuk membuat sebuah penyelesaian damai bagi program pengembangan nuklirnya. Insiden tenggelamnya kapal

Korea Selatan baru-baru ini memang sempat menghalangi kelanjutan pembicaraan, tetapi kondisi di Semenanjung Korea tidak akan memburuk sampai terjadi konfrontasi militer.

Pakistan

Negara-negara Barat mempunyai pendapat yang berbeda-beda tentang program nuklir Pakistan. Media massa Barat telah lama menjuluki program senjata nuklir Pakistan dengan istilah "Islamic Atomic Bomb". Pada saat AS menyewa perusahaan keamanan partikelir seperti Black Water, yang melancarkan teror peperangan di berbagai kota di Pakistan, mereka melancarkan pemboman di mana-mana untuk menciptakan kesan bahwa Pakistan adalah negara gagal yang dikerumuni kelompok-kelompok teroris dari kalangan Islam fundamentalis. Sejak peristiwa 9-11-2001, AS telah menggambarkan Islam dan politik Islam sebagai ancaman utama bagi kemanusiaan. Maka, dalam rangka mewujudkan agenda geostrateginya di mana pun mereka berada, AS selalu melancarkan tuduhan mengenai adanya sel-sel teroris Islam, yang menjadi alasan untuk melancarkan serangan, mengenakan sanksi, atau memberikan tekanan-tekanan kepada rezim di berbagai negeri Muslim.

Terkait dengan program nuklirnya, AS telah menggambarkan India sebagai negara yang bertanggung jawab, yaitu negara yang melakukan langkah-langkah pengamanan yang memadai untuk melindungi instalasi-instalasi nuklir dan mencegah berkembangnya nuklir di tangan kelompok-kelompok yang tidak bertanggung jawab. Perjanjian nuklir Amerika India (2008) telah membuka jalan bagi pembangunan 16 reaktor nuklir di India.

Sebaliknya, Pakistan, yang telah lama disebut-sebut sebagai sekutu AS di wilayah tersebut, dipandang

pemerintah AS sebagai negara yang tidak bertanggung jawab dalam program nuklirnya. Penilaian ini muncul karena banyaknya pejabat Pakistan yang dituduh terlibat dalam praktik jual-beli nuklir ilegal dengan kelompok-kelompok yang tak bertanggung jawab. Kasus-kasus tersebut cukup menjadi alasan bagi pemerintah AS untuk mengakhiri kerjasama pengembangan nuklir dengan Pakistan. Bocoran berbagai laporan menunjukkan adanya peringatan tentang adanya ancaman potensial jika bom-bom nuklir Pakistan jatuh ke pihak-pihak yang salah, atau jika ekstremis-ekstremis Islam berhasil mengambil alih kekuasaan yang rapuh di Pakistan, dengan dukungan dari sejumlah tokoh kunci di kalangan militer Pakistan. Dalam konferensi tingkat tinggi nuklir yang terakhir di Washington, 8 April 2010, *The New York Times* mengutip pernyataan salah seorang pejabat AS, bahwa dalam pertemuan antara Obama dan Perdana Menteri Pakistan Gilani, Obama telah menekan Gilani agar menandatangani perjanjian tentang produksi bahan bakar nuklir.

Berbeda sekali dengan kebijakan AS dalam pengembangan dan percepatan industri nuklir India, ketika Cina dan Pakistan mengumumkan kerjasama mereka untuk membangun dua reaktor nuklir di Pakistan pada akhir April 2010 lalu, AS menyatakan protes kerasnya, dan menuduh Cina telah melanggar kewajibannya dalam perjanjian NPT.

Demikianlah, secara efektif AS menggunakan segala cara untuk melucuti kemampuan nuklir Pakistan dan Cina.

Iran

Aktivitas nuklir Iran dimulai sejak masa Shah Iran, ketika pemerintah Iran bekerjasama dengan perusahaan-perusahaan Prancis dan Jerman. Iran telah menandatangani NPT pada tahun 1970. Setelah revolusi 1979, rezim Iran menghentikan program nuklirnya hingga Presiden Rafsanjani memulainya lagi pada pertengahan 1990-an. Pada

tahun 1995, pemerintah Iran menjalin kerjasama dengan Rusia yang menyelesaikan pembangunan instalasi nuklir yang ditinggalkan perusahaan-perusahaan Eropa.

Krisis nuklir antara Iran dan Eropa bermula pada tahun 2003, ketika tokoh-tokoh oposisi Iran melancarkan tuduhan bahwa Iran tidak melaporkan aktivitas dan instalasi nuklir rahasia kepada IAEA. Setelah pembicaraan yang panjang, IAEA memutuskan untuk membawa persoalan nuklir Iran ke Dewan Keamanan PBB. Pada 23 Desember 2006, Dewan Keamanan mengeluarkan resolusi 1737. Selama itu, AS tidak ikut campur dalam pembicaraan dengan Iran, hingga ia terjun dalam persoalan tersebut setelah resolusi ini keluar. AS bersama negara-negara Eropa (5 anggota tetap DK PBB) dan Jerman bertugas mencari penyelesaian dalam kasus tersebut.

Negara-negara Eropa, plus Israel, terus berusaha melibatkan AS dalam persoalan nuklir Iran ini, karena mereka merasa tidak mampu menyelesaikannya sendiri. AS selama ini segan ikut campur dalam persoalan ini, dan terus berusaha menjaga jarak. Ketika tekanan negara-negara Eropa semakin memuncak, mereka meminta AS untuk mengambil langkah-langkah yang efektif untuk menekan Iran. AS memberikan tekanan dengan mengenakan sejumlah sanksi yang samar-samar setelah berlangsung pembicaraan yang panjang. AS memberikan peringatan langsung maupun tak langsung kepada rezim Iran untuk melepas ketegangan dengan negara-negara Eropa.

Dengan alasan bahwa serangan militer terhadap fasilitas nuklir Iran hanya akan menyulitkan api yang lebih besar di Timur Tengah, di mana AS mempunyai banyak kepentingan di wilayah tersebut. Kecenderungan sanksi yang dialamatkan kepada Iran mempunyai sebuah pola: Inggris dan Prancis, didukung oleh Israel, menghendaki adanya upaya membuka serangan terhadap Iran. AS merasa segan ikut campur, dan berupaya menyelesaikan krisis ini

dengan mengenakan sejumlah sanksi, hingga kemudian negara-negara Eropa kembali memanas. Inilah yang terjadi sejak sanksi yang pertama pada bulan desember 2006 hingga sanksi keempat pada bulan Juni 2010, termasuk kesepakatan Geneva dan Teheran di antara sanksi-sanksi tersebut.

Setelah sanksi yang ketiga pada bulan Maret 2008, persoalan sempat mendingin sebentar, hingga Inggris, Prancis, dan Israel mulai kembali menekan Iran pada musim panas 2009 untuk menghentikan proses pengayaan uranium, lengkap dengan ancaman implisit dari Israel yang hendak menyerang fasilitas nuklir Iran. Campur tangan AS meyakinkan rezim Iran untuk menandatangani kesepakatan Geneva pada tanggal 1 Oktober 2009 yang mampu mendinginkan suasana tegang selama hampir 7 bulan. Ketika Eropa dan Israel mendapati bahwa kesepakatan Geneva tidak lebih merupakan konsesi taktis bagi Iran, mereka kembali menyusun tekanan dan memperbaharui ancamannya terhadap Iran. Sebagai salah satu upayanya mendinginkan suasana, AS meminta Turki dan Brazil sebagai perantara untuk mendapatkan kompromi.

Presiden Brazil dan PM Turki menyatakan bahwa keikutsertaan mereka berada dalam koordinasi AS. Pada saat-saat akhir, Iran setuju dengan inisiatif Turki dan Brazil yang didukung AS untuk melaksanakan proses pengayaan lanjutan di luar Iran, yaitu di Turki, dan menandatangani perjanjian di Teheran pada tanggal 7 Mei 2010. Ketika negara-negara Eropa dan Israel menganggap bahwa kesepakatan tersebut hanyalah pura-pura saja, AS segera mengenakan serangkaian sanksi baru yang akhirnya disetujui oleh DK PBB dengan resolusi no 1929 pada tanggal 9 Juni 2010.

Demikianlah, pola itu berlangsung berulang-ulang: tiap kali Eropa dan Israel memanas suasana, AS akan terjun untuk mendinginkan krisis tersebut untuk menghindari penggunaan serangan militer sebagai bentuk sanksi terhadap Iran. Menteri Luar Negeri Inggris, pada

satu hari setelah resolusi 1929 itu ditandatangani, dalam kunjungannya ke Jerman pada 10 Juni 2010, menyatakan bahwa Uni Eropa tengah mempertimbangkan akan mengenakan sanksi tambahan kepada Iran. Dan inilah yang terjadi.

Secara ringkas dapat dikatakan bahwa Eropa dan Israel ingin menyelesaikan kasus nuklir Iran secara langsung dengan serangan militer atas fasilitas nuklir Iran, atau paling tidak mengenakan sanksi yang mampu melumpuhkan kekuatannya. Di pihak lain, AS, tidak ingin menyelesaikan kasus dengan sanksi berupa serangan militer atau sanksi keras yang akan mengakhiri perselisihan. AS ingin menyelesaikan krisis dengan tingkat intensitas yang rendah, yang diselesaikan dengan sanksi-sanksi yang bersifat umum, yang dikenakan setelah melewati pembicaraan yang panjang.

AS ingin memperpanjang krisis nuklir Iran karena sejumlah alasan, yaitu:

1. Ingin menggunakan ancaman nuklir Iran sebagai alasan untuk menebarkan misil-misil AS yang berbasis di Eropa (Polandia, Ceko, Slovakia), untuk mengepung Rusia dengan sistem rudal mutakhir yang mampu mencapai pedalaman Rusia. Hal ini juga membuat Eropa tetap berada di bawah payung perlindungan AS dari ancaman potensial yang berasal dari Iran dan Korea Utara.
2. Agar dapat menggunakan Iran sebagai ancaman yang menakutkan negara-negara Teluk, sehingga negara-negara tersebut berada dalam kondisi tidak stabil. Hal ini akan menyebabkan AS mempunyai argumentasi untuk memperluas jaringan pangkalan-pangkalan militernya di wilayah tersebut semata-mata karena menghadapi ancaman dari Iran. Sebagaimana diketahui, di wilayah tersebut terdapat tiga negara penghasil minyak terbesar di dunia: Arab Saudi, Kuwait, dan Iran. Langkah politik tersebut akan memberikan jaminan bagi AS agar dapat mengontrol wilayah kaya minyak

tersebut, sehingga membuat AS dapat mengontrol kondisi perekonomian global.

3. Sebagai pihak yang berperan sebagai penentu sanksi atas Iran, AS dapat menunjukkan citranya sebagai pemimpin yang "bijaksana", meski sesungguhnya AS hanya mengelola / memperpanjang krisis tanpa sedikit pun niat bersikap "lemah-lembut". Demikianlah cara AS "melipat karpet" dari bawah Eropa maupun Israel.

Perbedaan sikap antara Eropa dan Israel di satu pihak, dan AS di pihak lain, mengenai Iran mencerminkan perbedaan kebijakan antara kedua pihak tersebut terhadap rezim yang berkuasa di Iran. Eropa dan Israel berusaha menjatuhkan rezim yang berkuasa dengan serangan militer atau serangkaian sanksi keras yang melumpuhkan meski harus dilakukan secara unilateral. Sementara itu, AS tidak ingin menjatuhkan rezim yang berkuasa, tetapi menentukan arah kebijakan yang diambil. Amerika melihat rezim yang berkuasa di Iran sebagai faktor positif untuk menstabilkan Afghanistan dan Irak. Rafsanjani telah menyatakan hal ini secara terbuka dalam pidatonya di Universitas Teheran tanggal 7 Februari 2002. Realitasnya, program nuklir Iran adalah untuk kepentingan damai yang diperbolehkan menurut NPT. Eropa, Israel, dan AS telah mengangkat isu demi tujuan-tujuan geostrategisnya masing-masing, bukan untuk menghentikan program persenjataan nuklir karena pada hakikatnya program itu tidak ada.

Demikianlah realitas negara-negara pemilik senjata nuklir dengan Iran yang tidak memiliki senjata nuklir, tetapi ingin menggunakan teknologi nuklir untuk kepentingan damai. Negara-negara utama tersebut memanipulasi krisis nuklir Iran demi kepentingan geostrategis masing-masing.

Telah nampak jelas bahwa negara-negara pemilik senjata nuklir berusaha memonopoli senjata nuklir, berikut teknologi yang terkait dengannya, dan membatasi penggunaannya hanya untuk mereka.

Amerika, melalui berbagai strateginya, mengadakan sejumlah pertemuan dan konvensi, seperti pertemuan tingkat tinggi tentang keamanan nuklir yang diadakan di Washington pada tanggal 13 April 2010, di mana 47 negara berkumpul bersama mendiskusikan apa yang disebut sebagai keamanan nuklir internasional di balik upaya organisasi-organisasi teroris untuk mendapatkan material nuklir. AS juga berusaha memperlihatkan upaya serius untuk menciptakan dunia yang bebas senjata nuklir. Obama, misalnya, menandatangani Perjanjian START II di Praha pada tanggal 8 April 2010 bersama Presiden Rusia Medvedev, dengan tujuan untuk menyampaikan pesan kepada dunia bahwa kedua bangsa itu berkomitmen untuk mengurangi secara drastis hulu ledak nuklir yang mereka miliki, diperkuat dengan opini media yang menyebarkan informasi tentang bahaya senjata nuklir.

Tujuan diadakannya pertemuan tingkat tinggi itu bukanlah untuk menghapuskan senjata nuklir, tetapi untuk mencegah pengembangannya. Meski demikian, kita melihat kemudian pertunjukan standar ganda AS ketika berurusan dengan India dan Israel. Tujuan sebenarnya dari penyelenggaraan pertemuan tingkat tinggi itu adalah:

1. Melayani agenda domestik Obama dan Partai Demokrat untuk menghadapi pemilihan umum pada bulan November 2010, dan untuk memulihkan kredibilitas AS di dunia internasional, setelah terpuruk di masa pemerintahan sebelumnya. Pertemuan tersebut juga dimaksudkan untuk mengembalikan kedudukan AS setelah tergoncang oleh badai krisis finansial dan kekalahan militer AS di Iraq dan Afghanistan. Tujuan pencitraan ini kiranya dapat menjelaskan kemegahan pertemuan yang diselenggarakan, di mana 47 negara diundang dalam pertemuan ini. Pertemuan itu sendiri merupakan pertemuan pertama sejak 1945 ketika warga New York menyaksikan sebuah pertemuan global.

2. Membatasi dan mengendalikan aktivitas nuklir internasional, dengan jalan melacak dan mengawasi seluruh laboratorium dan para staf yang bekerja di dalamnya, serta melakukan tindakan pencegahan andaikata ada kebocoran dari kelompok-kelompok yang tak bertanggungjawab. Pertemuan tersebut menghasilkan sejumlah deklarasi, di antaranya: "Kontribusi positif terhadap berbagai mekanisme seperti inisiatif internasional untuk memerangi terorisme nuklir serta peningkatan kemampuan bagi pihak-pihak yang berwenang menegakkan hukum dalam bidang industri maupun staf-staf teknis."
3. Berusaha mengumpulkan persediaan uranium dan plutonium yang telah diperkaya sebagaimana dinyatakan dalam deklarasi: "Mengumpulkan uranium dan plutonium yang telah diperkaya dan mengurangi penggunaannya." Tujuan ini senada dengan pertemuan tinggi tinggi Mexico yang merekomendasikan pemindahan uranium yang diperkaya ke AS. Rekomendasi pertemuan Mexico menyatakan bahwa pertemuan telah berhasil dan mendorong negara-negara lain untuk mengikuti rekomendasi tersebut. Presiden Chile menyatakan bahwa Chile akan menyerahkan persediaan uranium yang telah diperkaya ke AS; demikian pula Ukraina yang mengumumkan bahwa mereka akan mengirimkan persediaan uraniumnya yang cukup untuk membuat sejumlah bom nuklir, sebelum pelaksanaan pertemuan tingkat tinggi berikutnya pada tahun 2012.
4. AS mengharapkan negara-negara pemilik senjata nuklir lain, seperti Prancis dan Cina, turut dalam perjanjian pelucutan senjata nuklir. Prancis memberikan tanggapan negatif terhadap pertemuan tingkat tinggi ini. Presiden Prancis Nicholas Sarkozy menyatakan, "Saya tidak akan menyerahkan senjata nuklir yang memberikan jaminan keamanan bagi bangsa ini di masa yang sangat genting

sebagaimana saat ini." Sarkozy paham bahwa kedudukan AS tidak berada di atas Prancis, demikian pula negara-negara pemilik senjata nuklir lainnya. Maka, demikianlah jawaban yang ia berikan. AS paham sepenuhnya bahwa ia tidak dapat memaksa negara pemilik senjata nuklir lainnya untuk mengikuti apa yang dikehendaki. Tiap negara pemilik senjata nuklir mempunyai kedudukan politik tertentu; mereka dapat berdiri tegak di hadapan AS, menolak keinginannya, menentang rencana dan manuvernya, atau bahkan berdiri melawannya. Hillary Clinton dalam pidatonya di Praha pernah menyiratkan hal seperti ini. Ia berkata, "Pengembangan nuklir dan terorisme menimbulkan dua tantangan global, dan oleh karena itu keduanya membutuhkan respon global. Inilah alasan mengapa Presiden Obama mengundang para pemimpin negara untuk hadir dalam pertemuan tingkat tinggi di Washington." Cina memberikan respon cepat pada hari yang sama, sebagaimana dinyatakan dalam Chinese Global Times, "Obama telah bicara banyak tentang tujuannya menciptakan dunia yang bebas nuklir. Well, yang pertama kali dia lakukan mestinya adalah menjadi teladan bagi negara-negara lain, yaitu dengan menyerahkan hulu ledak nuklir yang dia miliki, bukan sekadar retorika belaka. Bila dia tidak melakukan hal itu, maka ia akan mendapati kesulitan dalam meyakinkan negara-negara lain ketika dia meminta negara-negara tersebut untuk menyerahkan senjata nuklirnya. Amerika tidak akan mampu meyakinkan siapa pun agar menyerahkan senjata nuklirnya, sementara AS tetap menyimpan senjata nuklir miliknya."

5. Mencegah penyebaran dan perbanyakannya (proliferasi) uranium yang diperkaya berikut teknologinya ke negara-negara yang tidak diizinkan untuk memilikinya. Untuk mendapatkan senjata nuklir bukanlah perkara sulit, dan AS khawatir perkembangan teknologi nuklir


ke berbagai pihak di dunia ini akan membahayakan kedudukannya di dunia dan mengancam hegemoninya. Dalam pertemuan tingkat tinggi itu dihasilkan deklarasi yang menyatakan, "terdapat lebih dari 2000 ton plutonium dan uranium yang diperkaya di puluhan negara di dunia yang dimanfaatkan untuk kepentingan damai dan militer." Juga dikatakan, "terdapat 18 kasus pencurian atau hilangnya uranium dan plutonium yang diperkaya, dan boleh jadi ada kasus-kasus lain yang belum ditemukan atau belum dilaporkan."

Semua tujuan di atas menunjukkan dengan sangat jelas bahwa pertemuan tingkat tinggi itu tidak lebih merupakan sebuah upaya konsolidasi monopoli senjata nuklir untuk mengokohkan kolonialisme poros-poros kekuatan dunia terhadap negara-negara lain.

D. Pandangan Islam Tentang Pengembangan Nuklir

Pandangan Islam tentunya adalah pandangan yang Islami yang digali dari nash-nash syara'. Di antara pandangan itu adalah:

1. Tujuan jihad dalam Islam adalah untuk membangkitkan manusia dengan menyebarkan Islam kepada umat manusia, dan bukan dimaksudkan untuk memusnahkan atau menghancurkan manusia.
 - a. Islam adalah risalah dari Allah swt yang diturunkan sebagai rahmat bagi seluruh umat manusia.

 وَمَا أَرْسَلْنَاكَ إِلَّا رَحْمَةً لِّلْعَالَمِينَ

Tiadalah Kami mengutus kamu, melainkan untuk (menjadi) rahmat bagi semesta alam. (Al Anbiya: 107)

- b. Islam membangkitkan kehidupan manusia.

أَوْ مَن كَانَ مَيِّتًا فَأَحْيَيْنَاهُ وَجَعَلْنَا لَهُ نُورًا يَمْشِي بِهِ
 فِي النَّاسِ كَمَن مَّثَلُهُ فِي الظُّلُمَاتِ لَيْسَ بِخَارِجٍ مِّنْهَا
 كَذَلِكَ زُيِّنَ لِلْكَافِرِينَ مَا كَانُوا يَعْمَلُونَ

Dan Apakah orang yang sudah mati kemudian Dia Kami hidupan dan Kami berikan kepadanya cahaya yang terang, yang dengan cahaya itu Dia dapat berjalan di tengah-tengah masyarakat manusia, serupa dengan orang yang keadaannya berada dalam gelap gulita yang sekali-kali tidak dapat keluar dari padanya? Demikianlah Kami jadikan orang yang kafir itu memandang baik apa yang telah mereka kerjakan. (Al An'am: 122)

- c. Dalam Islam diharamkan melukai warga sipil, merusak pepohonan, dan menghancurkan bangunan. Rasulullah SAW bersabda dalam hadisnya yang artinya:

Berangkatlah (berperang) dengan nama Allah dan demi Agama Rasulullah. Janganlah membunuh orang tua, anak-anak, bayi, dan perempuan... (HR Abu Dawud dari Anas bin Malik)

- d. Imam Malik meriwayatkan dalam Al Muwatta bahwa ketika Khalifah Abu Bakar ra memberangkatkan sebuah pasukan ke Suriah, beliau berpesan kepada komandan pasukan, "... Saya menasihati engkau dengan sepuluh perintah: jangan membunuh wanita, anak, atau orang tua, jangan memotong pohon berbuah, jangan menghancurkan rumah, jangan membunuh hewan (domba atau unta), kecuali untuk

- (tujuan) makan, jangan membakar pohon palem dan menebangnya, jangan mencuri, jangan pengecut”
- e. Semua dalil di atas bertolak belakang dengan politik perang dengan cara pemusnahan umat manusia dan menghasilkan kehancuran yang bersifat massal sebagaimana halnya senjata nuklir. Karena itu, membuat senjata nuklir pada asalnya merupakan perkara yang haram.
2. Akan tetapi, ketika sebuah - atau lebih dari satu - negara memiliki sistem persenjataan yang sangat mematikan, seperti senjata nuklir, sedangkan kemungkinan penggunaannya semakin meningkat, maka wajib bagi negara Islam untuk berupaya memiliki sistem persenjataan yang sama.

..... وَالْحُرْمَتُ قِصَاصٌ فَمَنْ أَعْتَدَىٰ عَلَيْكُمْ فَأَعْتَدُوا عَلَيْهِ

بِمِثْلِ مَا أَعْتَدَىٰ عَلَيْكُمْ.....

Pada sesuatu yang patut dihormati berlaku hukum qishaash. oleh sebab itu barangsiapa yang menyerang kamu, Maka seranglah ia, seimbang dengan serangannya terhadapmu. (Al Baqarah: 194)

وَأِنْ عَاقَبْتُمْ فَعَاقِبُوا بِمِثْلِ مَا عُوقِبْتُمْ بِهِ ۖ وَلَئِنْ صَبَرْتُمْ

لَهُوَ خَيْرٌ لِلصَّابِرِينَ

Dan jika kamu memberikan balasan, Maka balaslah dengan Balasan yang sama dengan siksaan yang ditimpakan kepadamu (An Nahl: 126)

Karena itu, Negara Islam diwajibkan memiliki senjata nuklir, jika musuh-musuhnya juga memiliki senjata nuklir.

3. Allah swt memerintahkan kita untuk mempersiapkan kekuatan maksimal yang kita miliki untuk menggentarkan orang-orang yang memusuhi kita; jadi, apabila musuh memiliki senjata nuklir, maka mereka tidak akan merasa gentar berhadapan dengan Negara Islam, kecuali bila Negara Islam memiliki senjata nuklir pula.

وَأَعِدُّوا لَهُمْ مَا اسْتَطَعْتُمْ مِنْ قُوَّةٍ وَمِنْ رِبَاطِ الْخَيْلِ تُرْهَبُونَ

بِهِ عَدُوَّ اللَّهِ وَعَدُوَّكُمْ وَءَاخِرِينَ مِنْ دُونِهِمْ لَا تَعْلَمُونَهُمُ اللَّهُ يَعْلَمُهُمْ

وَمَا تُنْفِقُوا مِنْ شَيْءٍ فِي سَبِيلِ اللَّهِ يُوَفِّ إِلَيْكُمْ وَأَنْتُمْ لَا تُظْلَمُونَ ﴿٦٠﴾

Siapkanlah untuk menghadapi mereka kekuatan apa saja yang kamu sanggupi dan dari kuda-kuda yang ditambat untuk berperang (yang dengan persiapan itu) kamu menggentarkan musuh Allah dan musuhmu dan orang-orang selain mereka yang kamu tidak mengetahuinya; sedang Allah mengetahuinya. apa saja yang kamu nafkahkan pada jalan Allah niscaya akan dibalasi dengan cukup kepadamu dan kamu tidak akan dianiaya (dirugikan). (Al Anfaal: 60)

Menggentarkan musuh berarti membuat mereka takut hingga tidak berani menyerang Negara Islam, atau dalam istilah sekarang dikenal sebagai "mutual deterrence". Musuh tidak akan takut menyerang kaum Muslim, kecuali jika kaum Muslim memiliki senjata yang lebih kuat, atau paling tidak sama, dengan senjata yang mereka miliki. Bila musuh memiliki senjata nuklir, maka kaum Muslim juga harus memilikinya.

4. Islam melarang Negara Islam menandatangani perjanjian NPT yang memperbolehkan negara lain memiliki senjata nuklir. Akan tetapi, Islam memperbolehkan penandatanganan perjanjian-perjanjian yang diarahkan untuk menghapuskan senjata nuklir. Membiarkan sejumlah negara memiliki senjata nuklir sehingga menimbulkan bahaya bagi negara-negara lain yang tidak memiliki, maka hal itu merupakan suatu perkara yang dilarang oleh Islam. Allah bersabda dalam Al Qur'an,

قَدْ جَعَلَ اللَّهُ لِكُلِّ شَيْءٍ قَدْرًا ﴿٣﴾

Sesungguhnya Allah melaksanakan urusan yang (dikehendaki)Nya. Sesungguhnya Allah telah Mengadakan ketentuan bagi tiap-tiap sesuatu. (At Talaq: 3)

Daftar Pustaka

- Beisser, A. 1990. *Konsep Fisika Modern*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- Brtsch McGrayne, Sharon. 1993. *Nobel Prize Women in Science Their Lives, Struggles, and Momentous Discoveries, Second Edition*. United State. Joseph Henry Press
- Krane, K. S. 1983. *Modern Physics*. New York. John Wiley & Sons.
- Krane, K. S. 1992. *Fisika Modern* penterjemah Hans J. Wospakrik. Jakarta. Universitas Indonesia Press.
- Muljono. 2003. *Fisika Modern*. Yogyakarta. Penerbit Andi
- Suryowinoto, M. 1990. *Tenaga Atom*. Yogyakarta. Penerbit Kanisius.
- Soegimin. 2003. *Fisika Reaktor*. Program Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya.
- Soegimin. 2008. *Bahan Perkuliahan Fisika Inti*. Program Pendidikan Sains Program Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya
- Soedoyo, P. 2001. *Azas-azas Ilmu Fisika Jilid 4 Fisika Modern*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Staff International Atomic Energy Agency. 1998. *Choosing the Nuclear Power Option: Factors to Be Considered*. Bernan Associates Lanham MD

Staff International Atomic Energy Agency. 1998. *Choosing the Nuclear Power Option: Factors to Be Considered*. Bernan Associates Lanham MD

Wiyatmo, Y. 2006. *Fisika Nuklir dalam Telaah Semi-klasik & Kuantum*. Yogyakarta. Pustaka Pelajar

W.K, Davis. 1984. *Problems and Prospects for Nuclear Power*. Chem. Eng. Progress

http://lh6.ggpht.com/rdkkurnia/clip_image0171.gif

<http://www.faktailmiah.com/wp-content/uploads/2011/03/limbah-transuranic.jpg>

<http://www.batan.go.id>

<http://nuclearcommunity.blogspot.com/2008/04/fusion-and-fission-reaction.html>

<http://www.rizkyagung.com/wp-content/uploads/2011/01/fission.jpeg>

http://www.wikipedia.Peluruhan_radioaktif.htm

<http://kliktedy.wordpress.com/2010/03/22/radioaktivitas/>

http://www.IreneJoliot-Curie/Penemu-radioaktivitas/buatan/Chem-Is-Try.Org_Situs/Kimia/Indonesia..htm

<http://3.bp.blogspot.com/how-does-radioactive-decay-work.gif>

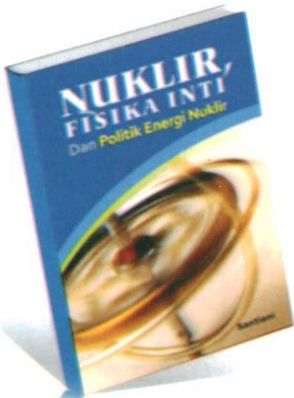
Hart, Michael. 1982. *Seratus Tokoh yang Paling Berpengaruh dalam Sejarah* (Terjemahan H.Mahbub Djunaidi). Jakarta. Dunia Pustaka Jaya

<http://www.googlebottle.com/tokoh-dunia/antoine-henri-becquerel-penemu-radio-aktif.html>

<http://www.biografiasyvidas.com/biografia/r/rutherford.htm>

Sumber : <http://kadekadokura.wordpress.com>

<http://hizbut-tahrir.or.id/2010/07/27/>



Buku yang diberi judul Nuklir, Fisika Inti dan Politik Energi Nuklir ini, memberikan gambaran tentang bagaimana fisika inti, struktur inti atom, dan radioaktivitas, serta reaksi inti atom. Buku ini juga membahas tentang reaktor dan energi nuklir hingga politik energi nuklir. Dengan hadirnya buku diharapkan bisa berkontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.



INTRAMEA
KELOMPOK PENERBIT INTRANS Pub.
Jl. Joyosuko Metro 42 Malang, Jatim
Telp./Fax. 0341-573650
redaksi.intrans@gmail.com

ISBN : 978-602-95802-7-3

