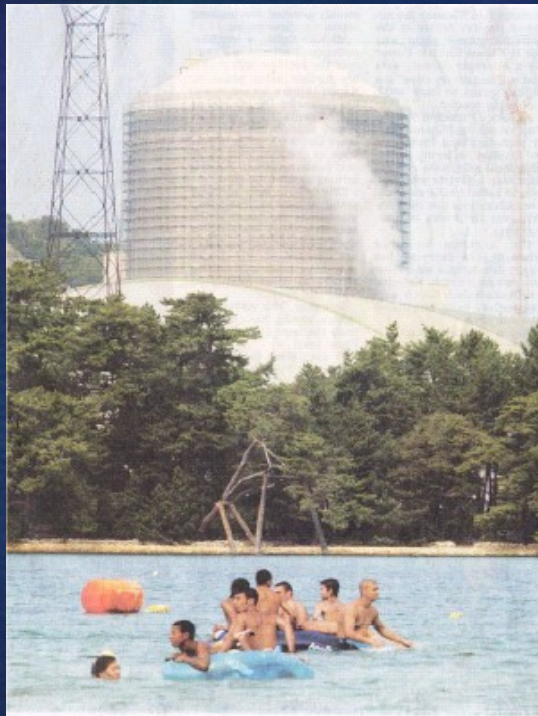


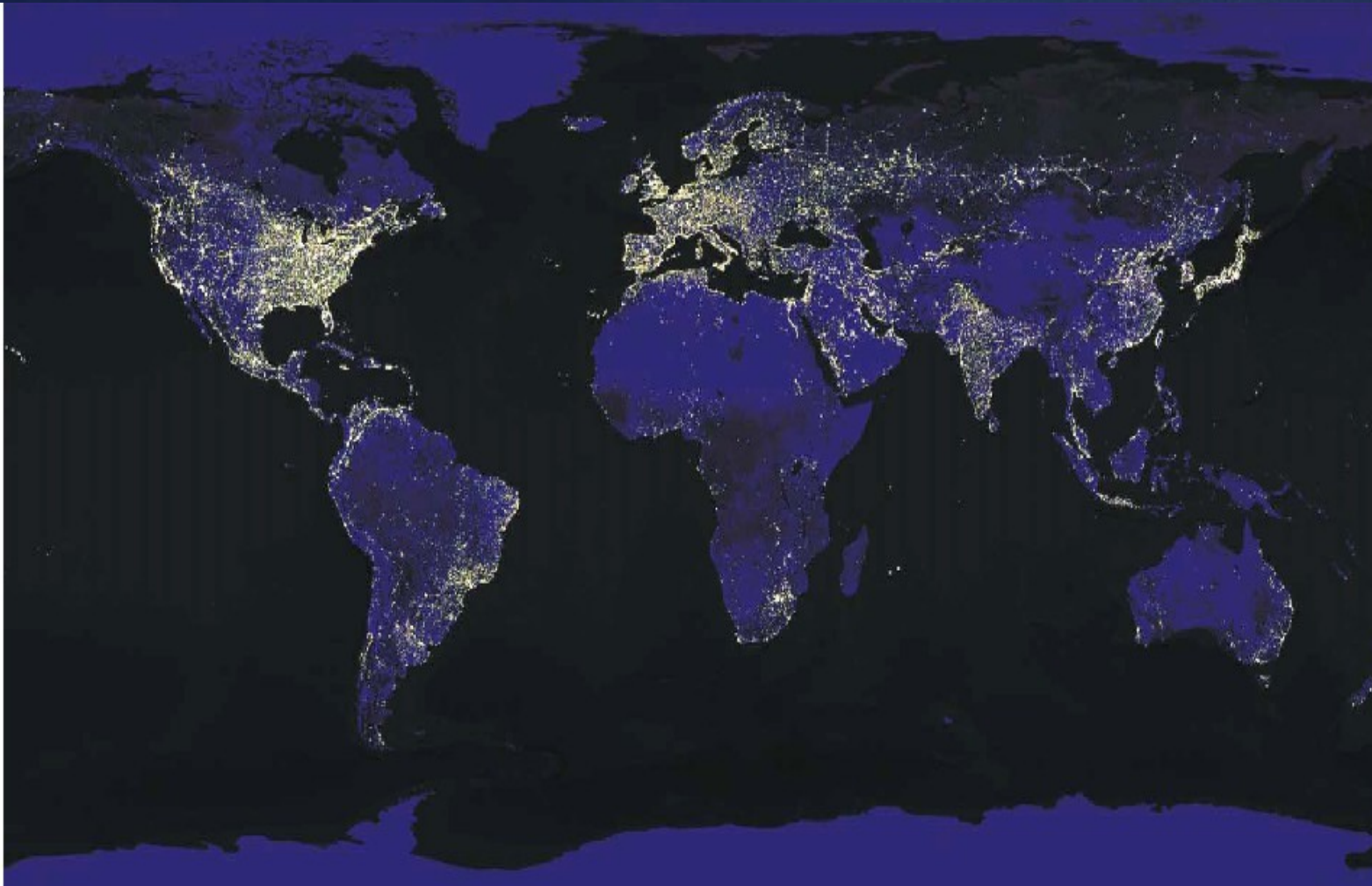
Pengenalan PLTN

Dr. Ir. Sudi Ariyanto, M.Eng.
Pusat Pengembangan Energi Nuklir
Badan Tenaga Nuklir Nasional
asudi@batan.go.id;
sudi_ariyanto@yahoo.com





ENERGY IS THE POWER OF A NATION





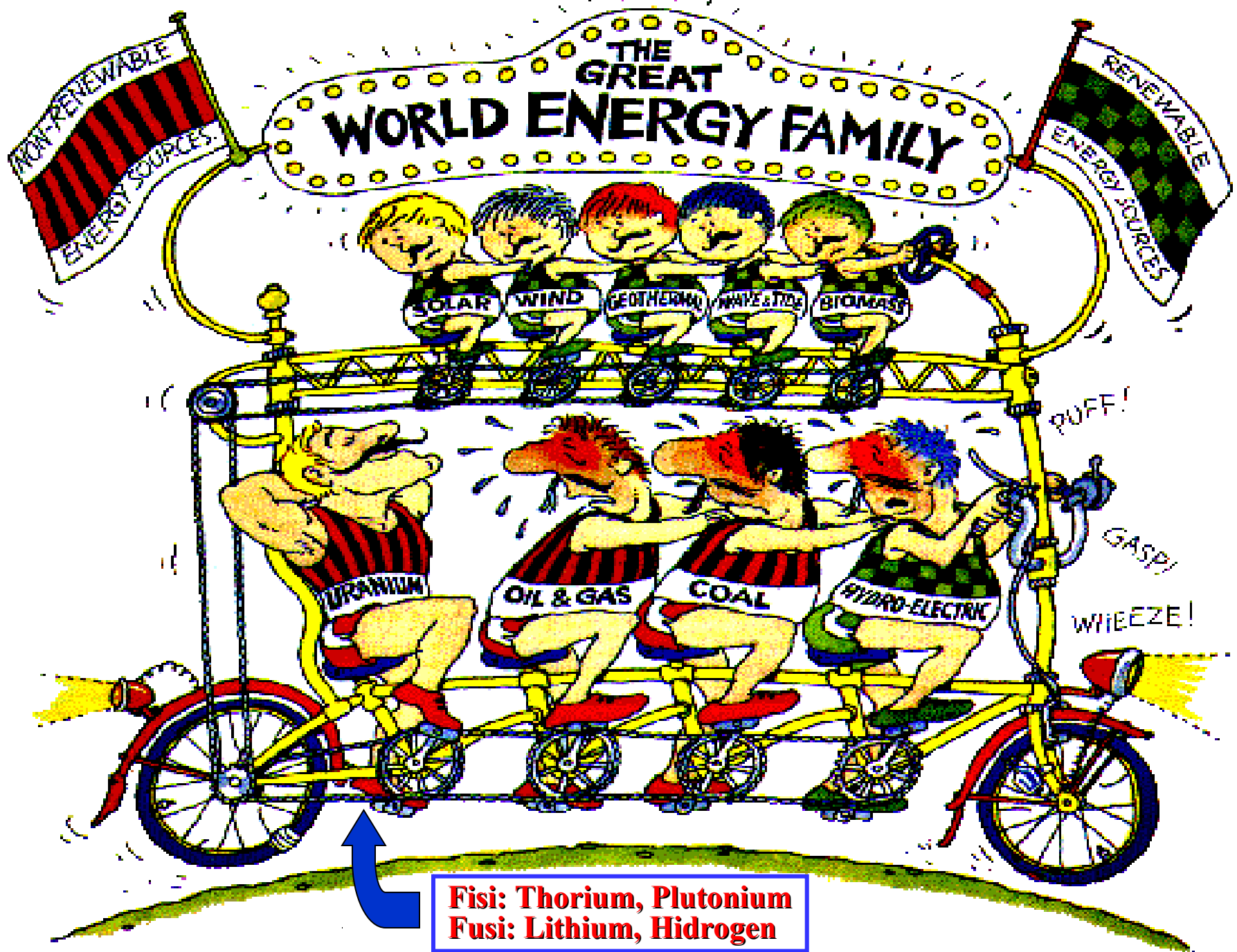
TANTANGAN KE DEPAN: - penyediaan pangan & energi

“Energy security is the key to our prosperity”

Sarah Palin

Energi

- untuk martabat bangsa
- untuk kemakmuran bangsa



THE GREAT WORLD ENERGY FAMILY

NON-RENEWABLE ENERGY SOURCES

RENEWABLE ENERGY SOURCES

SOLAR WIND GEOTHERMAL WAVE & TIDE BIOMASS

URANIUM OIL & GAS COAL HYDRO-ELECTRIC

PUFF!
GASP!
WHEEZE!

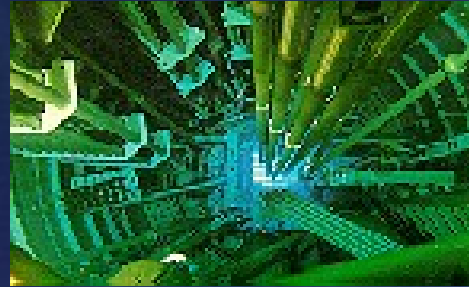
Fisi: Thorium, Plutonium
Fusi: Lithium, Hidrogen

REAKTOR NUKLIR

Tempat berlangsungnya reaksi nuklir



Reaktor G.A. Siwabessy



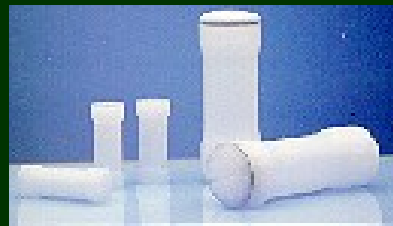
Teras

FUNGSI

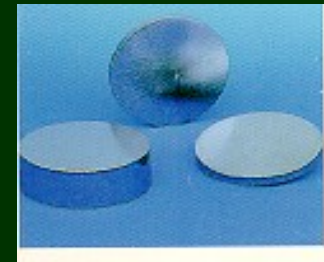
♣ Penelitian



Pengujian bahan bakar



Produksi radioisotop



Penelitian

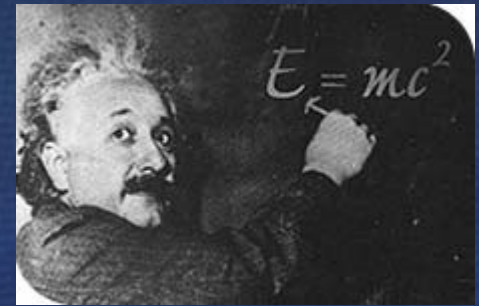
♣ Pembangkitan Daya



Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

SEJARAH ENERGI NUKLIR

- Basis
 - kesetaraan massa dan energi
 - pembelahan/reaksi inti
 - reaksi berantai yang dikendalikan



www.cameco.com/uranium_101/fact.php



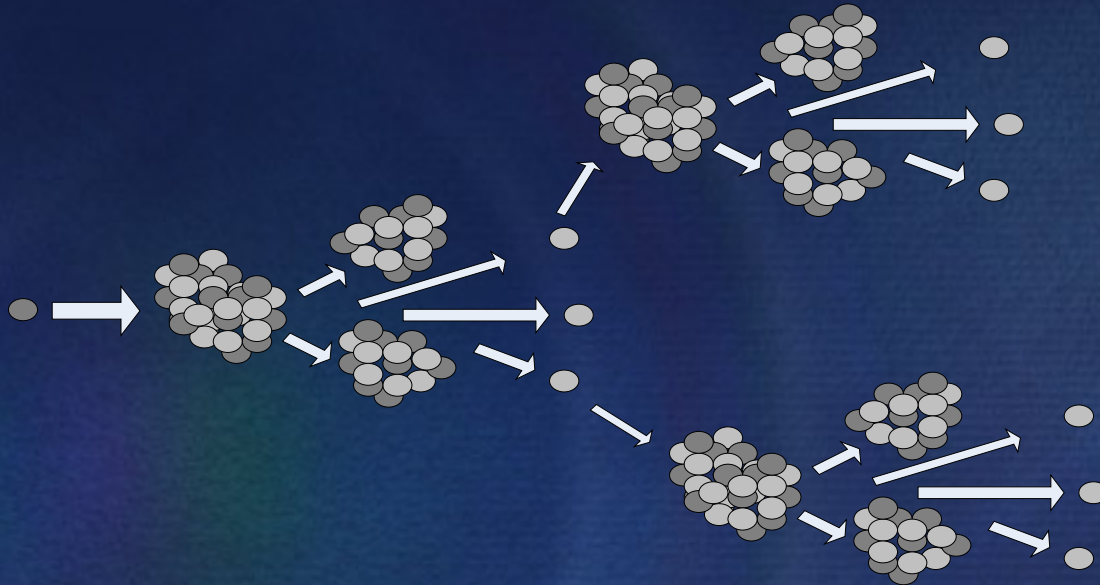
SEJARAH ENERGI NUKLIR

- Rangkaian Peristiwa
 - 1905: kesetaraan massa dan energi; Einstein
 - 1938: eksperimen pertama fisi inti; Berlin; Otto Hahn, Lise Meitner dan Fritz Strassman
 - 1942, 2 Desember: reaksi berantai nuklir yang dapat dikendalikan pertama kali; Universitas Chicago; Enrico Fermi
 - 1951, 20 Desember: reaktor pembiak cepat eksperimental EBR-1 dapat menghasilkan listrik, tingkat produksi sekitar 100 kW; di dekat Arco, Idaho, Amerika Serikat

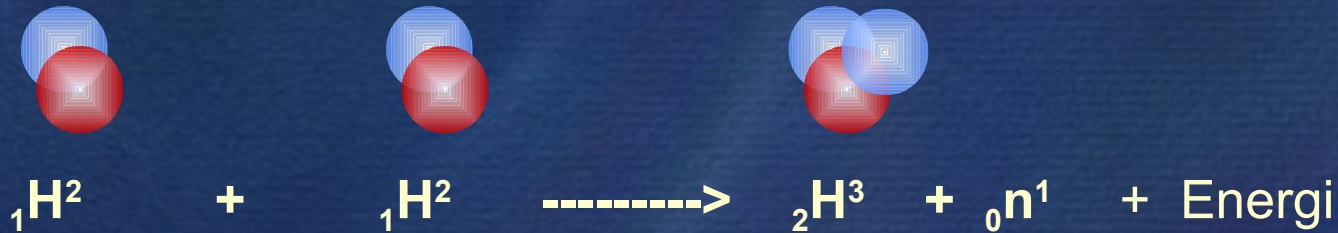
SEJARAH ENERGI NUKLIR

- Rangkaian Peristiwa
 - 1954, 27 Juni 1954: operasi PLTN pertama yang menghasilkan listrik yang disambungkan ke jaringan listrik, kapasitas 5MW; Obninsk, bekas Uni Soviet.
 - 1956, PLTN komersial pertama di dunia dioperasikan, kapasitas awalnya adalah 45 MW yang kemudian ditingkatkan menjadi 196 MW; Sellafield, Inggris. Jenis reaktornya adalah Magnox berpendingin gas, dan.
 - 1957, reaktor komersial pertama di Amerika Serikat dioperasikan pada tahun 1957; bernama Beaver Valley Nuclear Generating Station di Shippingport, Pennsylvania.
 - B adanya Bettis Laboratory dan pembangkit listrik tenaga nuklir Shippingport, Pittsburgh, Pennsylvania menjadi kota pertama di dunia yang mendapat pasokan listrik dari pembangkit listrik tenaga nuklir.

Jenis Reaktor berdasar jenis reaksi



FISI



FUSI

Reaktor Fisi

- Reaktor Termal
 - menggunakan neutron termal

Contoh :

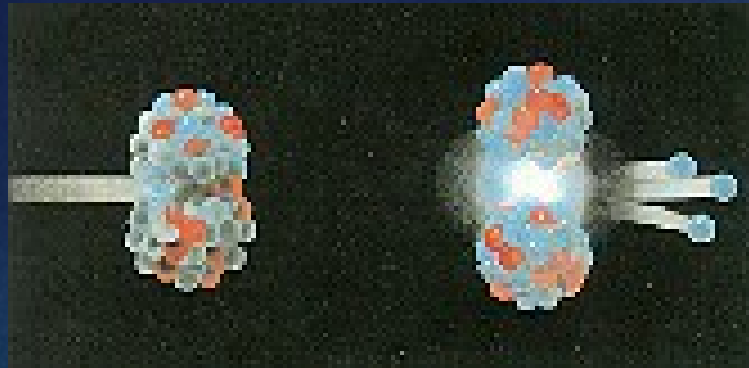
- Reaktor Air Ringan (Light water reactor, LWR):
 - Reaktor Air Didih (Boiling water reactor, BWR)
 - Reaktor Air Tekan (Pressurized water reactor, PWR)
- Reaktor Bermoderator Grafit:
 - Magnox
 - Advanced gas-cooled reactor (AGR)
 - High temperature gas cooled reactor (HTGR)
 - RBMK
 - Pebble bed modular reactor (PBMR)
- Reaktor Bermoderator Air Berat:
 - SGHWR
 - CANDU

- Reaktor Cepat
 - menggunakan neutron cepat

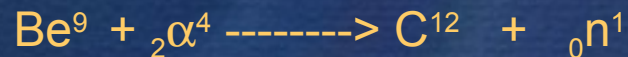
Contoh:

- EBR-I, 0.2 MWe, Amerika Serikat, 1951-1964.
- Dounreay Fast Reactor, 14 MWe, Inggris, 1958-1977.
- Enrico Fermi Nuclear Generating Station Unit 1, 94 MWe, Amerika Serikat, 1963-1972.
- EBR-II, 20 MWe, Amerika Serikat, 1963-1994.
- Phénix, 250 MWe, France, 1973-sekarang.
- BN-350, 150 MWe plus desalination, USSR/Kazakhstan, 1973-2000.
- Prototype Fast Reactor, 250 MWe, Inggris, 1974-1994.
- BN-600, 600 MWe, USSR/Russia, 1980-sekarang.
- Superphénix, 1200 MWe, Perancis, 1985-1996.
- FBTR, 13.2 MWe, India, 1985-sekarang.
- Monju, 300 MWe, Jepang, 1994-sekarang.
- PFBR, 500 MWe, India, 1998-sekarang

REAKSI PEMBELAHAN INTI



n : neutron, berasal dari sumber neutron



U : Uranium, berasal dari batuan mineral uranium

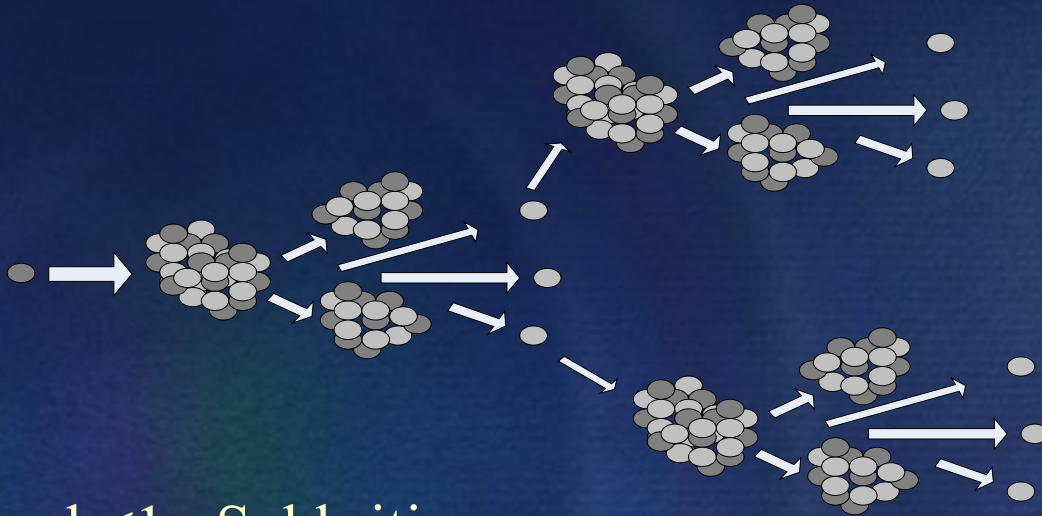
X_1, X_2 : inti hasil pembelahan ($\text{Sm}^{149}, \text{Xe}^{135}, \text{Cs}^{137}, \text{Mo}^{99}$)

E : energi panas (200 MeV.)



REAKSI BERANTAI

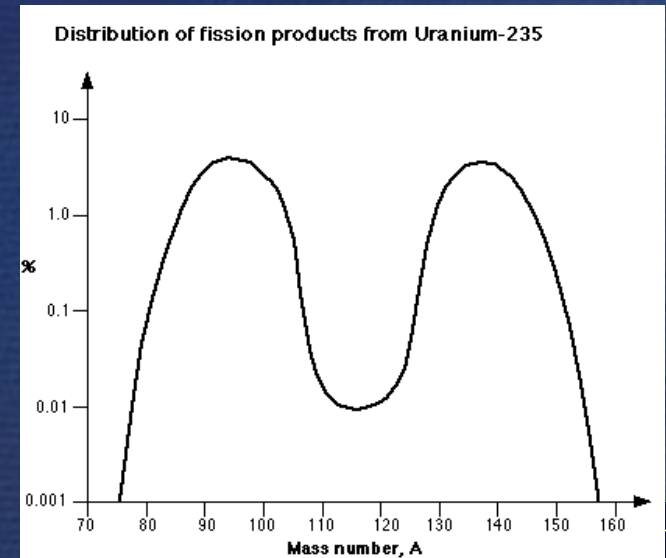
Reaksi inti yang berlangsung secara terus menerus



$k < 1$; Subkritis

$k = 1$; kritis

$k > 1$; superkritis





Jenis Reaktor Menurut Kegunaan

- Reaktor Riset

- Untuk penelitian berbagai hal

- Reaktor Daya

- Untuk menghasilkan energi listrik atau panas

- Reaktor Pembiak

- Untuk menghasilkan lebih banyak bahan bakar nuklir

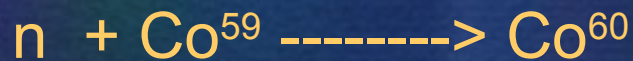


Reaktor Penelitian



Dimanfaatkan

**Tidak
dimanfaatkan**



- Kesehatan
- Industri
- Pertanian
- Peternakan
- Dsb.



- Analisis bahan/unsur
- Semi konduktor
- Bahan mulia



Reaktor Daya



Tidak
dimanfaatkan

Dimanfaatkan

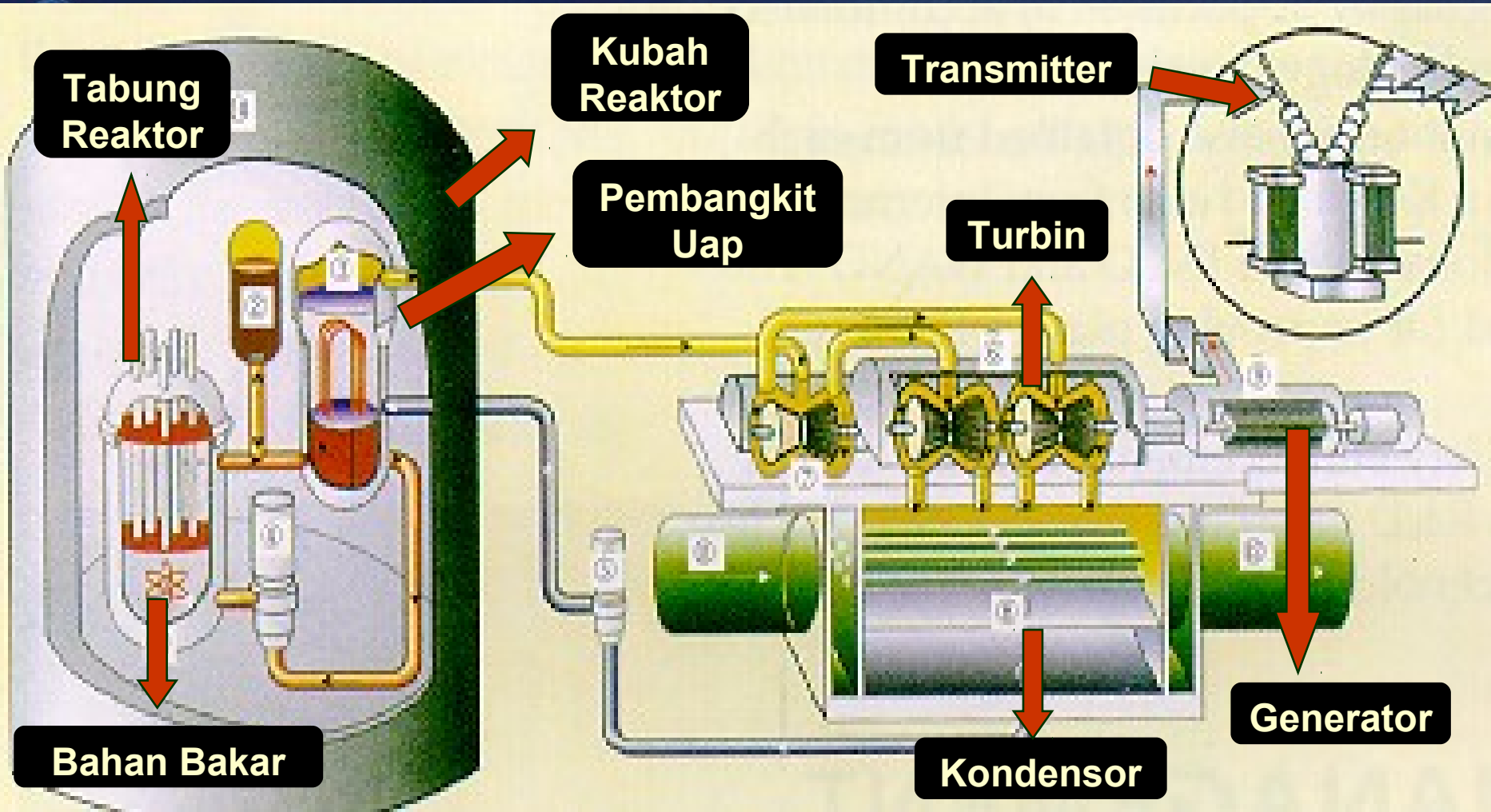
- ♣ Listrik
- ♣ Panas



Komponen PLTN

- Bahan Bakar Nuklir
- Moderator
- Pendingin
- Reflektor
- Bahan Kendali

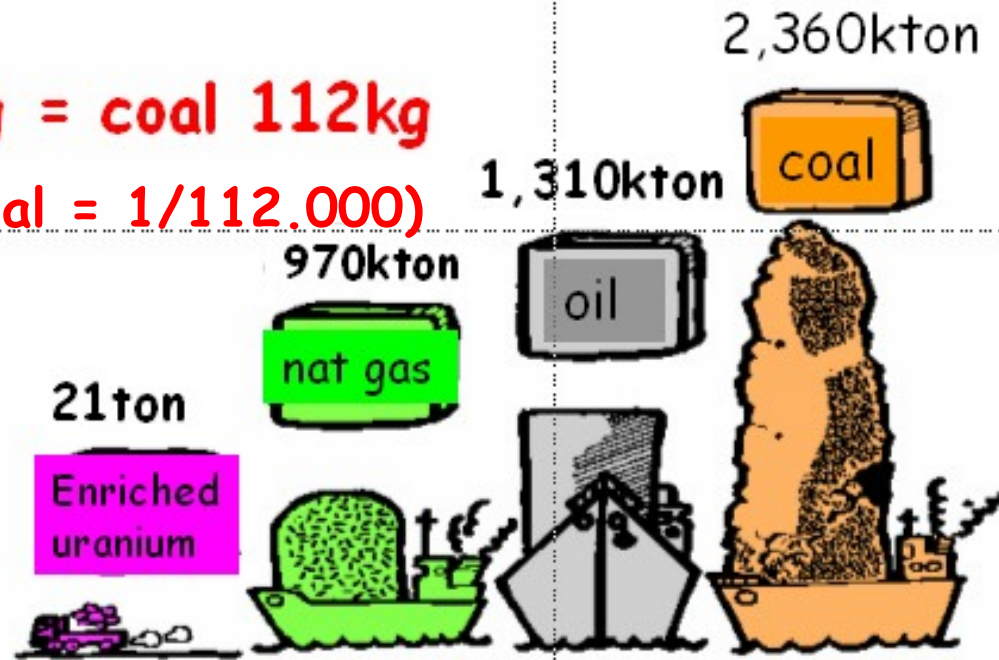
Reaktor Daya



Perbandingan Jumlah Bahan Bakar

Amount of fuel for operation of 1GWe power plant per year

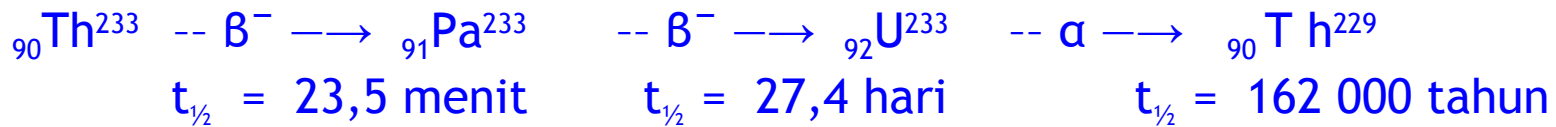
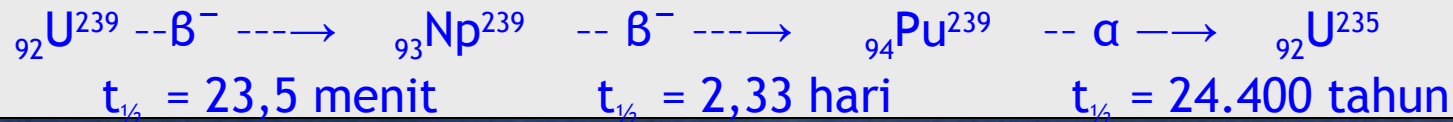
EU 1g = coal 112kg
(EU/Coal = 1/112.000)



Komponen PLTN: Bahan Bakar Nuklir

Kelimpahan Isotop Uranium di

Isotop	U-238	U-235	U-234
Kelimpahan (%)	99,27	0,72	0,0055
Waktu-paro (tahun)	4,47 milyar	700 juta	246 ribu



Uranium



Periodic Table of the Elements

1 1.008 H																	18 4.003 He
2 6.941 Li	3 9.012 Be											13 10.81 B	14 12.01 C	15 14.01 N	16 16.00 O	17 19.00 F	18 20.18 Ne
3 22.99 Na	4 24.31 Mg											13 26.98 Al	14 28.09 Si	15 30.97 P	16 32.07 S	17 35.45 Cl	18 39.95 Ar
4 39.10 K	20 40.08 Ca	21 44.96 Sc	22 47.88 Ti	23 50.94 V	24 52.00 Cr	25 54.94 Mn	26 55.85 Fe	27 58.93 Co	28 58.69 Ni	29 63.55 Cu	30 65.39 Zn	31 69.72 Ga	32 72.61 Ge	33 74.92 As	34 78.96 Se	35 79.90 Br	36 83.80 Kr
5 85.47 Rb	38 87.62 Sr	39 88.91 Y	40 91.22 Zr	41 92.91 Nb	42 95.94 Mo	43 98.91 Tc	44 101.1 Ru	45 102.9 Rh	46 106.4 Pd	47 107.9 Ag	48 112.4 Cd	49 114.8 In	50 118.7 Sn	51 121.8 Sb	52 127.6 Te	53 126.9 I	54 131.3 Xe
6 132.9 Cs	56 137.3 Ba	57 138.9 La	58 140.1 Ce	59 140.9 Pr	60 140.9 Nd	61 144.2 Pm	62 146.9 Sm	63 150.4 Eu	64 152.0 Gd	65 157.3 Tb	66 158.9 Dy	67 162.5 Ho	68 164.9 Er	69 167.3 Tm	70 168.9 Yb		
7 87 Fr	88 226.0 Ra	89 227.0 Ac	90 232.0 Th	91 231.0 Pa	92 238.0 U	93 237.0 Np	94 244.1 Pu	95 243.1 Am	96 247.1 Cm	97 247.1 Bk	98 251.1 Cf	99 252.0 Es	100 257.1 Fm	101 258.1 Md	102 259.1 No		
												103 289 Uut	104 289 Uuq	105 289 Uup	106 289 Uuh	107 293 Uus	108 293 Uuo



High-grade orebody - 20% U	200,000 ppm* U
Low-grade orebody - 0.1% U	1,000 ppm U
Granite	4 ppm U
Sedimentary rock	2 ppm U
Average in Earth's continental crust	2.8 ppm U
Seawater	0.003 ppm U

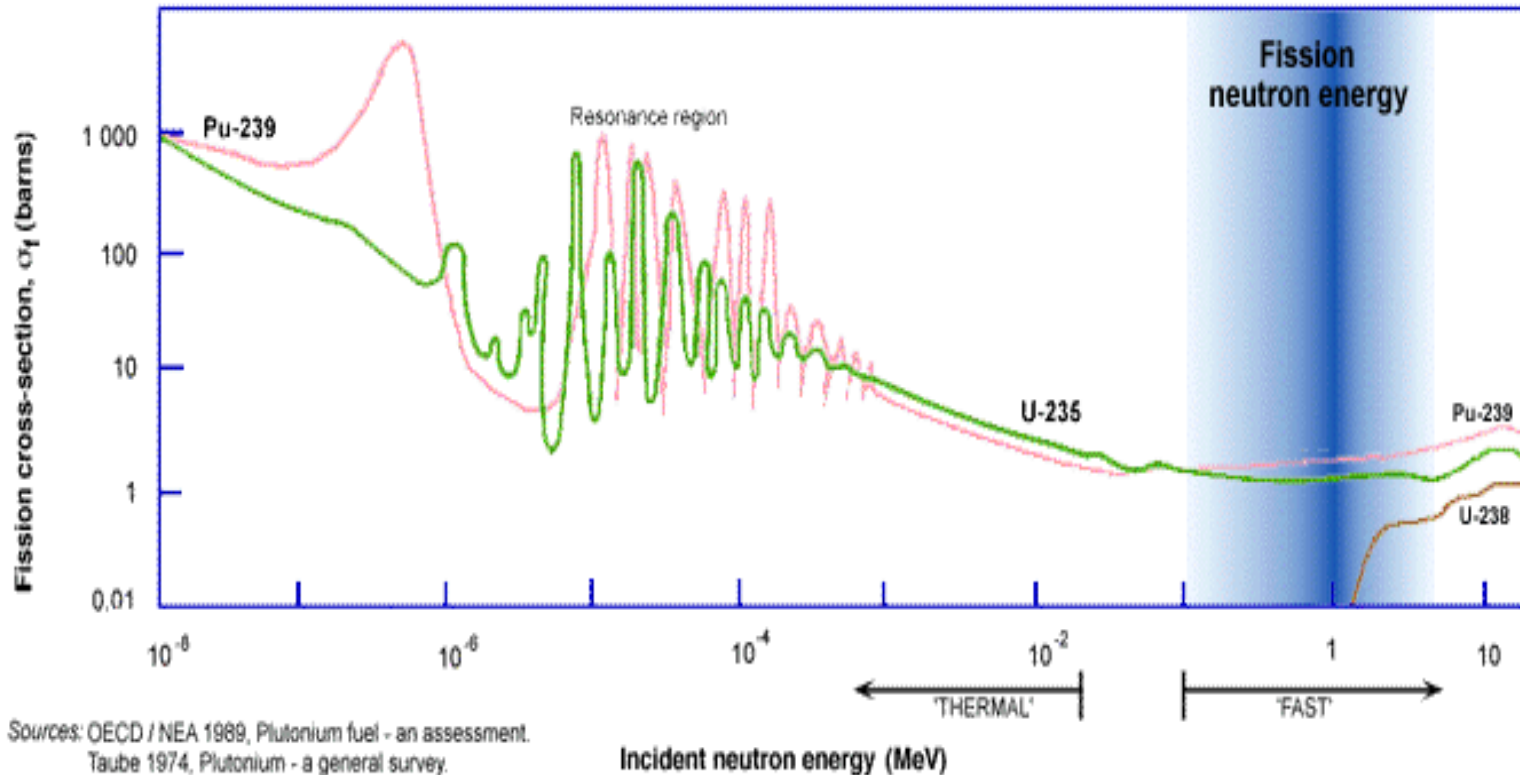
*ppm = parts per million

Sumber Mineral Uranium



Komponen PLTN: Bahan Bakar Nuklir

NEUTRON CROSS-SECTIONS FOR FISSION OF URANIUM AND PLUTONIUM



Sources: OECD / NEA 1989, Plutonium fuel - an assessment.
Taube 1974, Plutonium - a general survey.
1 barn = 10⁻²⁸ m², 1 MeV = 1.6 x 10⁻¹³ J

$$\xi = \left(\ln \frac{E_0}{E} \right)_{rata-rata} = 2,303 \left(\log \frac{E_0}{E} \right)_{rata-rata}$$

Komponen PLTN: Moderator

Sifat yang diharapkan

- Mempunyai tampang lintang serapan neutron kecil
- Memiliki sifat moderasi yang baik
- Mudah ditangani



Komponen PLTN: Moderator

Moderator	Harga	ξ	N	Daya hambat tiap cm	Sifat	Rasio moderasi
H ₂	rendah	1,000	18	0,0011	buruk	61
H ₂ O	rendah	0,925	20	1,36	baik	62
D ₂	tinggi	0,725	25	0,0013	buruk	5,2
D ₂ O	tinggi	0,504	36	0,176	baik	5,0
Be	tinggi	0,206	88	0,157	cukup	145
C	rendah	0,158	115	0,60	baik	165
O ₂	rendah	0,120	152	0,000025	buruk	230

Komponen PLTN: Pendingin

Syarat:

- tampang lintang tangkapan neutron harus kecil
- kalor jenis dan daya hantar kalor besar
- tidak dipengaruhi oleh radiasi
- tidak berbentuk padat pada suhu kamar
- tekanan uap pendingin sebaiknya rendah pada suhu operasi reaktor
- viskositas dan densitas massanya rendah untuk memudahkan pengaliran
- pada reaktor cepat, pendingin ber nomor atom tinggi untuk menghindari terjadinya moderasi neutron oleh pendingin.

Contoh:

- Gas: hidrogen, helium, udara dan karbon dioksida
- Zat cair: air, air berat
- Zat padat: natrium cair, kalium raksa, campuran natrium dan kalium.

Komponen PLTN: Reflektor

Syarat:

- tampang lintang serapan neutron harus kecil
- Koefisien refleksi (albedo) tinggi
 - Albedo bergantung pada geometri reaktor dan reflektor
 - Albedo reaktor kecil kurang daripada reaktor besar
 - Albedo untuk teras bulatan lebih besar daripada bentuk lain.

Contoh:

Pada reaktor termal:

- moderator juga baik untuk reflektor

Pada reaktor cepat:

- bahan yang bernomor atom tinggi

Pada reaktor pembiak cepat

- uranium dan torium dapat digunakan sebagai reflektor

Komponen PLTN: Bahan Kendali

Syarat:

- mempunyai tampang lintang tangkapan neutron yang besar
- mempunyai sifat mekanikal dan kimiawi yang sesuai

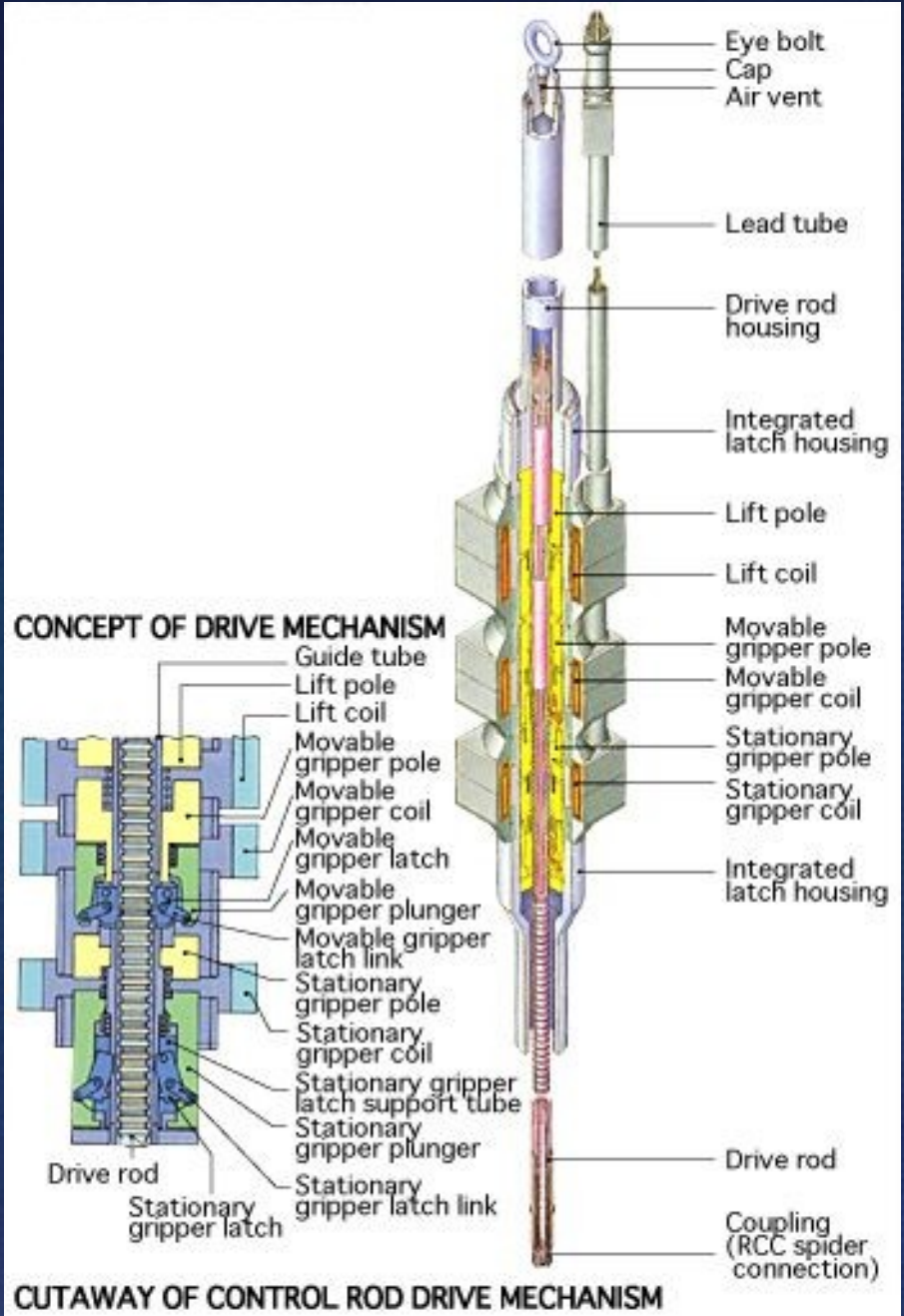
Contoh:

Biasanya: perak, indium dan cadmium.

Unsur lain: boron, cobalt, hafnium, gadolinium, dan europium.

Boron:

- tampang lintang tangkapan neutron besar
- dapat difabrikasi dalam bentuk batang kendali sebagai boron karbida
- Kadmium dan indium:
 - tampang lintang yang tinggi
 - hanya dapat digunakan sebagai komponen dalam logam paduan karena titik lelehnya rendah.



PENGENDALIAN LAJU REAKSI

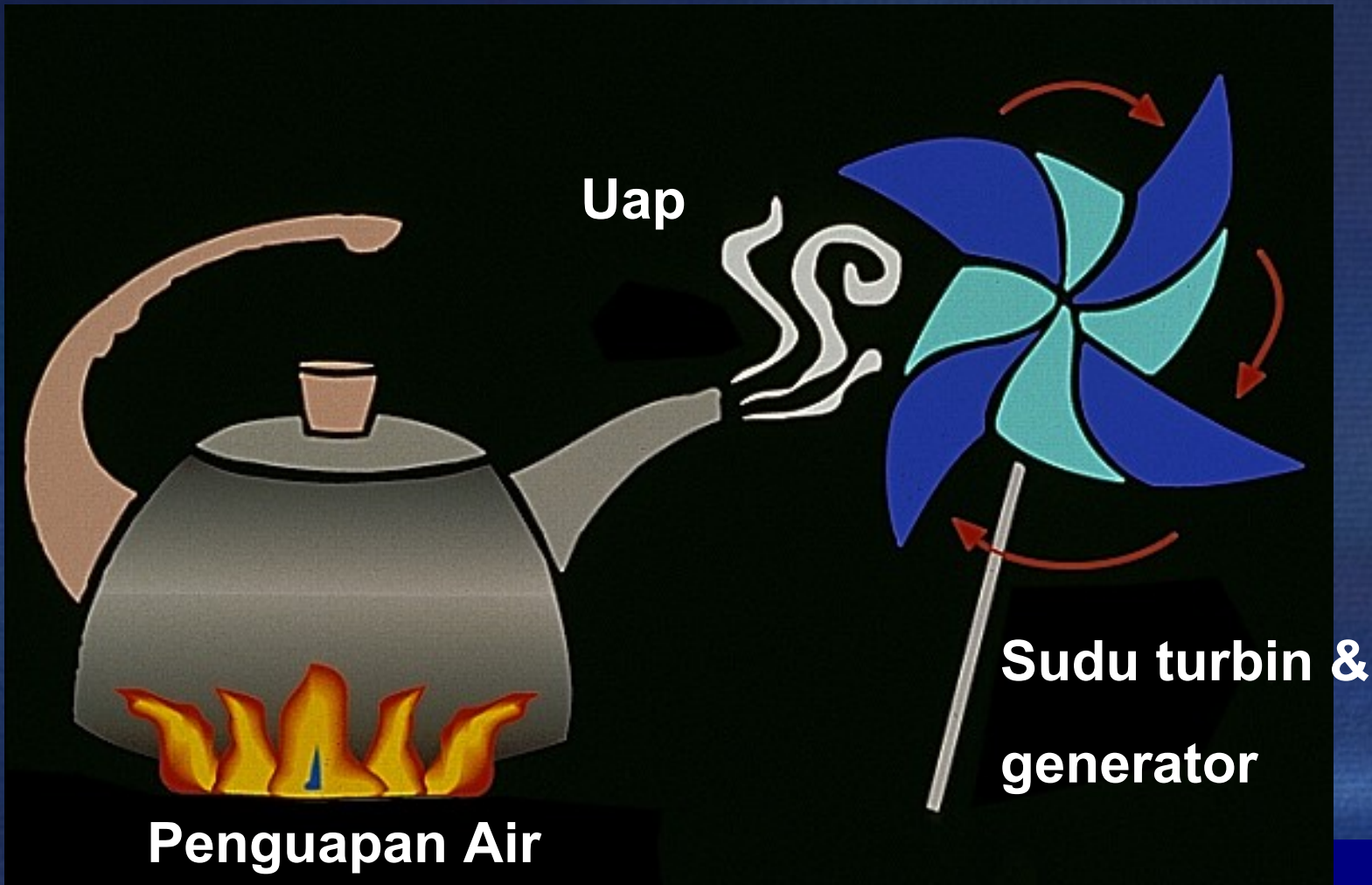
- Inheren: memanfaatkan sifat fisika
 - Koefisien suhu bahan bakar
 - Koefisien suhu moderator
 - Koefisien suhu uap pendingin

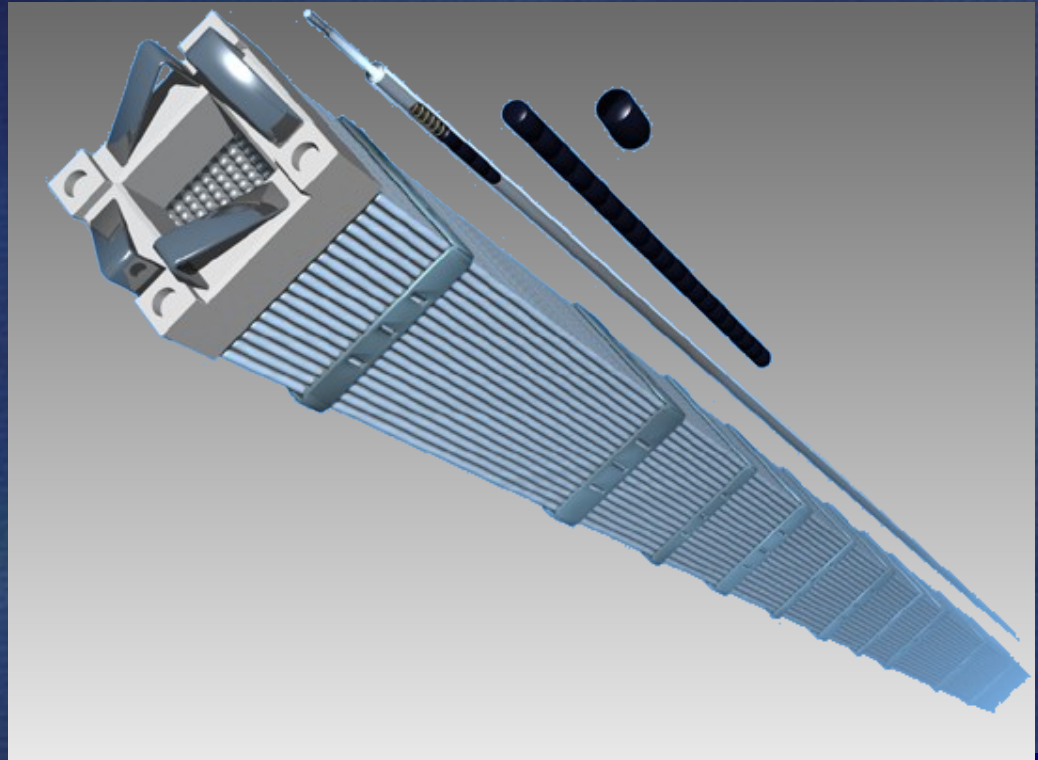
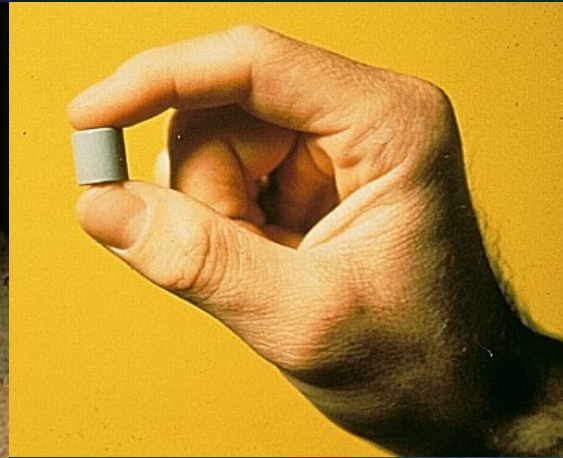
Koefisien Suhu	Satuan	BWR	PWR
Bahan Bakar	pcm/°C	-2	-2.5
Moderator (suhu operasi)	pcm/°C	-30	-15
Moderator (suhu kamar)	pcm/°C	-5	+2
Uap pendingin	pcm/% vol uap	-160	Tdk ada

PENGENDALIAN LAJU REAKSI

- Rekayasa:
 - Mengeluarkan suhu bahan bakar
 - Mengubah geometri reaktor
 - Memasukkan batang kendali
 - Batang pengatur: untuk perubahan reaktivitas yang diperlukan untuk **mengatur laju reaksi**
 - Batang kompensasi ('shim rod'): untuk perubahan reaktivitas yang lebih besar yang diperlukan untuk **mengompensasi bahan bakar yang habis terbakar atau peracunan oleh gas absorber neutron yang terbentuk misalnya Xe-135 atau Sm-149.**
 - Batang keselamatan: untuk perubahan reaktivitas besar yang diperlukan untuk **menghentikan reaktor secepat mungkin**

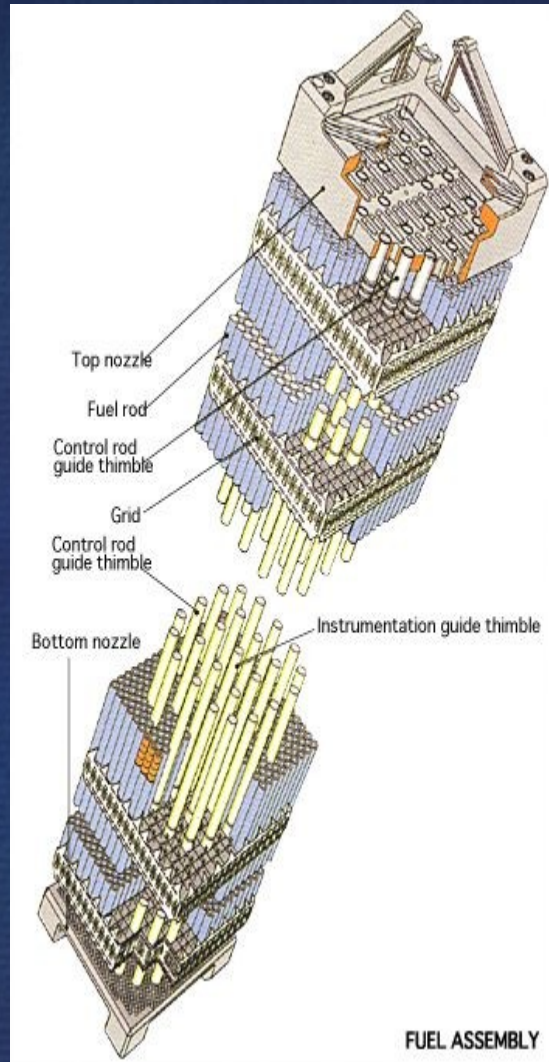
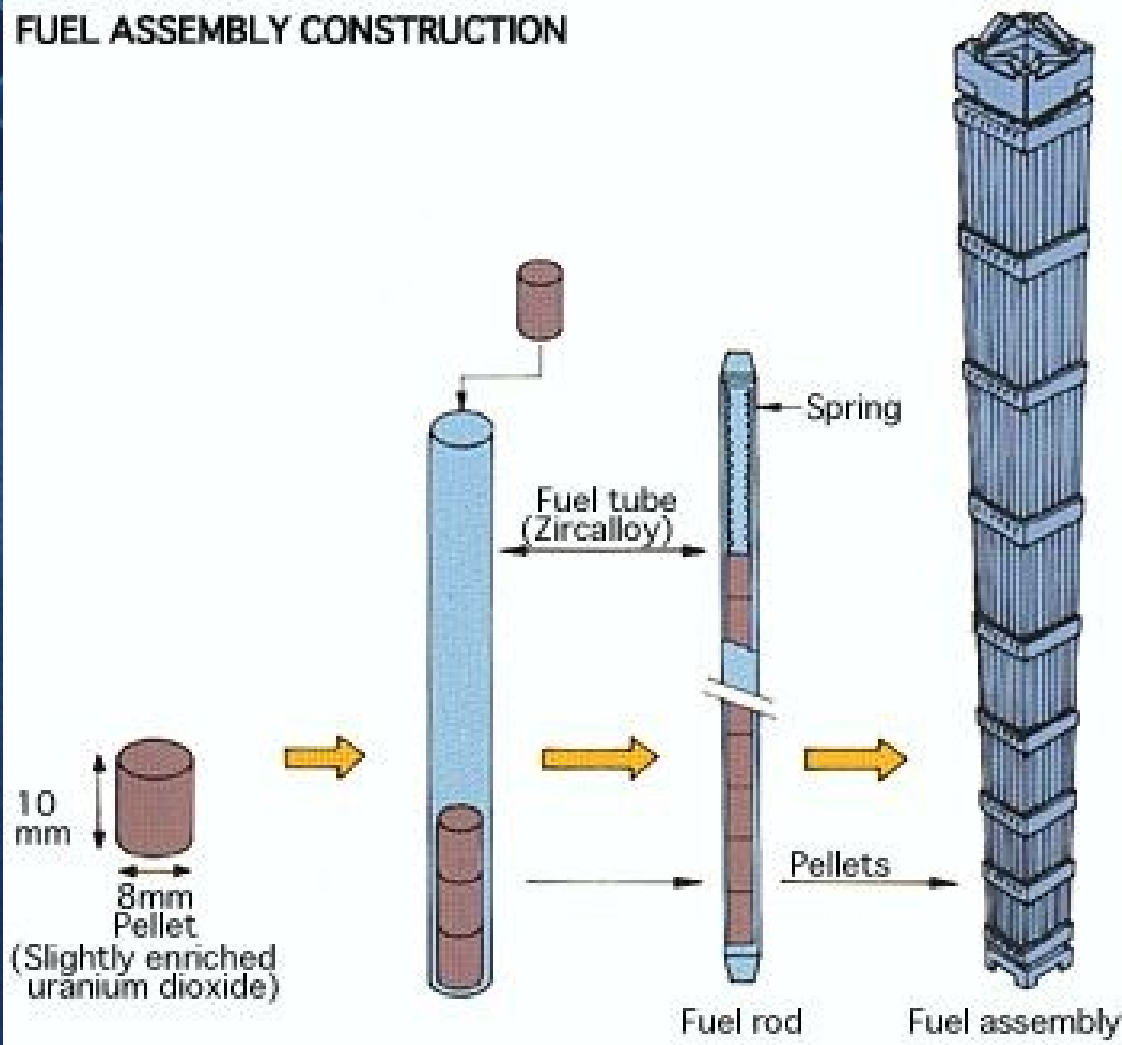
PLTN, TURBIN, GENERATOR



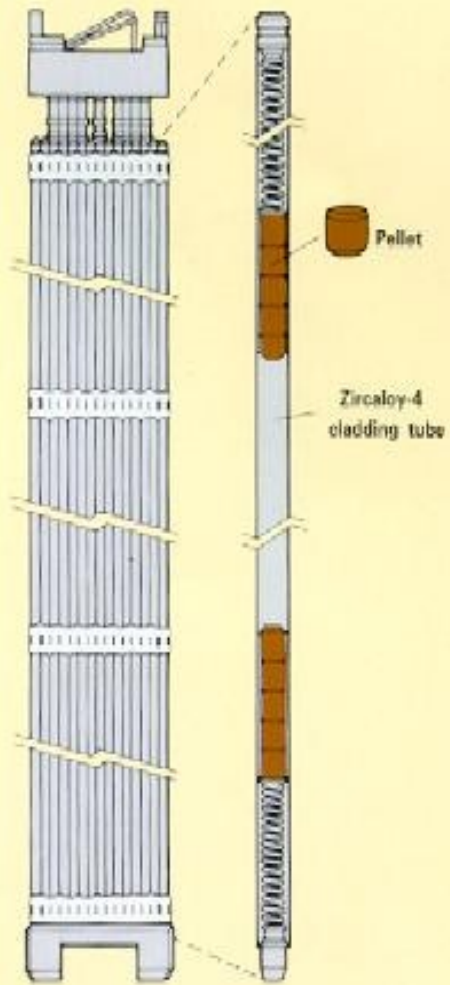




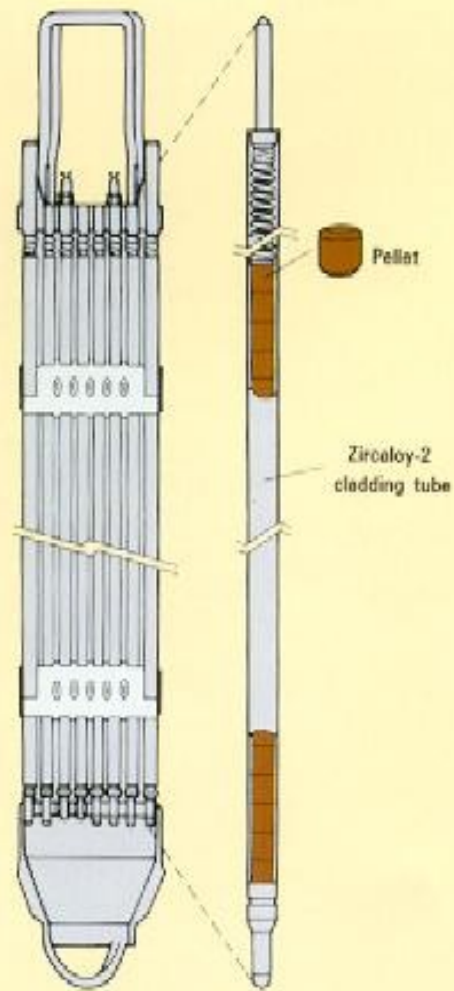
FUEL ASSEMBLY CONSTRUCTION



BBN BENTUK BATANG



PWR FUEL ASSEMBLY

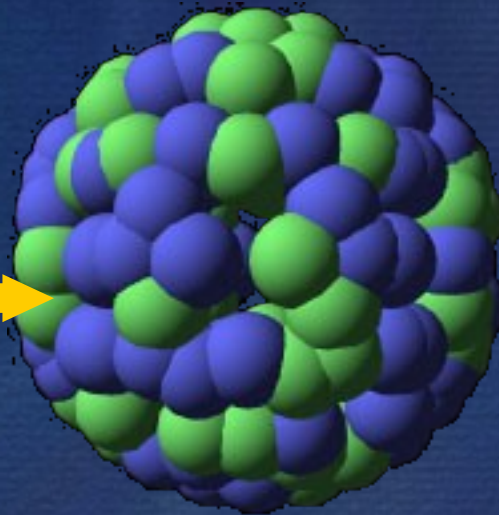


BWR FUEL ASSEMBLY

Energi nuklir dari pembelahan



Neutron



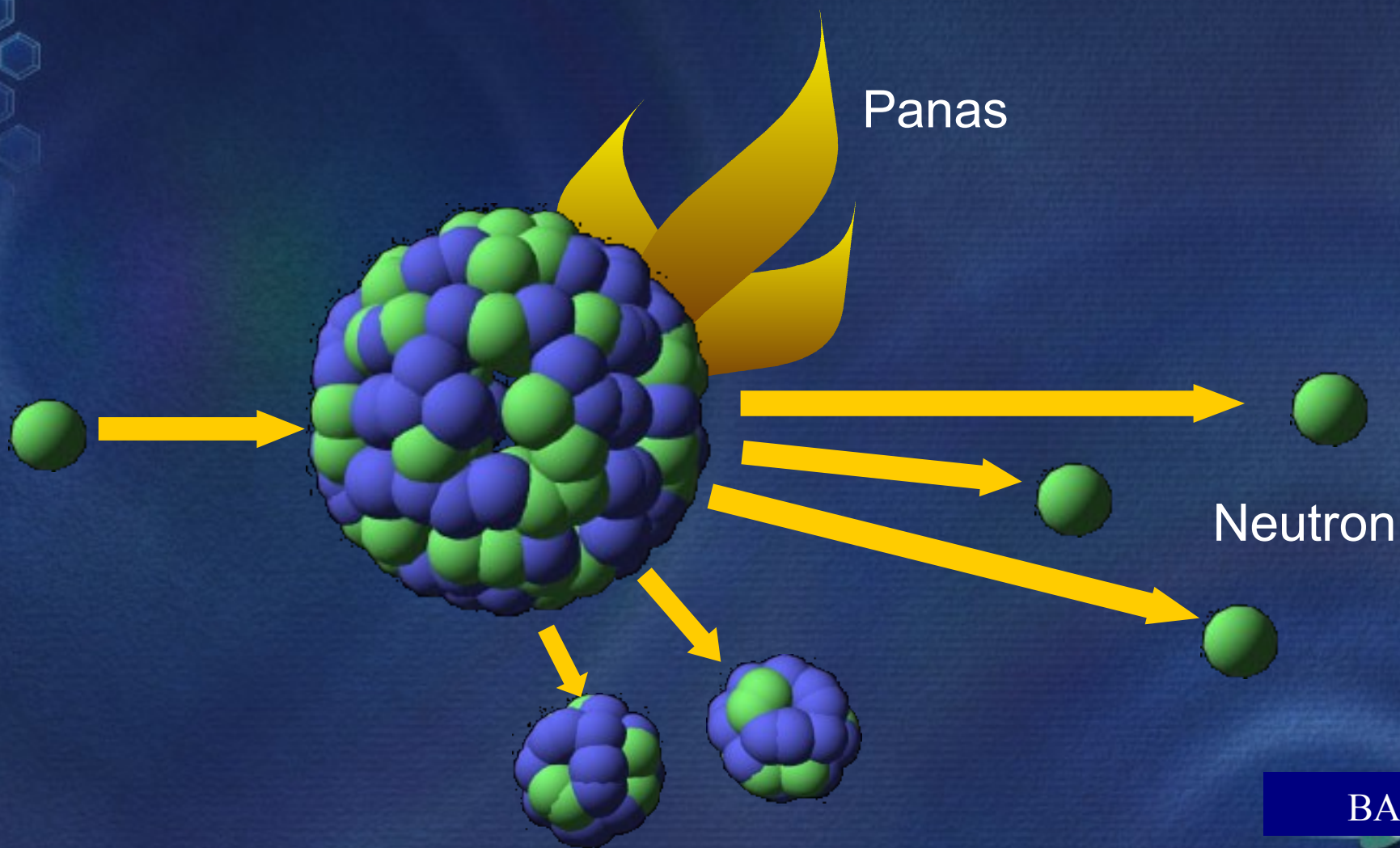
Atom Uranium



Atom hasil belah

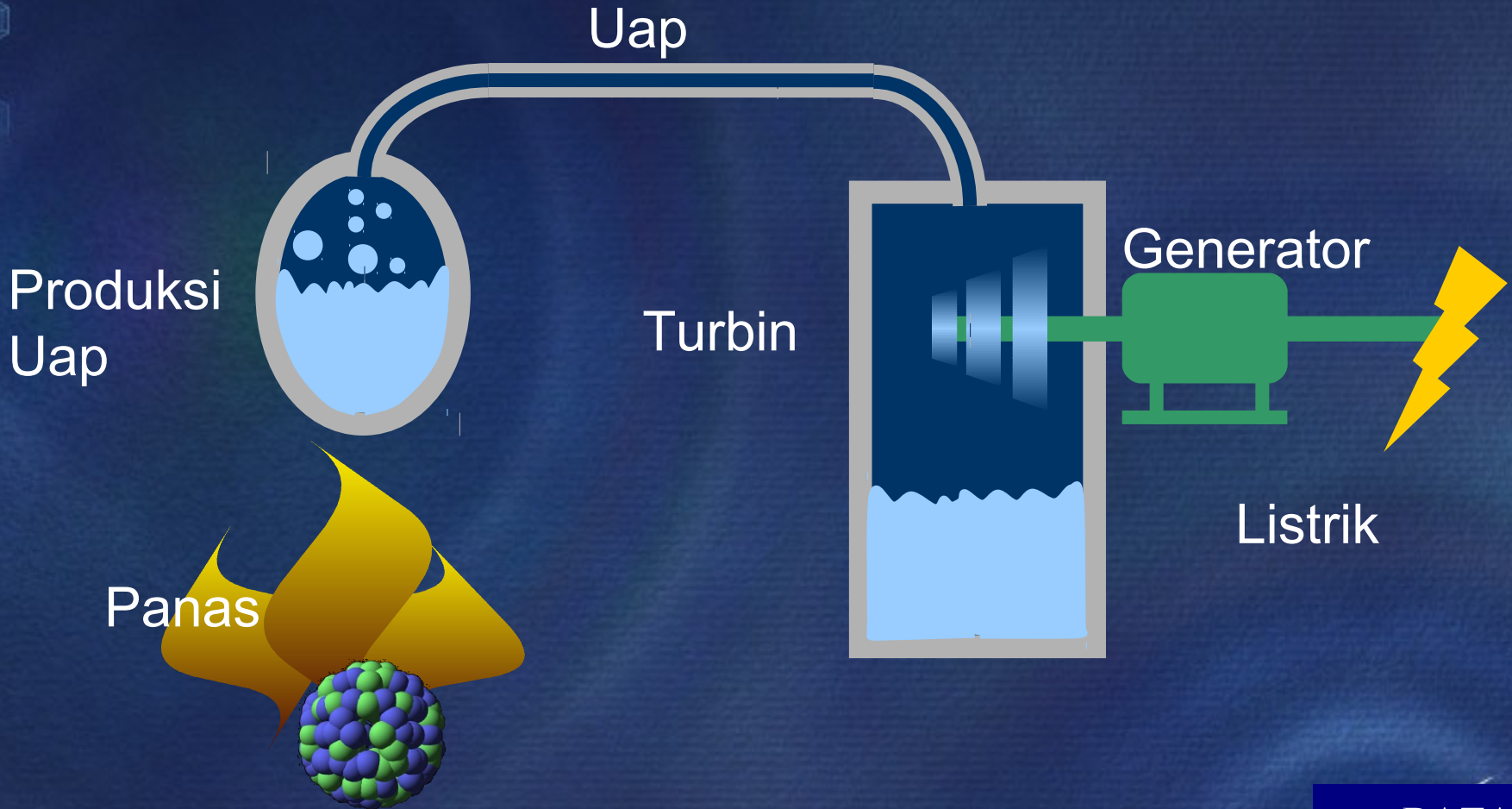


Atom terbelah menghasilkan panas dan neutron

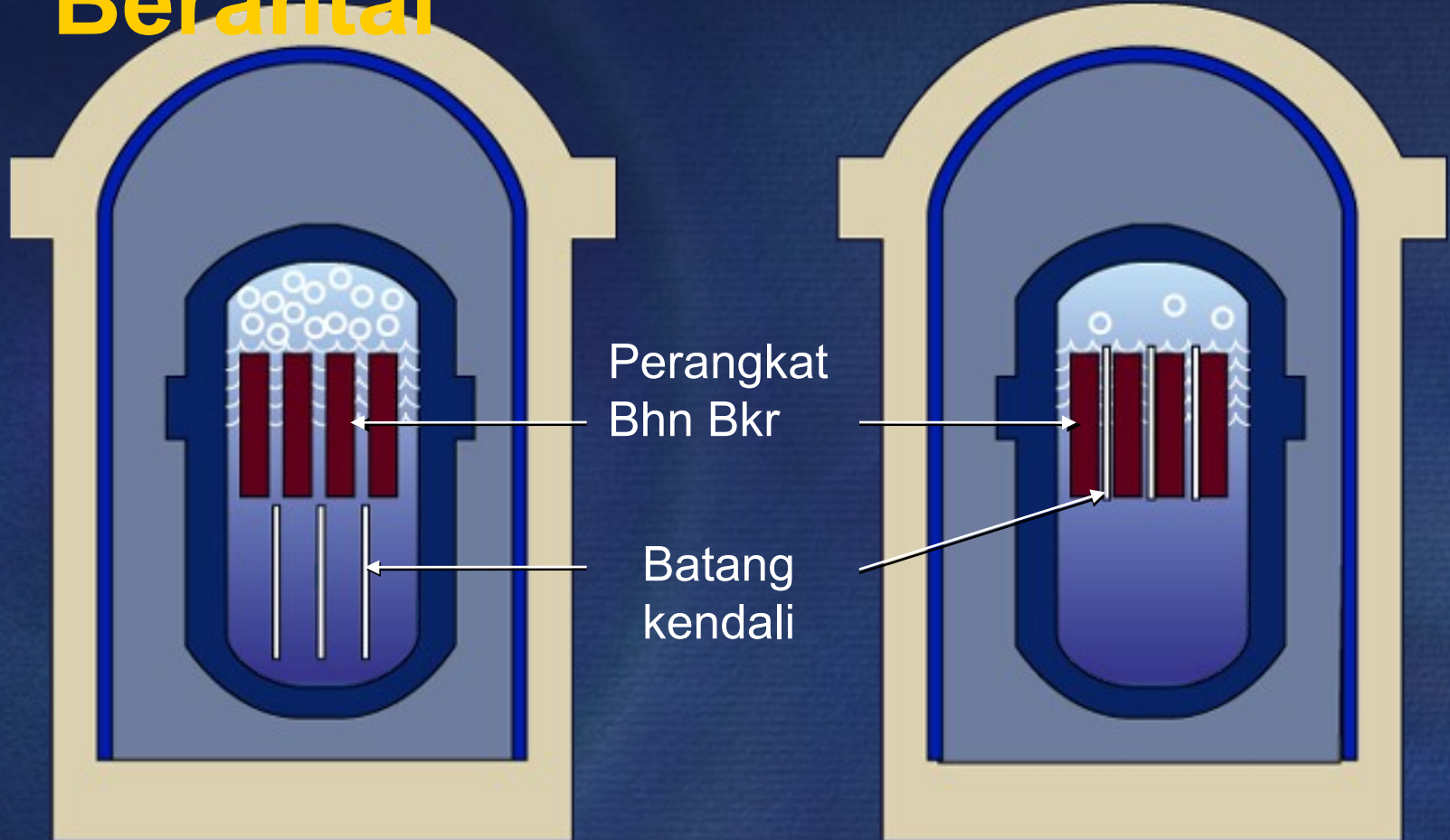


PLTN = PLTU

**Efisiensi termal sama
-> efek termal sama**



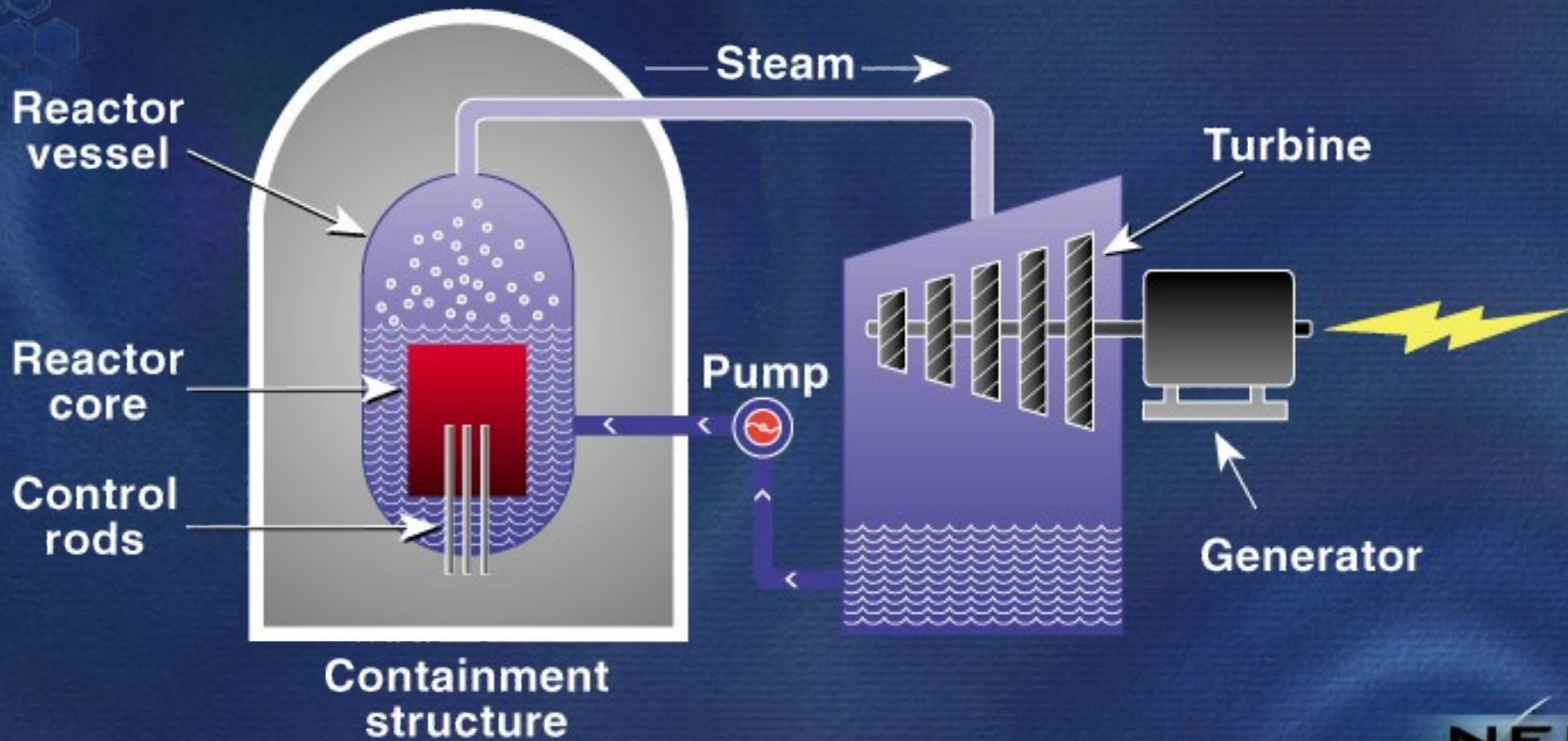
Mengendalikan Reaksi Berantai



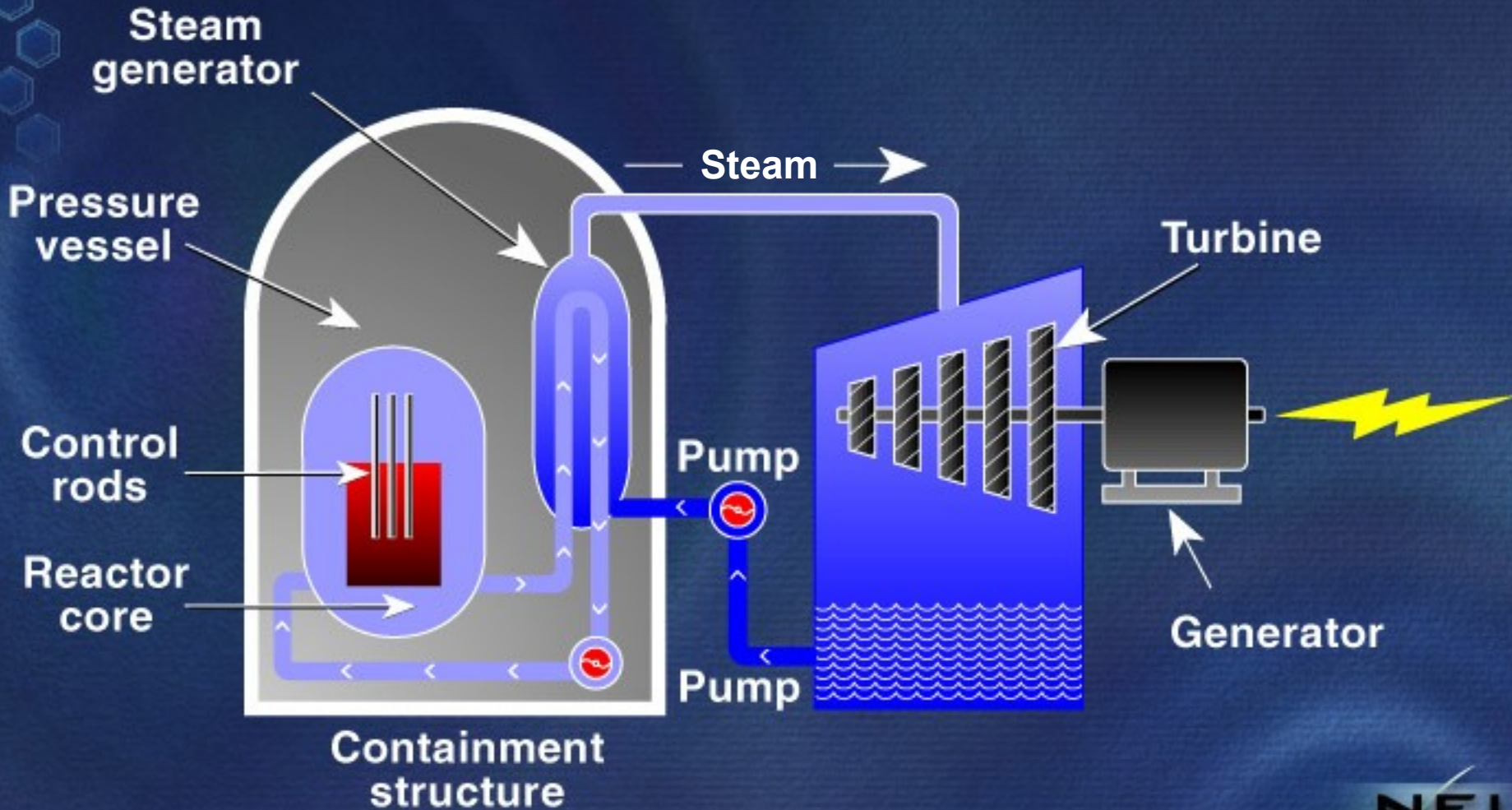
Batang keluar,
reaksi meningkat

Batang masuk,
reaksi berkurang

Reaktor Air Didih



Reaktor Air Tekan





KESELAMATAN PLTN

Upaya melindungi manusia dari radiasi.

- Sistem Keselamatan (ECCS)
- Defence in depth → Perlindungan Berlapis

Keselematan diupayakan sejak desain



SUASANA GEDUNG PLTN



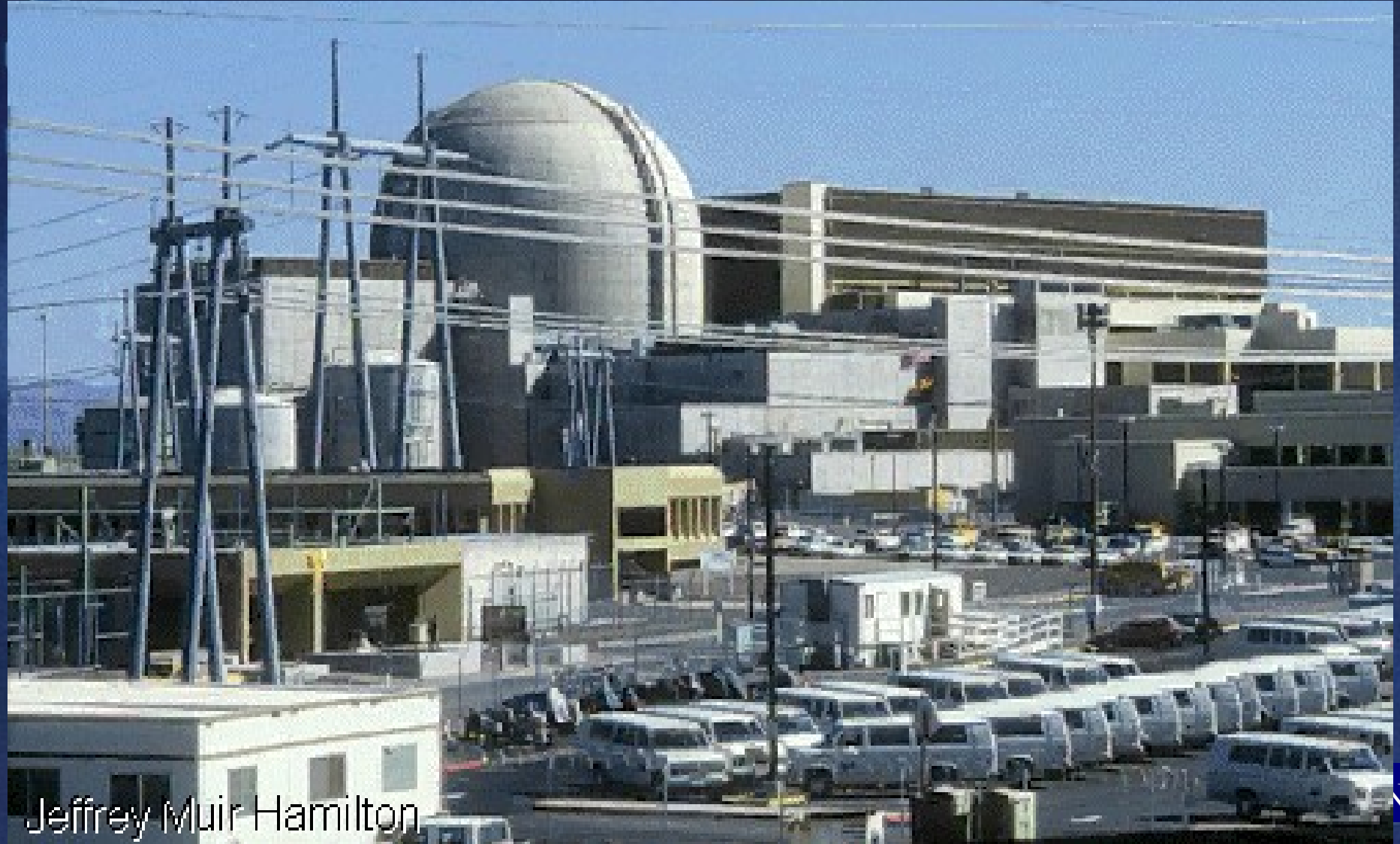
GAMBAR-GAMBAR PLTN



Cont'



Cont'



Jeffrey Muir Hamilton

Cont'



Pemantauan Radiasi Sekitar PLTN

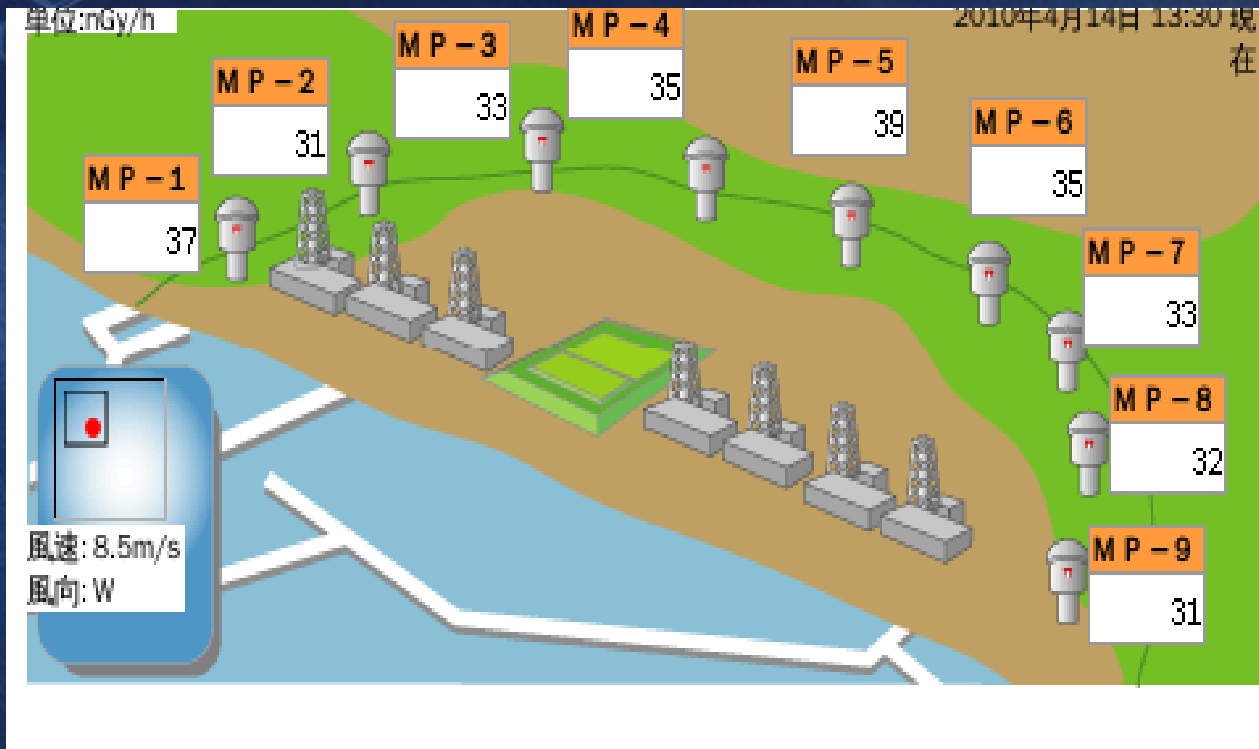


Data Pemantauan: 14 April 2010, pkl.13.20 (waktu Jepang)

<http://www.tepco.co.jp/nu/pamp/index-j.html>

Radiasi Alam:
20 ~ 150 BATAN
nGy/jam

Lokasi Alat Pemantau



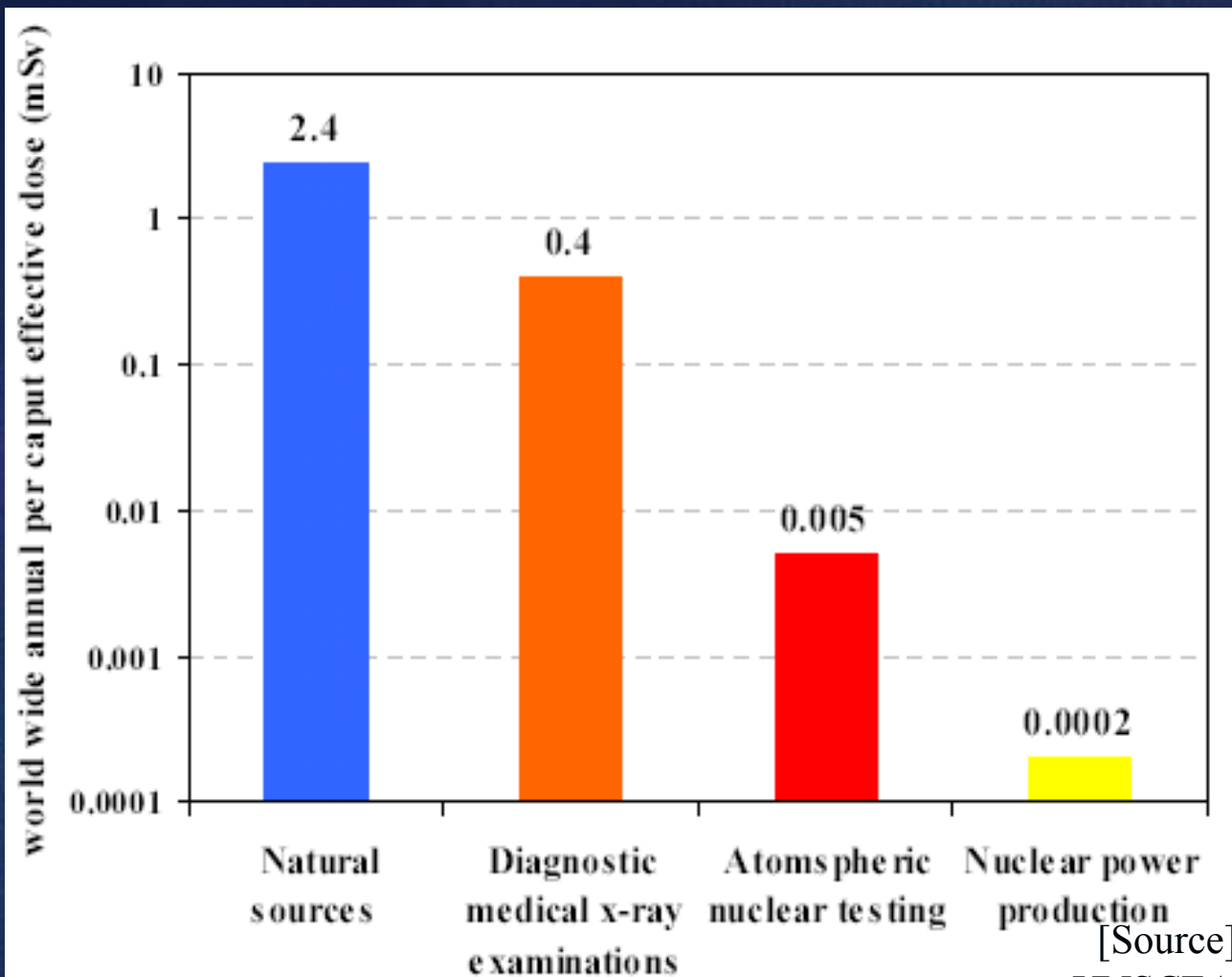
Kashiwazaki-Kariwa

Data: 14 April 2010 pk1 13.30 (waktu Jepang)

<http://www.tepco.co.jp/kk-np/monitoring/mp-j.html>

Radiasi Alam:
20 ~ 150
nGy/jam

Worldwide average annual per capita dose



[Source] Data from
UNSCEAR 2000 vol 1

Keuntungan Bagi Lingkungan

PROGRAM MONITORING LINGKUNGAN!!

- Tidak melepaskan emisi gas rumah kaca dan gas penyebab hujan asam
 - Memenuhi peraturan tentang udara bersih
- Tidak melepaskan limbah ke laut
 - Memenuhi peraturan tentang air bersih



Keuntungan Bagi Lingkungan

- Air laut sekitar PLTN menjadi tempat tinggal ikan/spesies yang dilindungi



Many endangered and protected species, such as the shortnose sturgeon, find sanctuaries at nuclear plant sites.

- Lingkungan sekitar PLTN menjadi tempat hidup satwa yang dilindungi



Keuntungan Bagi Lingkungan

- Lingkungan sekitar PLTN juga menjadi tempat penangkaran/pemeliharaan satwa



Hartle Point, UK



Hinkley Point, UK



South Texas, USA

Harmonisasi PLTN dan Lingkungan



PLTN Tihange, 870 & 925 MW



Saint-Laurent, Perancis



DiabloCanyon

Korea



**JAMINAN KEAMANAN
DAN KESELAMATAN
MASYARAKAT**

**Mihama,
Japan**



BATAN

Keuntungan Bagi Ekonomi

- Menciptakan lapangan kerja baru (200-700)
- Memberikan efek ekonomi langsung dan tidak langsung
- Menambah penerimaan pajak
- Memberikan manfaat kepada masyarakat karena perbaikan infrastruktur dan CSR





VIII. LIMBAH PLTN

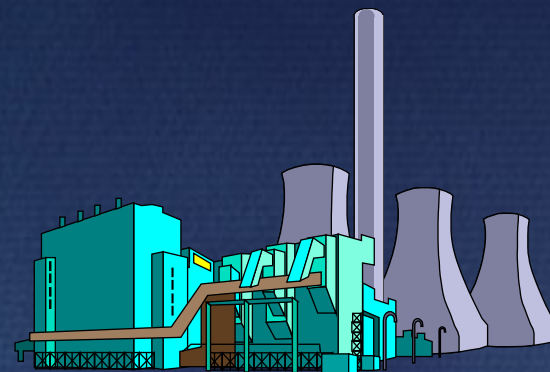
Limbah PLTN digolongkan menjadi 3 kategori :

- Limbah radioaktif tingkat rendah
- Limbah radioaktif tingkat menengah
- Limbah radioaktif tingkat tinggi

Jumlah limbah keseluruhan adalah kecil dan (70-80%) merupakan limbah radioaktif tingkat rendah

Jumlah limbah sangat kecil dibandingkan dengan volume limbah yang dihasilkan dari industri kimia atau dari pembangkitan bahan bakar fosil

Limbah disimpan dan diisolasi dari lingkungan manusia



RADIOAKTIF TINGKAT TINGGI

Terdiri atas bahan bakar bekas dan sisa proses ulang

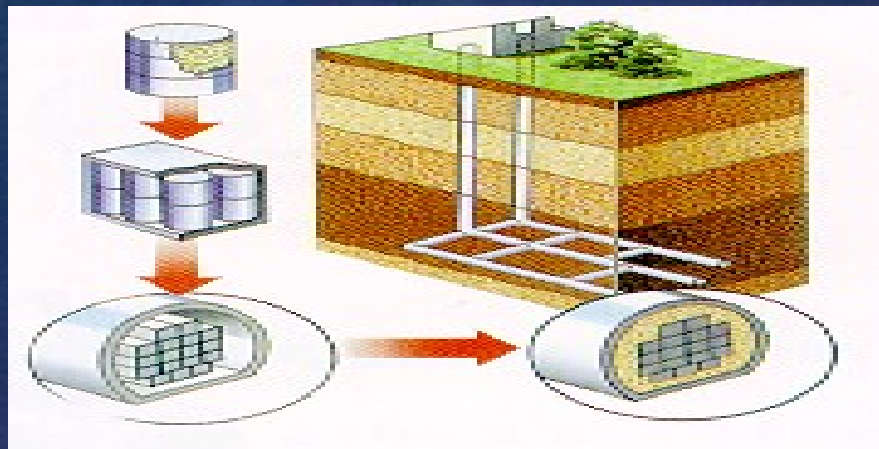
Penanganan :

Vertifikasi

Ditampung dalam kontainer baja tahan karat yang disimpan sementara di lokasi PLTN selama 30 tahun sampai 40 tahun untuk menurunkan radioaktifitas

Dipindahkan ke tempat penyimpanan lestari yang secara geologis memenuhi persyaratan

Bahan bakar bekas tersebut pada suatu saat bisa diambil kembali untuk dilakukan proses ulang



Penyimpanan tanah dalam

MENGELOLA DAN MEMPROSES LIMBAH RADIOAKTIF

LIMBAH **DIPROSES** DAN **DIPERKECIL** VOLUMENYA

LIMBAH GAS : **FILTRASI BERTINGKAT**

TURUNKAN PRODUKSI LIMBAH : DENGAN TEKNOLOGI

LIMBAH CAIR : **EVAPORASI** → **PADAT** →

SEMENTARA →

LIMBAH PADAT : **INSENERASI** → **KOMPAKSI PADAT**
SEMENTARA/ VITRIVIKASI →

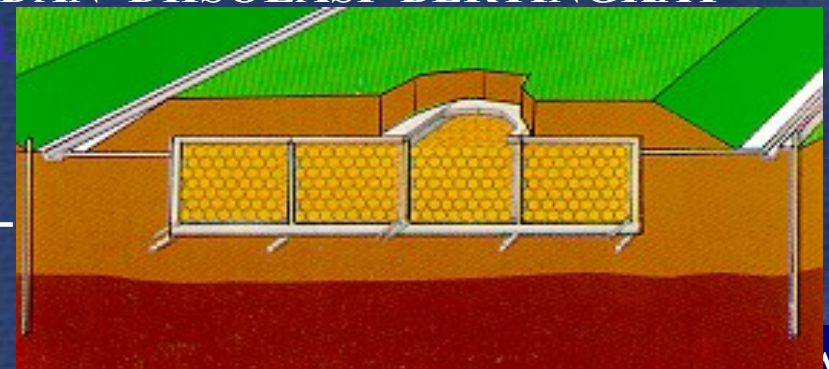
LIMBAH SESUDAH DIPROSES DIBUNGKUS DAN DIISOLASI BERTINGKAT

LIMBAH DIPADATKAN DALAM SEMEN ATAU

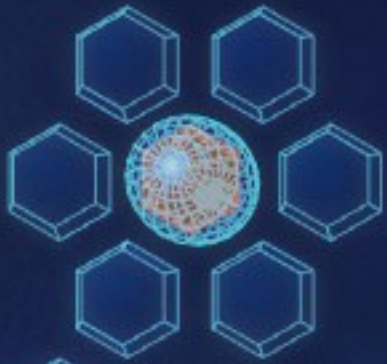
PEMBUNGKUS : SEMEN/KERAMIK

PEMBUNGKUS : BAJA

PENYIMPANAN SEMENTARA DAN PENYIMPANAN AKHIR.

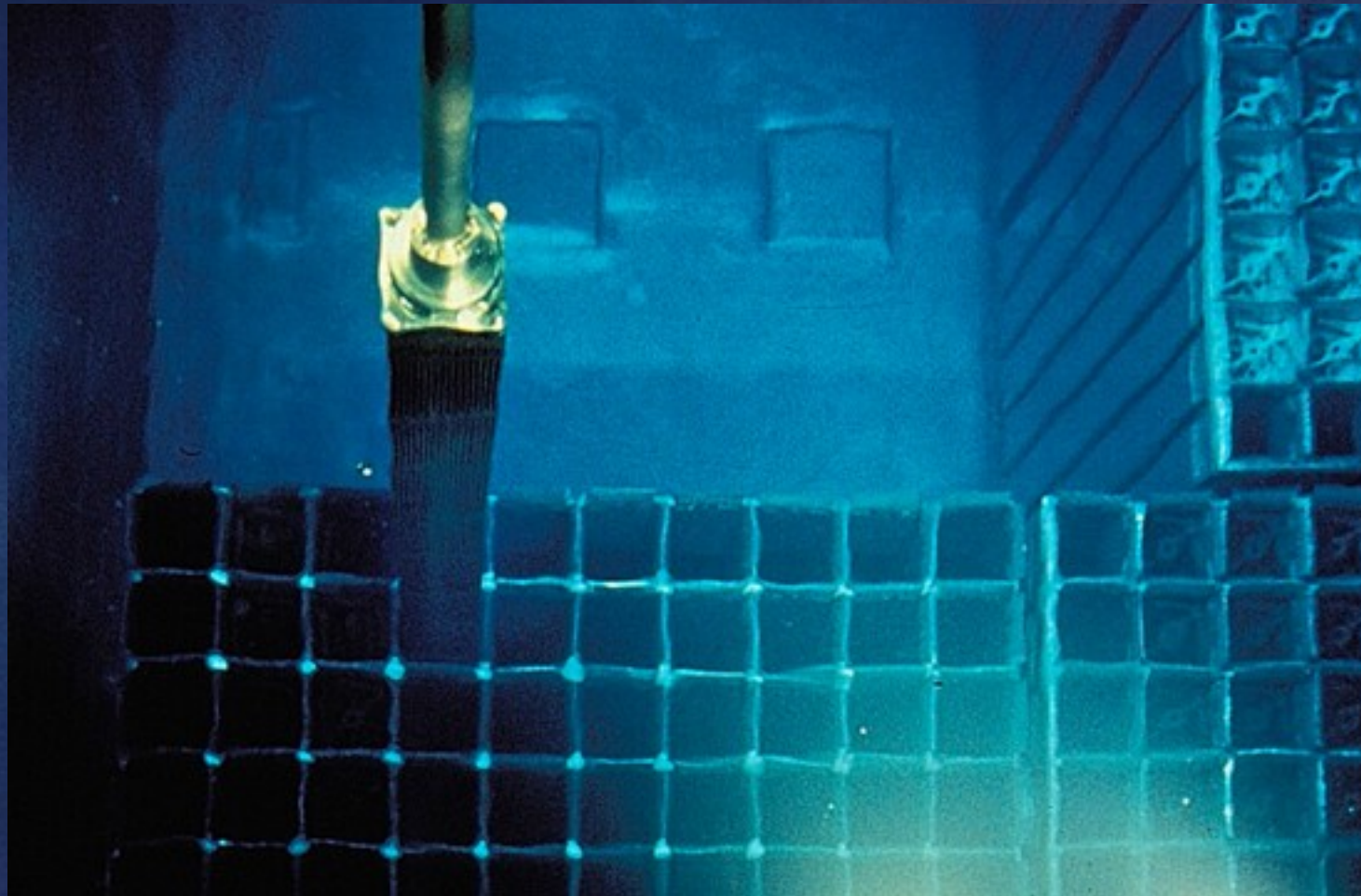


Penyimpanan tanah dangkal



Bahan Bakar Bekas

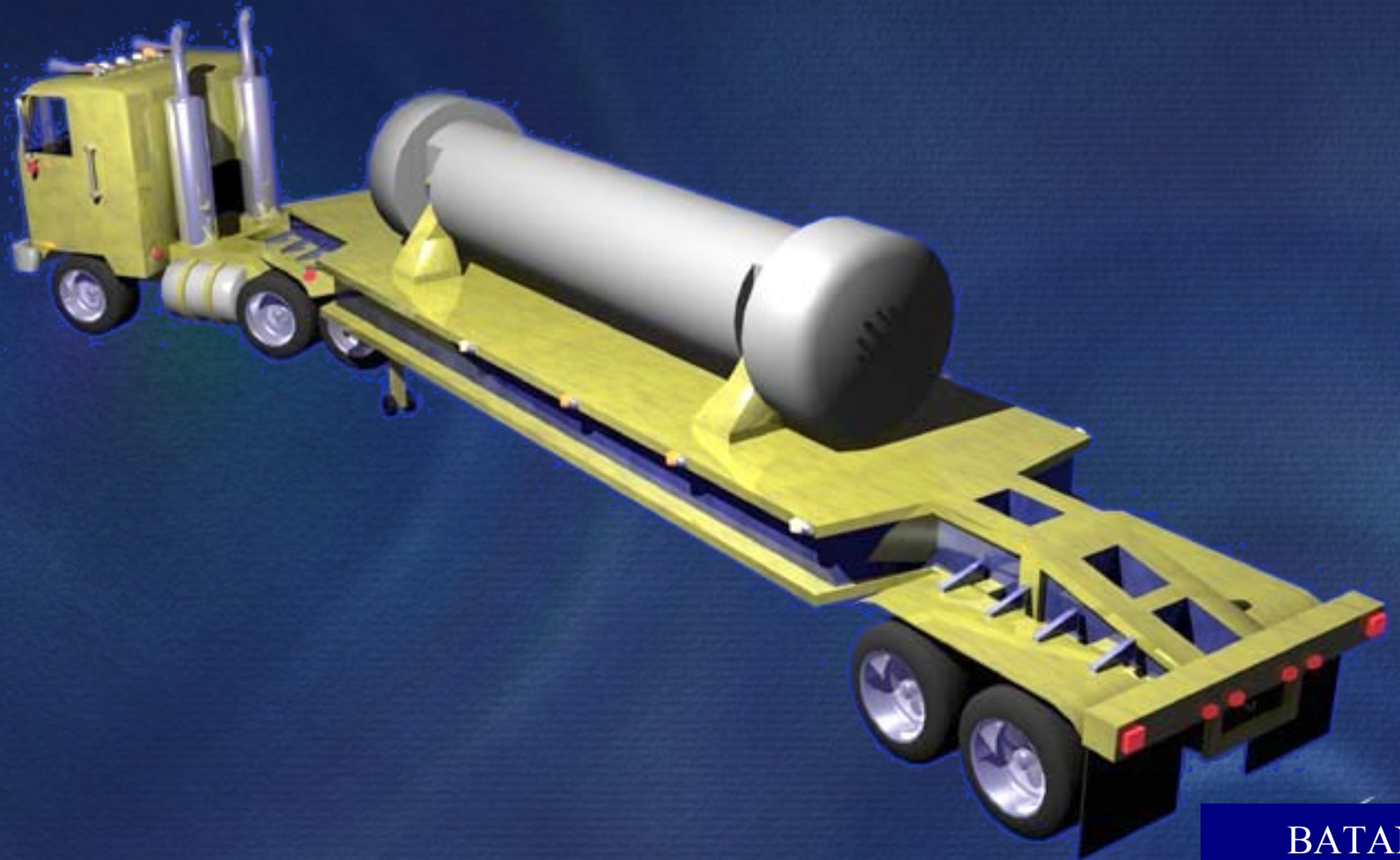
Perangkat bahan bakar disimpan sementara di kolam



Penyimpanan Kering Sementara



Kontainer pengangkut kuat dan aman



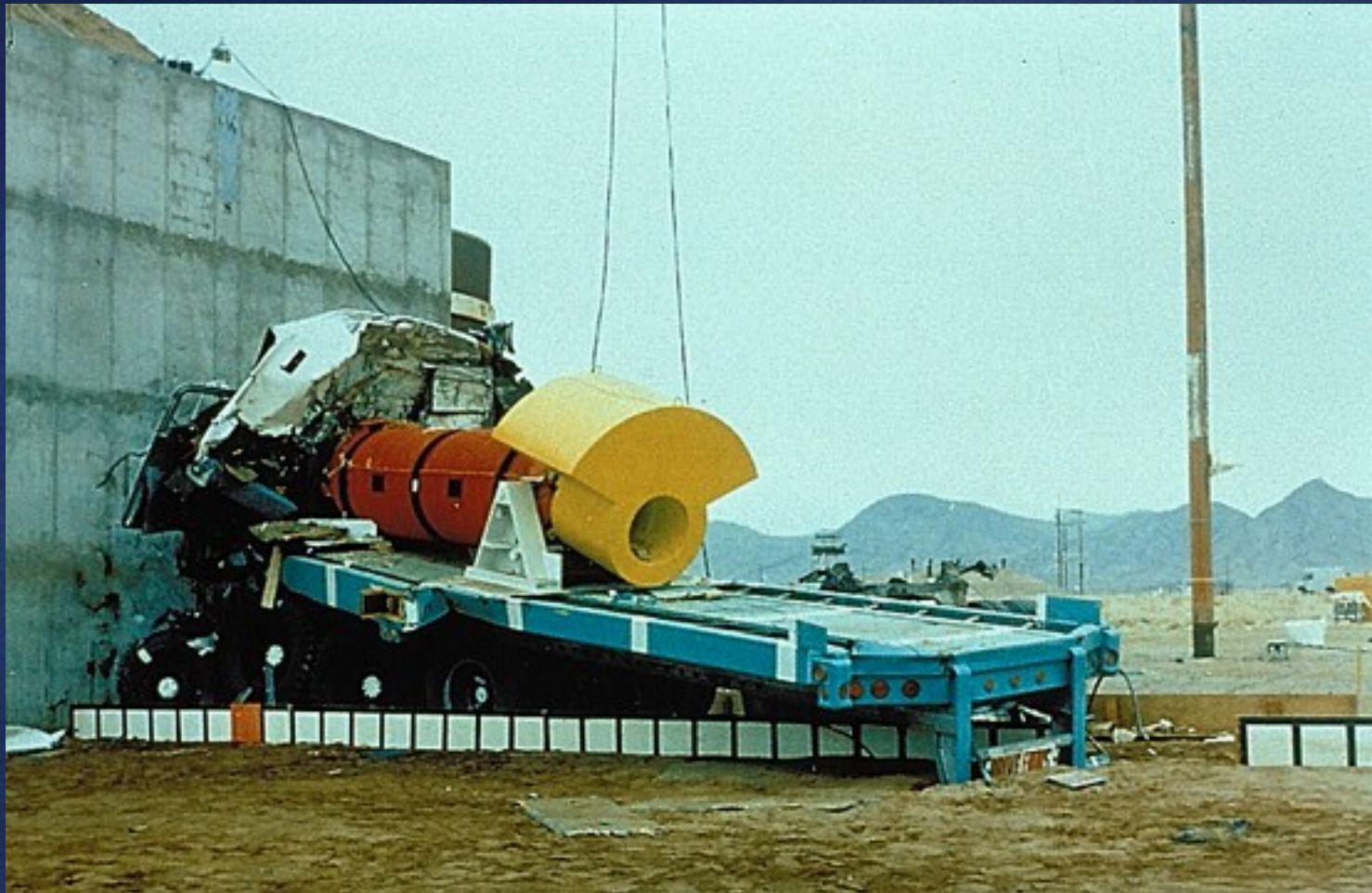
Tabung pengangkutan telah diuji



Kontainer diangkut dengan truk...



... dan ditabrakkan pada
dengan kecepatan 80
mile/jam ke dinding beton



Kontainer ditabrak lokomotif dengan kecepatan 80 mile/jam dari arah samping



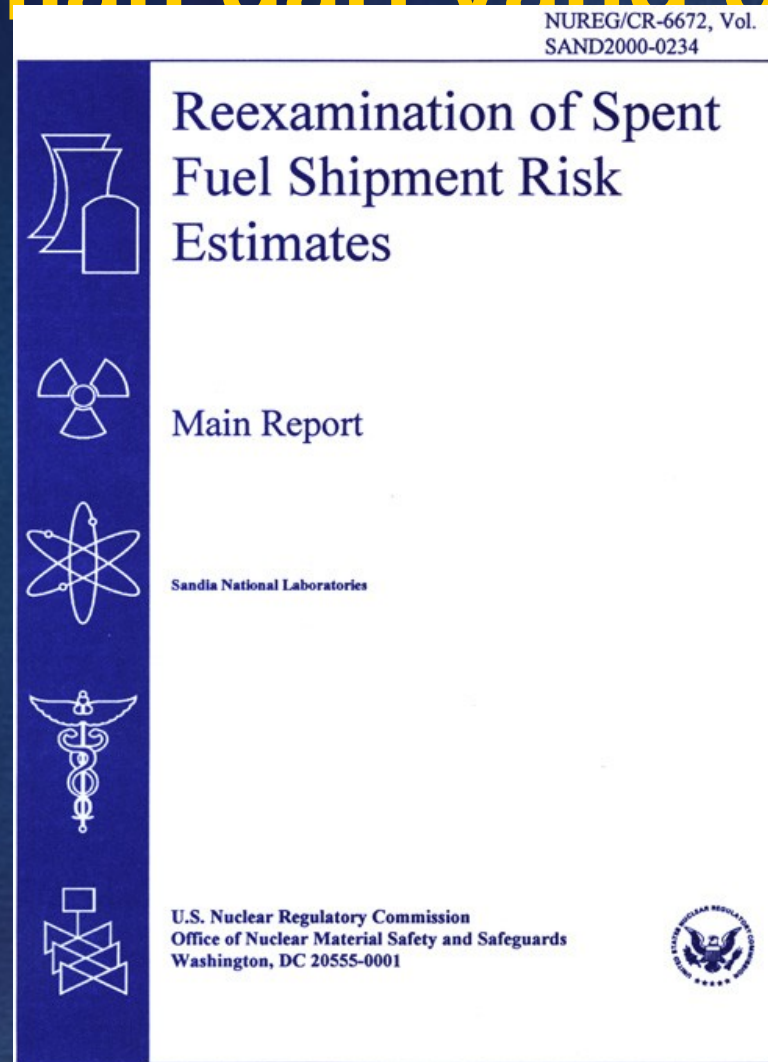
Kontainer dibakar



Kontainer lulus uji



NRC menyimpulkan pengangkutan bahan bakar bekas lebih aman dari yang dikira





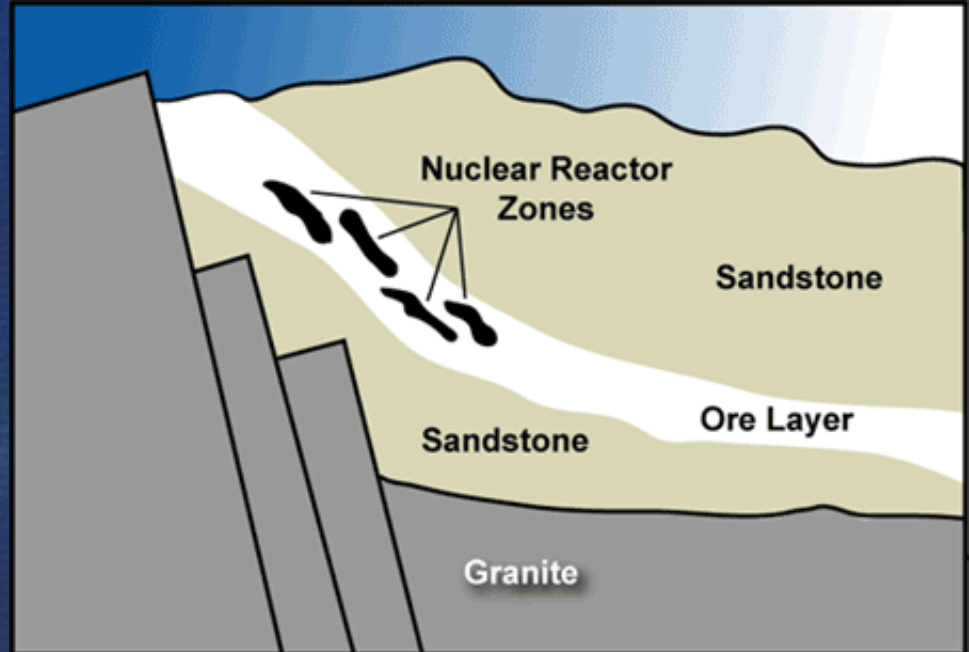
Perangkat bahan bakar disimpan dan dimonitor --Yucca Mountain



Dikembalikan ke sistem alam -> spt OKLO

OKLO: Reaktor Nuklir Alamiah

<http://www.ocrwm.doe.gov/factsheets/doeymp0010.shtml>



The uranium isotopes found at Oklo strongly resemble those in the spent nuclear fuel generated by today's nuclear power plants.