

MENGENAL KAPAL-KAPAL BERTEKNOLOGI NUKLIR

Budhiman Adi Setyawan

Program Studi Teknik Industri FT.UPN."Veteran" Jakarta
Jl.RS.Fatmawati Pondok Labu Jakarta Selatan
Telp.021-7656971 ext.195

Abstract

Nuclear fission is the disintegration of a susceptible (fissile) atom's nucleus into two different, smaller elements and other particles including neutrons. So, nuclear fission is made by separating one atom. A Nuclear reactor is a device to initiate and control a sustained nuclear chain reaction and are used at nuclear power plants for generating electricity and in propulsion of ship. Heat from nuclear fission is passed to a working fluid (water or gas) which runs through turbines. These either drive a ship's propellers or turn electrical generators. The United States Navy has by far the most nuclear-powered aircraft carriers and operates the largest fleet of nuclear submarines. The high cost of nuclear technology means that relatively few states have fielded nuclear aircraft carriers and submarines.

Keyword: Reactor, turbine, aircraft carrier, submarine

PENDAHULUAN

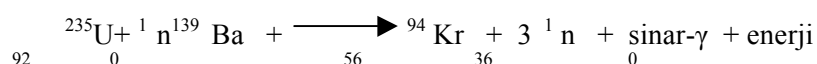
Kimia Nuklir

Sebelum mempelajari teknologi nuklir ada baiknya mempelajari ilmu kimia inti dahulu yaitu ilmu yang mempelajari tentang perubahan-perubahan dalam inti atom atau disebut dengan reaksi inti/nuklir. Reaksi inti tak lain merupakan peluruhan radiaktif transmutasi. Contoh polonium-210 meluruh secara spontan menjadi timbal-206 dengan memancarkan partikel- α . Transmutasi dihasilkan dari pemboman inti oleh neutron, proton atau inti lainnya. Inti dari beberapa atom bersifat radio aktif. Artinya unsur tersebut tidak stabil dan akan mengalami peluruhan karena waktu. Begitu inti dari sebuah radio isotop pecah maka sejumlah partikel yang diikatnya akan lepas dan menjadi unsur yang berbeda. Proses ini berlangsung terus sampai menjadi inti stabil. Urutan kejadian seperti ini disebut rangkaian peluruhan. Hampir semua unsur yang memiliki bentuk yang tidak stabil disebut radio isotop. Saat radio isotop meluruh akan memancarkan tiga

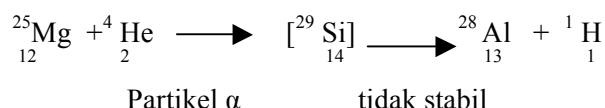
jenis radiasi yaitu sinar- α , sinar- β dan sinar- γ yang sangat berbahaya. Sinar- α dan sinar- β merupakan partikel yaitu sinar- α sama dengan unsur Helium dan sinar- β sama dengan partikel elektron. Sedangkan sinar- γ merupakan radiasi elektromagnetik atau radiasi yang memiliki foton. Sinar- α mempunyai daya tembus yang paling lemah sehingga dapat ditahan dengan selembar kertas. Sinar- β lebih kuat dari sinar- α yang mampu menembus selembar kertas tetapi tidak dapat menembus selembar logam aluminium. Sinar- γ memiliki daya tembus yang paling kuat, dapat menembus selembar kertas dan logam aluminium hanya dapat ditahan oleh selembar Pb (timbal)

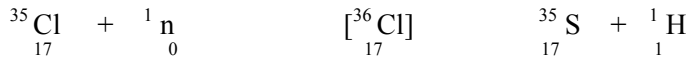
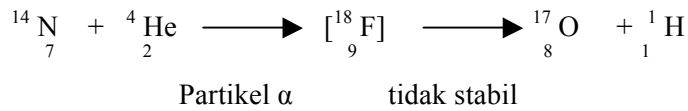
Reaksi Nuklir

Ada dua jenis reaksi inti yaitu reaksi fisi dan reaksi fusi. **Reaksi fisi** adalah reaksi dimana terjadi **pemecahan** dalam neutron sehingga terbelah menjadi dua, lalu neutron terbelah lagi menjadi dua lagi dan seterusnya. Contoh reaksi pemecahan pada uranium dengan ditambah neutron:



Pada reaksi transmutasi unsur yang ditembak oleh suatu partikel dengan energi yang sangat tinggi akan menghasilkan unsur baru yang lebih stabil dan energi yang lebih besar dan mengemisikan partikel lain. Pada peristiwa ini dapat terbentuk unsur yang tidak stabil terlebih dahulu. Contoh reaksi transmutasi :





Reaksi fisi seperti ini terjadi pada sistem reaktor **pembangkit listrik tenaga nuklir** dan **bom atom**.

Reaksi fusi adalah **reaksi pembentukan** dari dua intimenjadi satu sehingga menjadi inti yang lebih besar . Contoh pembentukan Helium [${}^4_2\text{H}$] dari inti deuterium [${}^2_1\text{H}$] dan tritium [${}^3_1\text{H}$]

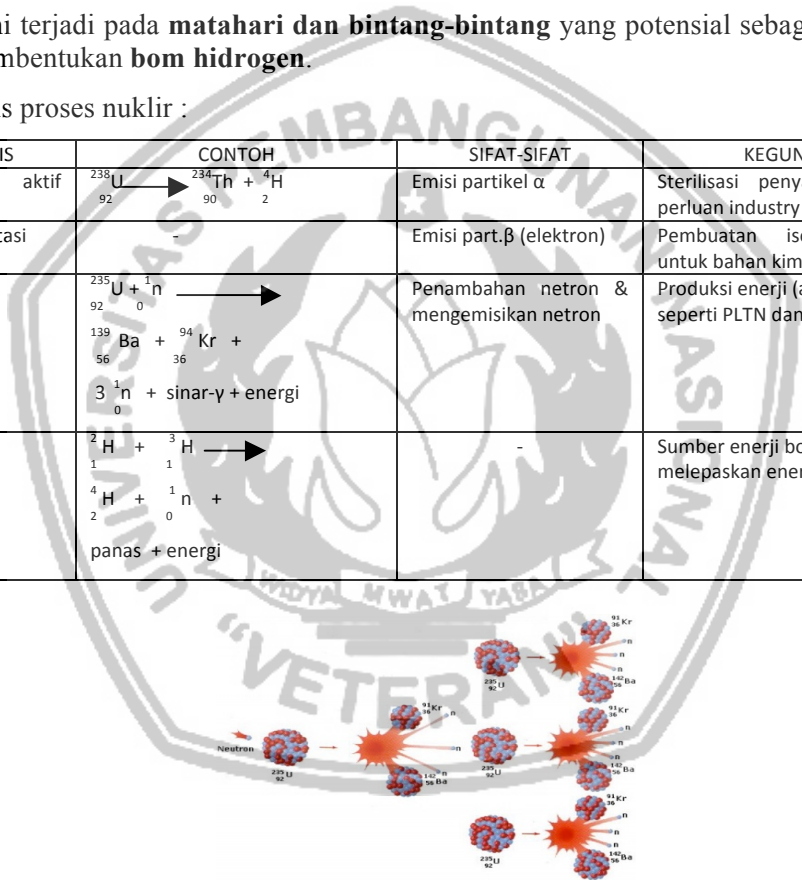
Reaksi :



Reaksi fusi ini terjadi pada **matahari dan bintang-bintang** yang potensial sebagai sumber energy serta pada pembentukan **bom hidrogen**.

Beberapa jenis proses nuklir :

JENIS	CONTOH	SIFAT-SIFAT	KEGUNAAN
Radio aktif alami	${}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{H}$	Emisi partikel α	Sterilisasi penyakit dan keperluan industry
Transmutasi		Emisi part. β (elektron)	Pembuatan isotop buatan untuk bahan kimia obat.
Fisi	${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow$ ${}^{139}_{56}\text{Ba} + {}^{94}_{36}\text{Kr} +$ $3 {}^1_0\text{n} + \text{sinar-}\gamma + \text{energi}$	Penambahan netron & mengemisikan netron	Produksi energi (atom reaktor seperti PLTN dan bom
Fusi	${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow$ ${}^4_2\text{H} + {}^1_0\text{n} +$ panas + energi	-	Sumber energi bom H dan melepaskan energi.

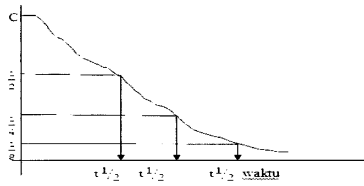


Gambar 1. Reaksi berantai dari U^{235}

Waktu Paruh

Waktu paruh adalah waktu yang diperlukan oleh inti zat radio isotop untuk meluruh sehingga konsentrasi tinggal separuh

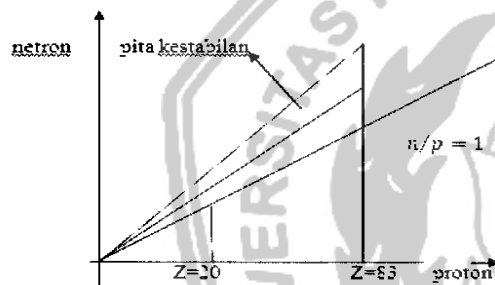
atau setengahnya. Artinya saat meluruh pertama tinggal separuh , meluruh kedua tinggal seperempatnya, meluruh ketiga tinggal seperdelapan dan seterusnya. Tiap-tiap zat radio isotop mempunyai waktu paruh yang berbeda. Bentuk grafik waktu paruh terhadap konsentrasi digambarkan sebagai berikut :



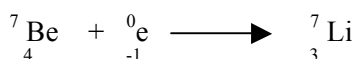
ISOTOP	WAKTU PARUH	JENIS PELURUHAN
Uranium 238	4500 juta tahun	A
Karbon 14	5,570 tahun	B
Kobalt 60	55 tahun	Γ
Radon 222	4 hari	B
Uniquadium 105	32 detik	Γ

Kestabilan Unsur Nuklir

Dari percobaan-percobaan setiap unsur dengan nomor atom lebih besar dari 83 (Bismuth) bersifat radioaktif dan merupakan isotop-isotop yang tidak stabil. Tetapi unsur-unsur yang lebih ringan kecuali untuk Technetium ($z=43$) dan Promethium ($z=61$) mempunyai satu atau lebih unsur yang stabil dan tidak radioaktif. Isotop-isotop yang bersifat radioaktif akan berusaha menjadi isotop yang stabil dengan cara transformasi. Berikut ini suatu grafik yang memperlihatkan letak pita kestabilan proton vs. neutron.



Dari gambar diatas bila unsur lebih kecil dari 20 termasuk isotop yang stabil dan unsur yang stabil, bila perbandingan neutron terhadap proton mendekati 1, sehingga bisa dijelaskan jika isotop karbon 14 tidak stabil dan isotop tersebut berubah menjadi unsur lain (nitrogen) yang lebih stabil dengan mengemisikan elektron. Unsur yang berada dibawah pita kestabilan harus meningkatkan nilai n/p untuk mencapai kestabilan yaitu dengan mengemisikan positron (elektron dengan muatan positif). Cara lain dari isotop untuk mencapai kestabilan adalah dengan mengemisikan neutron seperti pada isotop Iodium. Cara yang lain lagi adalah dengan electron capture atau K-capture yaitu melepaskan elektron pada kulit terluar atau terjadi transformasi dari proton menjadi neutron. Contoh K-capture :



Pada unsur dengan nomor atom yang lebih besar dari 83 untuk mencapai isotop yang lebih

stabil yaitu dengan cara mengemisikan sinar- α (Helium) seperti yang terjadi pada Uranium.

Perhitungan Energi Nuklir

Dalam suatu inti atom terdapat proton dan neutron. Menurut Einstein ada hubungan antara energi dengan massa yang dinyatakan dengan rumus :

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

E = energi
 m = massa
 c = kecepatan cahaya

Contoh perhitungan suatu unsur Helium [${}^4\text{He}_2$] terdiri dari 2 proton, 2 elektron dan 2 neutron, masing-masing partikel memiliki massa yang berbeda. Proton (p) 1,007277 unit (sma), neutron (n) 1,0088665 unit (sma) dan electron (e) 0,0005486 unit (sma). bila dihitung massa dari unsure Helium : $(2 \times 1,007277) + (2 \times 1,0088665) + (2 \times 0,0005486) = 4,032981$ unit (sma) (hasil perhitungan). 4,002603 unit ((sma) (hasil Spektrofotometri)

Maka ada selisih sebesar 0,030378 unit. Artinya dalam Helium dengan kandungan 2 proton, 2 elektron dan 2 neutron sejumlah 0,030378 unit bila dikonversikan menjadi energi sebesar 0,030378 g.

Bandingkan jika dibakar 1 mol gas CH_4 (metana) akan dibebaskan energi sebanyak $8,9 \times 10$ kj., jadi energi dari 1 mol Helium lebih besar daripada 1 mol gas CH_4 (metana)

Sebenarnya atom adalah unit dasar pembangun kehidupan sehingga sangat erat hubungannya dengan kegiatan sehari-hari seperti dalam bidang

kesehatan/kedokteran, pertanian, industri, peternakan, biologi dll. Beberapa manfaat nuklir bagi manusia antara lain membunuh sel kanker, mendeteksi segala macam penyakit dalam, mempelajari kecepatan aliran sungai, menyelidiki kebocoran pipa bawah tanah, pembuatan bibit unggul, pengawetan makanan, pemeriksaan cacat pada logam, mengubah struktur tekstil, pengawetan kayu, mengamati kinerja pelumas dsb.

Bahan Nuklir

Ada tiga bahan utama nuklir yaitu Deuterium, Plutonium dan Uranium.

Deuterium.

Deuterium disebut juga **Hidrogen 2** atau **hidrogen berat** (dengan simbol **D** atau ^2H) merupakan salah satu dari pada tiga bentuk isotop hidrogen yang terdiri dari pada protium, deuterium dan tritium. Deuterium merupakan isotop stabil dengan kelimpahan alami di bumi kira-kira satu dari 6500 atom hidrogen (~154 PPM). Dengan demikian deuterium merupakan 0,0115% (0,030% berat) dari semua hidrogen yang terbentuk secara alami. Inti deuterium disebut **deuteron** yang mengandung satu proton dan satu neutron, sementara inti hidrogen paling umum terdiri dari hanya satu proton dan tanpa neutron. Nama isotop berasal dari bahasa Yunani *deuteros* berarti "dua" untuk menunjukkan 2 partikel sub-atomik yang menyusun inti.

Sebagai sebuah isotop hidrogen lambang kimia yang disetujui untuk deuterium adalah ^2H . Meskipun demikian lambang tidak resmi (**D**) juga sering digunakan. Perbedaan signifikan pada berat atom relatif dibandingkan dengan protium murni ^1H mungkin ada alasan mengapa lambang **D** yang mirip lambang sebuah unsur tetap digunakan. Berat atom dari deuterium adalah 2,014 amu, sementara berat rata-rata hidrogen sebesar 1,007947 amu dan protium 1,007825 amu. Pada unsur-unsur kimia yang lain rasio berat isotop sangat tidak signifikan yang menjelaskan mengapa tidak ada simbol isotop yang unik digunakan di tempat lain. Secara alami deuterium ditemukan dalam jumlah kecil dalam bentuk gas $^2\text{H}_2$ atau D_2 tetapi keberadaannya secara alami di alam semesta terikat dengan atom ^1H berbentuk gas yang disebut hidrogen deuterida ($\text{HD}/^1\text{H}^2\text{H}$). Deuteron memiliki spin +1 sehingga merupakan sebuah boson.

Frekuensi resonansi magnetik nuklir (NMR) dari deuterium berbeda secara signifikan dari hidrogen ringan yang biasa. Spektroskopi inframerah juga dengan mudah dapat membedakan banyak senyawa yang bersifat deuterium karena perbedaan besar dalam frekuensi serapan inframerah dapat terlihat dalam vibrasi sebuah ikatan kimia yang mengandung deuterium dibandingkan dengan yang mengandung hidrogen ringan. Kedua isotop stabil hidrogen itu juga bisa dibedakan dengan memakai spektroskopi massa. Sifat-sifat

fisik senyawa deuterium dapat berbeda dari senyawa-senyawa hidrogen yang analog dengannya. Sebagai contoh D_2O lebih kental dari pada H_2O . Secara kimia kelakuan deuterium sama dengan hidrogen biasa tetapi ada perbedaan dalam energi ikat dan panjang senyawa isotop-isotop hidrogen berat yang lebih besar dari pada perbedaan isotopik di unsur manapun. Ikatan yang melibatkan deuterium dan tritium sedikit lebih kuat dari pada ikatan serupa pada hidrogen ringan dan perbedaan ini cukup untuk membuat perubahan yang signifikan di dalam reaksi-reaksi biologis. Deuterium dapat menggantikan hidrogen normal dalam molekul air untuk membentuk air berat yang 10,6% lebih padat daripada air biasa (es yang terbuat dari deuterium akan tenggelam dalam air biasa). Air berat cukup beracun bagi organisme *eukariota*. Penggantian 25% air di dalam tubuh dengan air berat dapat menyebabkan masalah pembelahan sel dan kemandulan. Penggantian 50% air akan menyebabkan kematian yang disebabkan sindrom sitotoksik (kegagalan sumsum tulang dan pelapisan gastrointestinal). Organisme *prokariota* masih mampu bertahan di dalam air berat murni (meskipun dengan pertumbuhan yang lambat). Konsumsi air berat bukan merupakan ancaman bagi manusia kecuali dalam jumlah yang sangat besar (lebih dari 10 liter). Dosis kecil air berat (beberapa gram adalah jumlah yang sebanding dengan yang ada di dalam tubuh) secara rutin dipakai sebagai pelacak metabolis yang tidak berbahaya bagi manusia dan binatang.

Keberadaan deuterium di bumi dan di tata surya (sebagaimana telah dikonfirmasi oleh wahana-wahana keplanetan) serta pada spektrum bintang adalah sebuah fakta penting di dalam kosmologi. Reaksi fusi nuklir dalam bintang yang menghancurkan deuterium dan tidak ada proses alami penciptaan deuterium yang diketahui selain nukleosintesis Big Bang yang bisa jadi telah memproduksi deuterium dalam kelimpahan yang teramat saat ini. Kelimpahan ini nampak sebagai fraksi hidrogen yang tidak berubah banyak dimanapun hidrogen ditemukan. Jadi, keberadaan deuterium adalah salah satu argument yang mendukung teori Big Bang. Kanada adalah negara terdepan dalam pengayaan deuterium dalam bentuk air berat. Kanada memakai air berat sebagai moderator neutron untuk operasi reaktor model reaktor CANDU.

Plutonium.

Plutonium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik dengan lambang **Pu** dan nomor atom 94. Plutonium adalah unsur radioaktif transurium yang langka dan merupakan logam aktinida dengan profil berwarna putih keperakan. Ketika terpapar di udara ia akan mengusam oleh karena pembentukan **plutonium (IV) oksida** yang menutupi permukaan logam. Unsur ini pada dasarnya mempunyai enam alotrop dan empat keadaan oksidasi. Ia bereaksi dengan karbon, halogen, nitrogen dan silikon. Ketika terpapar dengan kelembaban udara akan membentuk oksida dan hidrida dengan volume 70% lebih besar dan menjadi bubuk yang dapat menyala secara spontan. Ia juga merupakan racun radiologis yang dapat berakumulasi dalam sumsum tulang. Oleh karena sifat-sifat seperti inilah proses penanganannya cukup berbahaya meskipun tingkat toksisitas keseluruhan logam ini kadang-kadang dibesar-besarkan. Isotop terpenting dari plutonium adalah **plutonium-239** dengan umur paruh 24.100 tahun. Plutonium-239 merupakan fisil yang dapat terbelah ketika dibombardir oleh neutron termal, melepaskan energi, radiasi gamma dan neutron yang lebih banyak. Oleh karena itu dia dapat mempertahankan reaksi rantai nuklir setelah mencapai masa kritis. Sifat-sifat inilah yang memungkinkan plutonium dipakai sebagai senjata nuklir dan digunakan pada beberapa reaktor nuklir. Isotop plutonium yang paling stabil adalah **plutonium-244** dengan umur paruh sekitar 80 juta tahun. Umur paruh ini cukup panjang untuk dapat ditemukan secara alami dalam jumlah kecil. Plutonium-238 mempunyai umur paruh 88 tahun dan memancarkan partikel alfa. Ia adalah sumber panas pada generator termolistrik radioisotop (digunakan pada beberapa pesawat antariksa). **Plutonium-240** memiliki laju fisi spontan yang tinggi sehingga akan meningkatkan tingkat neutron latar pada sampel. Keberadaan Pu-240 akan membatasi potensi daya dan senjata suatu sampel. Ia juga digunakan sebagai titik tolak penentuan tingkat/grade plutonium: tingkat senjata (<7%), tingkat bahan bakar (7-19%) dan tingkat reaktor (>19%). **Plutonium-238** bisa disintesis dengan membombardir uranium 238 dengan deutron dan Pu-239 disintesis dengan membombardir uranium-238 dengan neutron.

Unsur 94 pertama kali disintesis oleh Glenn T. Seaborg dan Edwin McMillan di

Universitas California, Berkeley pada tahun 1940. MacMillan menamai unsur baru itu dengan plutonium (atas nama Pluto). Penemuan plutonium lalu menjadi bagian penting dalam Proyek Manhattan untuk mengembangkan bom atom selama Perang Dunia II. Uji nuklir pertama "Trinity" (Juli, 1945) dan bom atom kedua (Fat Man) yang digunakan untuk menghancurkan kota Nagasaki (Agustus 1945) memiliki inti Pu-239.

Isotop Plutonium 238 (Pu^{238}) memiliki umur paruh 87,5 tahun. Ia memancarkan sejumlah besar energi termal dengan tingkat pancaran sinar γ dan partikel neutron spontan yang rendah. Sebagai pemancar partikel α ia memancarkan radiasi berenergi tinggi dengan tingkat penetrasi yang rendah, sehingga hanya diperlukan pemeriksaan yang minimal. Selambar kertas dapat dipakai untuk memerisai partikel α yang dipancarkan oleh Pu^{238} manakala satu kilogram isotop ini bisa menghasilkan 22 juta kilowatt jam energi panas. Sifat ini membuat isotop Pu^{238} sangat cocok digunakan sebagai sumber listrik dengan peralatan yang harus berfungsi tanpa pemeliharaan secara langsung selama seumur hidup manusia. Oleh karena itu ia digunakan dalam *pembangkit termolistrik radioisotop* dan *unit pemanas radioisotop* yang digunakan pada misi penjelajahan luar angkasa Cassini, Voyager dan New Horizons. Pu^{238} jugalah sukses dipakai sebagai alat pacu jantung buatan sehingga mengurangi resiko pembedahan ulang.

Uranium

Uranium terdepleksi

Uranium terdepleksi (Depleted Uranium/DU) adalah uranium yang memiliki kadar isotop U^{235} yang lebih rendah dari uranium alam. Biasanya sebagai akibat dari proses pengayaan uranium. Uranium yang tersedia di alam mempunyai 3 isotop yaitu U^{238} , U^{235} dan U^{234} yang ditemukan di alam dengan komposisi 99,28% U^{238} , 0,72% U^{235} dan 0,0057% U^{234} dengan aktivitas jenis 25,4 Bq/mg (1 Bq = 1 peluruhan atom radioaktif/detik). U^{235} adalah isotop fisil dan dapat meluruh sambil mengeluarkan sejumlah energi yang dipakai dalam industri nuklir. Industri nuklir dalam bentuk bahan bakar reaktor dan persenjataan membutuhkan uranium dengan kadar isotop U^{235} yang lebih banyak (2-94% massa) sehingga diperlukan

proses pengayaan (enrichment) terhadap uranium alam. Dalam proses pengayaan ini U^{235} disaring dan dipisahkan secara terus menerus. Uranium sisa saringanlah yang disebut DU dengan komposisi 99,8 % U^{238} , 0,2 % U^{235} dan 0,001 % U^{234} .

Uranium terdepleksi digunakan di dalam bidang militer sebagai proyektil (penembus berbasis energi kinetik). Secara kimiawi, uranium merupakan logam berat berwarna keperakan yang sangat padat. Sebuah kubus uranium bersisi 10 cm memiliki massa mendekati 20 kg dan secara umum 70% lebih padat dibanding Pb (timbal/timah hitam). Pada suhu 600-700 °C dalam tekanan yang sangat tinggi logam DU akan menyala dengan sendirinya membentuk kabut aerosol DU yang bersifat cair dan sangat panas. Sifat kimiawi dan fisis semacam ini yang menyebabkan kalangan militer menyukai DU untuk digunakan sebagai senjata penembus berenergi kinetis dan biasa digunakan dalam bentuk Senjata Antitank atau kendaraan lapis baja lainnya. Jadi senjata ini benar-benar konvensional. Sama sekali tidak melibatkan reaksi berantai di dalamnya (baik reaksi fisi maupun reaksi fusi). Senjata ini sebagian besar menggunakan prinsip yang dikenal dengan Efek Munroe. Prinsip dari penerapan senjata berbasis DU ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

Bayangkan ada sebuah tabung di dalamnya ada rongga yang berbentuk kerucut dengan dasar kerucut tepat beririsan dengan dasar tabung. Dinding kerucut ini terbuat dari lapisan DU, sementara ruang antara kerucut dan tabung diisi dengan bahan peledak konvensional (TNT). Di dasar kerucut terdapat sebatang pipa kecil yang sumbu berada pada sumbu tabung dan kerucut, mengarah keluar. Pipa ini tertutup, diujungnya terdapat detonator dan sekering sumbu waktu. Karena tertutup, maka rongga tadi dibuat hampa udara. Jika TNT yang mengelilingi rongga kerucut tadi diledakkan, tekanan dan panas yang dihasilkannya akan membuat DU yang menyusun ujung dan bagian tengah dinding kerucut mencair dalam derajat yang berbeda. Di ujung kerucut DU mencair sempurna dan oleh tekanan ledakan ia akan bergerak mengalir keluar menyusuri pipa dengan kecepatan 10 km/detik (diistilahkan dengan Jet). Sementara DU yang menyusun bagian tengah dinding kerucut hanya mengalami pencairan sebagian sehingga membentuk gumpalan-gumpalan kecil logam (pasir logam) yang larut dalam

cairan DU (slug) dan melesat dengan kecepatan 1 km/detik. Jet dan slug inilah yang dengan mudah mampu menembus dinding lapis baja (setebal apapun) akibat kecepatan dan sifat cairnya. Penembusan ini menyebabkan bagian dalam kendaraan lapis baja itu terpanaskan dengan hebat dan membuat tanki bahan bakar solarnya meledak sehingga kendaraan lapis baja ini akan terbakar dan personel yang ada di dalamnya terpenggang. Jet dan slug inilah yang merupakan bagian dari Efek Munroe dan belum ada material baja yang mampu menangkalnya (meski material baja tersebut sanggup menahan gelombang tekanan produk ledakan senjata nuklir sekalipun). Senjata-senjata yang mengandung DU itu seluruhnya merupakan senjata anti tank dan anti kendaraan lapis baja seperti rudal TOW (jarak jangkauan 2 km), rudal Hellfire (dipasang pada helikopter serang AH-64 Apache), rudal LAW (Inggris, mirip TOW), rudal Matra (Perancis, mirip TOW) atau peluru bazooka model RPG-7 (buatan Uni Soviet) yang sangat populer dikalangan gerilyawan. DU juga digunakan sebagai pelapis kendaraan tempur pada kendaraan tank M1 Abrams yang dipajang di museum senjata Amerika Serikat. Tank ini dilapisi oleh Chobham yang diantara variannya mengandung campuran DU dan 0,7% Titanium. Kegunaan di luar bidang militer antara lain sebagai pigmen keramik dan kontrabalans berat pesawat. Penggunaan DU menjadi kontroversi berkaitan dengan bahan radioaktif uranium yang digunakan. DU sendiri telah digunakan secara luas dalam kasus Perang Teluk I (1991) dan medan pertempuran Balkan (krisis Kosovo 1999). Beberapa personel terekspos partikel DU dan di kawasan teluk diduga terdapat 300 kg DU yang telah digunakan. Namun penyelidikan IAEA menunjukkan angka kematian yang sangat kecil pada ekspos DU. Dalam hal efeknya terhadap tubuh manusia, secara kimiawi DU merupakan logam penekan kerja ginjal. Sedangkan secara fisik, sebagai unsur radioaktif uranium akan terkonsentrasi dalam paru-paru, ginjal dan sistem peredaran darah serta beberapa jaringan lunak lainnya untuk sementara waktu. Dalam beberapa negara, konsentrasi uranium di dalam tubuh manusia dibatasi pada angka 3 mikrogram/gram jaringan tubuh. Hal ini untuk menghindari efek buruknya pada tubuh

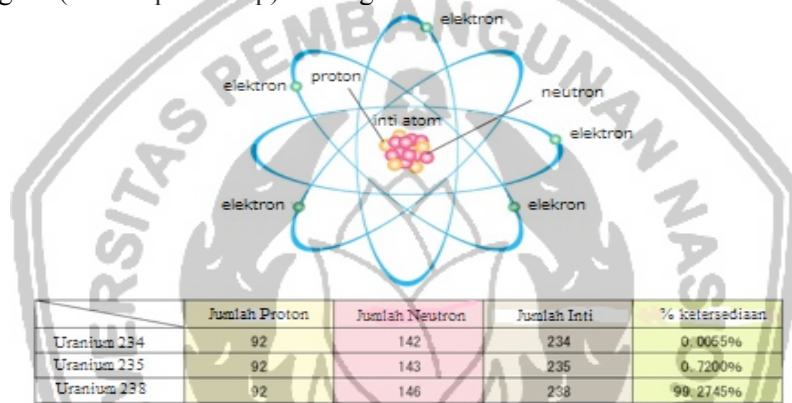
manusia diantaranya kanker dan gangguan pada ginjal.

Uranium-235

Uranium-235 (U^{235}) adalah isotop uranium yang penting disamping U^{238} . Hanya 0,72% uranium alami adalah U^{235} yang mempunyai waktu paruh $7,038 \times 10^8$ tahun. U^{235} juga dipakai sebagai sumber utama penghasil neutron dalam reaksi nuklir yang mana neutron-neutron yang ditembakkan ke arah U^{238} pada pembuatan plutonium. U^{235} dan Pu^{239} dipakai sebagai bahan bakar (fisi nuklir) dalam reaktor nuklir dan bom nuklir. Biji-biji uranium diambil dari pertambangan lalu dihancurkan dan dihaluskan. Lalu diproses secara kimia (bertahap-tahap) sampai akhirnya didapat uranium murni (U_{308}). Kemudian diproses lagi (bertahap tahap) dengan

menggunakan zat kimia, dari U_{308} menjadi $UO_2(NO_3)_2$ kemudian menjadi ADU, lalu menjadi UO_2 , menjadi UF_4 dan akhirnya menjadi UF_6 (Uranium heksafluorida). UF_6 sudah bisa diproses secara kimia untuk mendapatkan uranium dalam bentuk logam murni, U^{238} .

Untuk meningkatkan kandungan U^{235} (hanya < 1% dan > 99% nya itu U^{238}) di dalam bentuk UF_6 perlu dilakukan pengayaan uranium. Setelah proses pengayaan kadar U^{235} mencapai lebih dari 90%. Hal itu sudah sesuai persyaratan untuk pembuatan senjata nuklir. Materi UF_6 diproses lagi secara kimia untuk mendapatkan uranium dalam bentuk logam murni U^{235} . UF_6 dengan kandungan U^{238} yang lebih dari 90% diproses lagi secara kimia untuk mendapatkan logam U^{238} murni.



Gambar 2. Struktur atom Uranium

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

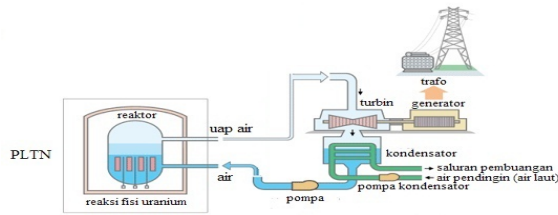
Ada sepuluh macam pembangkit listrik tenaga nuklir yaitu Reaktor Air Tekan (*Pressurized Water Reactor, PWR*), Reaktor Air Tekan Rusia (*VVER*), Reaktor Air Didih (*Boiling Water Reactor, BWR*), Reaktor Air Berat Pipa Tekan (*CANDU*), Reaktor Air Berat Pembangkit Uap (*Steam Generating Heavy Water Reactor, SGHWR*), Reaktor Pendingin Gas (*Gas Cooled Reactor, GCR*), Reaktor Gas Maju (*Advanced Gas Reactor, AGR*), Reaktor Gas Suhu Tinggi (*High Temperature Gas*

Reactor, HTGR), Reaktor Moderator Grafit Pendingin Air Didih (*RBMK*) dan Reaktor Pembiak Cepat (*Fast Breeder Reactor, FBR*).

Prinsip Kerja Pembangkit Tenaga Listrik Nuklir

Prinsip kerja pembangkit tenaga listrik nuklir adalah di dalam sebuah reaktor

nuklir, uranium ditembak sehingga terjadi reaksi fisi secara berantai yang tetap dipertahankan kontinuitasnya dalam bahan bakar agar bahan bakar menjadi panas. Panas yang dihasilkan ditransfer ke pendingin reaktor yang secara langsung atau tidak langsung digunakan untuk membangkitkan uap. Pembangkitan uap langsung dilakukan dengan membuat pendingin reaktor (Air biasa, H_2O) mendidih dan menghasilkan uap. Pada pembangkitan uap tidak langsung, pendingin reaktor (pendingin primer) yang menerima panas dari bahan bakar disalurkan melalui pipa ke perangkat pembangkit uap. Pendingin primer ini kemudian memberikan panas (menembus media dinding pipa) ke pendingin sekunder (air biasa) yang berada di luar pipa perangkat pembangkit uap untuk kemudian panas tersebut mendidihkan pendingin sekunder dan membangkitkan uap.



Gambar 3.Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Tipe Reaktor Nuklir

Beberapa tipe reaktor nuklir serta jenis bahan moderator dan pendingin yang dipakai diperlihatkan pada tabel berikut. Pada umumnya tipe reaktor nuklir dibedakan berdasarkan komposisi dan konstruksi dari bahan moderator neutron dan bahan pendingin yang digunakan sehingga dipakai sebutan seperti reaktor gas, reaktor air ringan (H₂O), reaktor air berat (D₂O). D adalah lambang dari unsur "Deuterium" yaitu salah

satu isotop unsur hidrogen dengan rumus ²H₁. Selain itu faktor kondisi air pendingin juga

menjadi pertimbangan penggolongan tipe reaktor nuklir. Jika air pendingin dalam kondisi mendidih disebut reaktor air didih, jika tidak mendidih atau tidak diizinkan mendidih dengan cara memberikan tekanan secukupnya pada pendingin disebut reaktor air tekan. Reaktor nuklir dengan suhu pendingin sangat tinggi (diatas 800 °C disebut reaktor gas temperatur tinggi.

Tabel 1.Komposisi Pendingin dan Moderator Reaktor pada suatu Reaktor prototip

Bahan Modr. Neutron	Bahan Pendingin Reaktor	Tipe Reaktor	Bahan Bakar
Air ringan/ reaktor air ringan	Air ringan (tak mendidih)	PWR VSWR	UO ₂ pengayaan rendah Idem
	Air mendidih	BWR	Idem
	Air Berat / reaktor air berat	SGHWR CANDU-BLWR CANDU-PHWR	UO ₂ pengayaan rendah UO ₂ pengayaan rendah Uranium alam oksida Logam uranium alam UO ₂ pengayaan rendah
Grafit / reaktor grafit	Gas (CO ₂)	GCHWR	Logam uranium alam UO ₂ pengayaan rendah
	Gas (CO ₂) Gas (Helium)	GCR/R. Magnox AGR HTGR	Logam uranium alam UO ₂ pengayaan rendah Idem
	Air ringan (mendidih)	RBMK/LWGR	Idem
	-	FR dan FBR	U-pentonium mixed oksida/MOX

Reaktor Air ringan (Light Water Reactor, LWR)

Diantara seluruh pembangkit listrik tenaga nuklir di dunia yang masih tetap beroperasi sebanyak 80 persennya adalah tipe reaktor air ringan. Semula reaktor ini dirancang untuk tenaga penggerak kapal selam Angkatan Laut Amerika. Dengan modifikasi secukupnya dan peningkatan daya seperlunya lalu digunakan dalam PLTN. Reaktor air ringan terbagi dua yaitu reaktor air didih dan reaktor air tekan (pendinginnya tak mendidih). Kedua reaktor ini menggunakan air ringan sebagai bahan pendingin dan moderator. Bahan bakar yang digunakan pada tipe reaktor air ringan adalah uranium dengan pengayaan rendah (sekitar 2-4 %) bukan uranium alam karena sifat air yang menyerap neutron. Kemampuan

air dalam memoderasi neutron (menurunkan kecepatan/energi neutron) sangat baik. Maka jika digunakan dalam reaktor (sebagai moderator neutron dan pendingin) ukuran teras reaktor menjadi lebih kecil (kompak) bila dibandingkan dengan reaktor nuklir tipe reaktor gas dan reaktor air berat.

Reaktor Air Tekan (Pressurized Water Reactor, PWR)

Pada pembangkit listrik tipe ini, air sebagai sistem pendingin masuk ke dalam bejana tekan reaktor pada tekanan tinggi dan suhunya lebih kurang 290 °C. Air bertekanan dan bersuhu tinggi ini bergerak pada sela-sela batang bahan

bakar dalam perangkat bahan bakar ke arah atas teras sambil mengambil panas dari batang bahan bakar sehingga suhunya naik menjadi sekitar 320 °C. Air pendingin primer ini kemudian disalurkan ke perangkat pembangkit uap (lewat sisi dalam pipa pada perangkat pembangkit uap). Pada perangkat ini air pendingin primer memberikan energi panasnya ke air pendingin sekunder (yang berada di sisi luar pipa pembangkit uap) sehingga suhunya naik sampai titik didih dan terjadi penguapan. Uap yang dihasilkan dari penguapan air pendingin sekunder tersebut kemudian dikirim ke turbin untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator listrik. Perputaran generator listrik akan menghasilkan energi listrik yang di salurkan ke jaringan listrik. Air pendingin primer yang ada dalam bejana reaktor dengan suhu 320 °C akan mendidih jika berada pada tekanan udara biasa (1 atm). Agar pendingin primer ini tidak mendidih maka sistem pendingin primer diberi tekanan hingga 157 atm. Karena adanya pemberian tekanan itu maka bejana reaktor sering disebut sebagai bejana tekan atau bejana tekan reaktor. Pada reaktor PWR, air pendingin primer yang membawa unsur-unsur radioaktif dialirkan hanya sampai ke pembangkit uap, tak sampai turbin. Oleh sebab itu pemeriksaan & perawatan sistem sekunder (turbin, kondenser, pipa penyalur, pompa sekunder dll) menjadi mudah dilakukan. PWR versi Rusia disebut VVER. Perbedaannya hanya pada konstruksi bentuk penampang perangkat bahan bakarnya persegi enam dan letak pembangkit uapnya horizontal.

Reaktor Air Didih (*Boiling Water Reactor, BWR*)

Karakteristik yang unik dari tipe reaktor air didih adalah uap dibangkitkan langsung dalam bejana reaktor dan kemudian disalurkan ke turbin pembangkit listrik. Pendingin dalam bejana reaktor berada pada suhu 285 °C dan tekanan jenuhnya sekitar 70 atm. Reaktor ini tak memiliki perangkat pembangkit uap tersendiri karena uap dibangkitkan di bejana reaktor. Oleh sebab itu pada bagian atas bejana reaktor terpasang perangkat pemisah dan penering uap. Konstruksi bejana reaktor menjadi lebih rumit.

Reaktor Air Berat (*Heavy Water Reactor, HWR*) Reaktor Air Berat Tekan (*Pressurized Heavy Water Reactor, PHWR*)

Pembangkit listrik tenaga nuklir dengan reaktor pendingin air berat tekan dengan pipa tekan yang paling banyak digunakan adalah tipe CANDU (CANadian Deuterium Uranium Reactor). Bahan bakar yang dipakai adalah uranium alam. Kanada menjadi pelopor penyebaran reaktor ini ke seluruh dunia.

Reaktor Air Berat Pendingin Gas (*Heavy Water Gas Cooler Reactor, HWGCR*)

HWGCR/GCHWR adalah suatu tipe reaktor nuklir yang menggunakan air berat sebagai bahan moderatornya sehingga pemanfaatan neutronnya menjadi optimal. Gas pendingin dinaikkan suhunya sampai pada tingkat yang cukup tinggi sehingga efisiensi termal reaktor ini dapat ditingkatkan, tetapi oleh karena persoalan pengembangan bahan kelongsong berilium yang tahan terhadap suhu tinggi dan paparan radiasi lama belum terpecahkan sampai sekarang maka pada akhirnya di dunia hanya terdapat empat reaktor tipe ini. Bahan kelongsong reaktor yang dibuat di Perancis terbuat dari stainless steel.

Reaktor Air Berat Pembangkit Uap (*Steam Generated Heavy Water Reactor, SGHWR*)

Reaktor ini sering disebut *Light Water Cooled Heavy Water Reactor, LWCHWR* dan hanya ada di Pusat Penelitian Winfrith Inggris.

Reaktor Grafit

Reaktor Pendingin Gas (*Gas Cooled Reactor, GCR*)

Grafit sebagai bahan moderator telah digunakan oleh ilmuwan Enrico Fermi sejak reaktor nuklir pertama Chicago Ple No.1 (CP 1). Grafit terkenal murah dan dapat diperoleh dalam jumlah yang besar.

Plutonium-239 (Pu^{239}) yang digunakan pada bom atom yang dijatuhkan pada waktu Perang Dunia II dibuat pada reaktor grafit. Reaktor ini menggunakan bahan bakar logam uranium alam dengan bahan pendingin reaktornya adalah gas CO_2 . Bahan kelongsongnya terbuat dari paduan magnesium (Magnox) sehingga disebut Reaktor Magnox. Reaktor Magnox mempunyai daya pembangkitan listrik yang cukup besar dan efisiensi ekonomi yang baik.

Reaktor Gas Pendingin Maju (*Advance Gas Cooled Reactor, AGR*)

Fokus pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga nuklir di Inggris bergeser ke reaktor berbahan bakar uranium dengan pengayaan rendah yang memiliki kerapatan daya dan efisiensi termal yang tinggi.

Reaktor Pendingin Gas Suhu Tinggi (*High Temperatur Gas-cooled Reactor, HTGR*)

Reaktor ini menggunakan gas helium sebagai pendingin. Karakteristik yang menonjol dan uniknya adalah konstruksi teras didominasi bahan moderator grafit, temperatur operasi dapat dinaikkan menjadi tinggi dan efisiensi pembangkitan listrik dapat mencapai lebih dari 40 persen. Ada tiga bentuk bahan bakar dari reaktor HTGR yaitu dapat berupa : a. Bentuk batang seperti reaktor ringan (dipakai pada Reaktor Dragon dan Peach Bottom); b. Bentuk blok, batang bahan bakar dimasukkan ke dalam lubang blok grafit berbentuk segi enam; c. Bentuk bola, butir bahan bakar bersalut didistribusikan dalam bola grafit (Reaktor AVR).

Reaktor Pipa Tekan Air Didih Moderator Grafit (*Light Water Gas-cooled Reactor, LWGR*)

Reaktor tipe ini dikembangkan oleh Rusia dengan nama RBMK. Reaktor ini tidak memakai tanki kalandria (berisi air berat) seperti tipe SGHWR tetapi memakai grafit sebagai moderator. Oleh sebab itu dimensi reaktor menjadi besar. Ada sekitar 1700 buah pipa tekan menembus susunan blok grafit. Di dalam pipa tekan diisi batang bahan bakar yang di sekelilingnya mengalir air ringan untuk mengambil panas dari batang bahan bakar sehingga mendidih. Uap yang terbentuk dikirim ke turbin pembangkit listrik untuk memutar turbin dan membangkitkan listrik. Salah satu reaktor terkenal dari tipe ini adalah Reaktor Chernobyl No.4 dengan tipe RBMK-1000 yang mengalami kegagalan disain berupa tidak ada bejana pengukur reaktor.

Reaktor Cepat (*Fast Reactor, FR*), Reaktor Pemiak Cepat (*Liquid Metal Fast Breeder Reactor*)

Sesuai dengan namanya, neutron cepat yang dihasilkan dari reaksi fisi dengan kecepatan tinggi dikondisikan sedemikian rupa agar bisa diserap oleh Uranium-238 sehingga menghasilkan Plutonium-239. Dengan kata

lain, di dalam reaktor dapat dibiakkan (dibuat) unsur plutonium. Rapat daya dalam teras reaktor cepat sangat tinggi, oleh karena itu sebagai pendinginnya digunakan bahan logam natrium cair atau logam cair campuran natrium dan kalium (NaK) yang mempunyai kemampuan tinggi dalam mengambil panas dari bahan bakar.

Konstruksi reaktor pembiak cepat terdiri dari pendingin primer yang berupa bahan bakar logam cair mengambil panas dari bahan bakar dan kemudian mengalir ke alat penukar panas-antara (*Intermediate heat exchanger*) lalu energi panas ditransfer ke pendingin sekunder (bahannya natrium cair atau logam cair natrium) yang tidak mengandung bahan radioaktif akan mengalir membawa panas yang diterima dari pendingin primer menuju ke perangkat pembangkit uap dan memberikan panas ke pendingin tersier (air ringan). Akibatnya suhu meningkat dan mendidih (proses pembangkitan uap). Uap yang dihasilkan dialirkan ke turbin untuk memutar generator listrik yang dikopel dengan turbin.

Kapal-kapal Nuklir

Kapal-kapal yang bertenaga nuklir dapat dibagi dua yaitu Kapal induk dan kapal Selam.

Kapal Induk

Kapal Induk (*Carrier Vessel, CV*) adalah istilah untuk kapal perang yang memuat pesawat tempur dalam jumlah besar. Tugasnya adalah untuk memindahkan kekuatan udara ke dalam armada angkatan laut sebagai pendukung operasi-operasi angkatan laut. Selain itu juga dipakai sebagai pusat komando operasi dan sebagai kekuatan *deterrence* atau memberikan efek gentar pada lawan. Sebagai kapal yang membawa pesawat, kapal induk memiliki fleksibilitas tempur yang lebih tinggi dibanding jenis kapal perang lainnya.

Sejarah Kapal Induk

Kapal induk pertama kali digunakan oleh Angkatan Laut Inggris, namun sampai menjelang Perang Dunia II nagara-negara barat termasuk Amerika Serikat enggan menggunakannya sebagai kekuatan angkatan laut utama. Konsep konvensional armada angkatan laut pada saat itu didominasi oleh kapal jelajah berat, kapal jelajah, kapal perusak (destroyer) dengan ukuran meriam yang cukup besar. Hal ini disebabkan bahwa kapal induk dipandang cukup rentan dan riskan bila dipakai

dalam operasi maritim. Kaigun (Angkatan Laut Jepang) yang menggunakan kapal induk secara efektif pada awal Perang Dunia II. Akibat perjanjian maritim antara Inggris, Amerika dan Jepang serta Perancis dan Jerman disepakati rasio tonase sebagai 5:5:3:1,5:1,5 untuk USA, Inggris, Jepang, Perancis dan Jerman membuat Jepang mengakalinya dengan membuat kapal induk ukuran sedang tetapi dilengkapi kekuatan udara yang mematikan sekalipun menuai kemarahan dari pihak militernya sendiri. Bukti dari rekayasa Jepang ialah serangan atas Pearl Harbour 9 Desember 1941 yang menyadarkan Barat akan fungsi kapal induk yang dapat melakukan serangan mematikan atas instalasi sasaran lawan. Saat mulainya perang Pasifik, Jepang memiliki 6 kapal induk yaitu Akagi, Kaga, Soryu, Hiryu, Shokaku, Zuikaku dan dua kapal induk ringan yaitu Hosho dan Ryujo. Jepang kehilangan empat kapal induknya pada pertempuran Midway yaitu Akagi, Kaga, Soryu dan Hiryu.

Jenis-jenis Kapal Induk

Berdasarkan propulsi terdapat dua jenis kapal induk yaitu Kapal Induk Nuklir dan Konvensional.

Kapal Induk Nuklir

Kapal induk ini menggunakan mesin bertenaga nuklir yang diperoleh dari reaktor nuklir yang ada di dalam kapal tersebut yang dihubungkan

dengan turbin uap. Tenaga uap yang dihasilkan kapal induk itu dipakaisebagai penggerak kapal, sumber tenaga listrik dan tenaga uapnya dipakai sebagai pengatur tekanan pada catapult kapal induk untuk meluncurkan pesawat. Untuk Armada Kapal Induk Amerika Serikat kapal-kapal ini diberi kode CVN. Amerika Serikat mempunyai 13 buah kapal induk dan 11 buah diantaranya bertenaga nuklir. Armada kapal induk AS bertenaga nuklir itu adalah USS Ronald Reagan, USS Nimitz, USS Dwight D. Eisenhower, USS Carl Vinson, USS Theodore Roosevelt, USS Abraham Lincoln, USS George Washington, USS John C. Stennis, USS Harry S. Truman, USS George HW. Bush dan USS Enterprise. Kapal Induk USS Nimitz merupakan kapal induk terbesar di dunia saat ini meskipun bukanlah kapal induk yang terbaru di jajaran Angkatan Laut AS.

Kapal Induk USS Abraham Lincoln

Spesifikasi Kapal :

Nama Kapal	: USS Abraham Lincoln
Kelas	: Nimitz
Berat	: 95 ton
Panjang	: 333 meter
	: 30 knot (15,4 m/d)
Kecepatan	
Daya angkat	: 90 pesawat terbang, 5000 awak kapal
Penggerak	: 2 reaktor nuklir



Gambar 4. Kapal Induk USS Abraham Lincoln

Kapal Induk (Aircraft Carrier) merupakan salah satu sumber kekuatan suatu negara, tidak hanya di bidang pertahanan saja, di bidang keamanan pun bisa. Tugasnya adalah memindahkan kekuatan udara ke dalam armada angkatan laut sebagai pendukung operasi-operasi angkatan laut. Selain itu juga dapat dipakai sebagai pusat komando operasi dan sebagai kekuatan deterrence atau memberikan efek gentar pada lawan karena kekuatan udara yang dibawanya dalam satu kapal sama dengan jumlah kekuatan armada

angkatan udara kebanyakan negara-negara di dunia. Suatu negara akan berfikir lebih dari tujuh kali apabila ingin menyerang negara lain yang memiliki kapal induk. Hal itu dikarenakan kapal induk mempunyai daya gentar yang sangat besar dengan logika "Dimana ada kapal induk, di sekelilingnya pasti ada kapal lain yang menjaga dan siap menyerang". Kapal induk biasanya digunakan oleh suatu negara yang membutuhkan pertahanan dan keamanan laut yang kuat. Selain itu para Petinggi/Perwira Milier Angkatan Laut

juga bertugas di kapal induk. Hal ini untuk kemudahan pengoperasian/penugasan dalam menyelesaikan misi.

Kapal induk terbagi atas beberapa tingkat. Paling atas yang merupakan bidang datar digunakan sebagai landasan. Dibawahnya hangar atau dek penyimpanan pesawat. Elevator-elevator besar memindahkan pesawat dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Ada ruang bengkel pesawat, kamar-kamar tempat tinggal ruang makan dan rekreasi serta gudang-gudang tempat penyimpanan bom, amunisi dan persediaan makanan untuk beroperasi sampai 90 hari. Kapal Induk kelas Nimitz memiliki jaringan telepon sendiri yang menghubungkan seribu sambungan telepon. Kapal ini juga mempunyai stasiun radio dan televisi sendiri untuk para awak dan awak kapal-kapal pengiringnya dan menerbitkan surat kabar sendiri pula. Kekuatan kapal induk terletak pada pesawat dari berbagai jenis yang telah siap di landasan dan yang disimpan di dalam perutnya. Ada pesawat pengintai, buru sergap, pembom tempur dan helikopter. Kelas Nimitz dilengkapi dengan pesawat tempur jet F-14 Tomcat dan F/A-18 Hornet. Dalam penugasan ke garis depan selain mengandalkan pesawat kapal induk juga dikawal oleh sejumlah kapal perang jenis penjelajah (cruiser), perusak (destroyer), frigat dan kapal selam (submarine). Kapal selam biasanya berlayar di depan mengamati diam-diam perairan sekitar kalau-kalau ada ancaman. Selain itu sebuah pesawat pengintai atau helikopter berpatroli sepanjang waktu di udara. Satuan kapal induk beserta kapal perang pengiringnya ini disebut "carrier battle group" atau "gugus tempur kapal induk". Panjang landasan kapal induk memang sangat terbatas, sebab itu cara tinggal landas dan cara mendarat pesawat di kapal induk tak dapat dilakukan seperti di darat. Untuk tinggal landas, pesawat konvensional dibantu dengan alat pelanting. Kapal induk akan bergerak dengan kecepatan penuh menyongsong angin yang membantu mengangkat pesawat sewaktu tinggal landas. Pada saat pesawat mendarat, kapal juga bergerak cepat menyongsong angin dan pesawat yang hendak menyentuh landasan ditangkap oleh empat kabel baja yang direntangkan untuk menyambar kaitan yang diturunkan dari bagian ekor pesawat sehingga pesawat dapat dihentikan dalam jarak sekitar 90 meter.

Negara lain yang mempunyai kapal induk adalah Rusia. Namun sekarang Rusia hanya mempunyai satu kapal induk saja yang masih beroperasi yaitu Admiral Kuznetsov tetapi berencana hendak membangun dua supercarrier dengan desain yang mutakhir. Inggris memiliki tiga kapal induk konvensional. Perancis mempunyai sebuah kapal selam nuklir Charles de Gaulle, Italia mempunyai dua kapal induk helikopter dan sedang membangun sebuah kapal induk lagi untuk menggantikan salah satunya yang sudah tua, Spanyol mempunyai sebuah kapal induk helikopter dan sedang membangun sebuah kapal lagi, India sedang membangun sebuah kapal induk dan membeli kapal induk Rusia Admiral Gorskov yang sudah dinon-aktifkan seharga 1,5 milyar dolar AS dan Thailand juga mempunyai sebuah kapal induk kecil bernama Chakri Narebet sejak tahun 1997 untuk mengamankan armada kapal-kapal penangkap ikannya.

Kapal Perang John C. Stennis (CVN-74)

Kapal Perang John C. Stennis (CVN-74) merupakan salah satu kapal perang terbesar di dunia buatan Amerika Serikat. Kapal ini dibangun di Newport News, Virginia. Diresmikan pada 11 Nopember 1993. John C. Stennis memiliki dua reaktor nuklir sebagai sumber listrik untuk mengoperasikan kapal seluas dua hektar. Pada tanggal 9 Desember 1995, kapal induk yang dibangun dengan biaya 3,5 juta dolar AS itu mulai dioperasikan. Bobot kapal ini mencapai 97.000 ton dengan panjang 330 meter. Pada tanggal 18 Januari 1997 untuk pertama kalinya dalam sejarah Angkatan Laut AS, sebuah pesawat F/A-18 E/F melakukan pendaratan di kapal induk John C. Stennis ini. Sebagai kapal perang John C. Stennis memiliki peralatan pertahanan yang meliputi missil Sea Sparrow jarak pendek darat-ke-udara, Phalanx Close-in-Weapons (sebuah senapan 20 mm enam barel dengan kemampuan menembak sangat cepat) dan umpan elektronik untuk menghadapi misil serta torpedo. Kecepatan maksimum kapal ini dapat mencapai lebih dari 30 knot. Kapal Induk John C. Stennis juga dimanfaatkan sebagai landas pacu yang mampu menampung 80 pesawat udara seperti F/A-18 Hornet, F 14 Tomcat dan lain-lain. Pesawat-pesawat tempur yang terdapat pada Kapal Induk John C. Stennis digunakan untuk melakukan blokade laut atau

udara, melindungi dalam peperangan kelompok dan membantu pertempuran darat.

Untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pesawat dan kapal pendamping, Kapal Perang John C. Stennis mengangkut kerang lebih 3 juta galon bahan bakar. Selain itu kapal tersebut juga memiliki berbagai fasilitas pendukung reparasi, bagian perawatan pesawat dan toko perbaikan barang elektronik. Jumlah awak kapal dan landas pacu Kapal John C. Stennis sebanyak 6.200 orang



Gambar 5. Kapal Perang John C. Stennis, AS

di gurun pasir Iran. Selain itu kapal induk ini juga mempunyai segudang pengalaman lain seperti pada tanggal 19 Agustus 1981, kapal ini melakukan konfrontasi ringan dengan Libya dimana pesawat tempur AS menembak jatuh dua pesawat MIG Libya. Misi terbesarnya tentu saja pada waktu perang teluk dimana kapal induk ini terlibat dalam perang teluk pertama yang disebut "Desert Storm" yaitu operasi yang membebaskan Kuwait dari cengkeraman Irak pada tahun 1991. Pada waktu perang teluk ke dua yang disebut dengan operasi "Iraqi Freedom" yang bertujuan menggulingkan rezim Saddam Hussein. Namun beberapa kali kapal induk ini juga melakukan misi damai non-militer seperti ikut dalam memeriahkan Olimpiade Seoul di Korea Selatan (1988) yang tentu juga bisa berfungsi sebagai bagian dari pengamanan acara tersebut.



Gambar 6. Kapal Induk USS Nimitz

Kapal Induk USS Nimitz

Spesifikasi :

Tipe	Kapal Induk Multi peran
Bobot	97.000 ton Inggris (98.600 ton metrik)
Dimensi	P (333 m) Beam ⁽¹⁾ (41 m) Draft ⁽¹⁾ (11 m)
Sumber Tenaga	Dua buah Reaktor Nuklir
Jumlah Awak	5621 orang

Kapal Induk USS Nimitz merupakan kapal induk yang paling besar di dunia saat ini meskipun bukanlah kapal induk yang terbaru di jajaran Angkatan Laut Amerika Serikat. Usianya sudah mencapai 38 tahun (diresmikan tahun 1975). Operasi pertama yang dilakukan oleh kapal induk ini adalah ke Iran.

Sewaktu Shah Iran yang sekutu dekat AS digulingkan dan merupakan awal masa Republik Islam Iran pimpinan Ayatullah Khomeini. Saat itu masih ada adidaya lain yaitu Uni Soviet sehingga USS Nimitz tentu saja tidak diperintahkan untuk menyerang Iran secara frontal tetapi untuk melancarkan operasi pembebasan 52 orang Amerika yang disandera di Kedutaan Besar AS di Teheran dengan kode operasi "Evening Light". Operasi tersebut berakhir dengan kegagalan karena pesawat helikopter yang dipakai untuk membebaskan para sandera mengalami kecelakaan dan jatuh

Kapal Induk Charles de Gaulle (Perancis)

Spesifikasi :

Tipe	Kapal Induk Khusus kelas menengah
Bobot	40.600 ton Inggris (41.250 ton metrik)
Dimensi	P (261,5 m) Beam ⁽¹⁾ (64 m) Draft ⁽¹⁾ (9,54 m)
Sumber Tenaga	2 reaktor nuklir plus cadangan 4 mesin diesel listrik
Jumlah awak	1600 orang



Gambar 7. Charles de Gaulle

Angkatan Laut Perancis saat ini hanya mempunyai dua kapal induk saja yaitu Charles de Gaulle dan Jeanne d'Arc. Kapal Induk Jeanne d'Arc adalah kapal induk untuk helikopter (*helicopter carrier*) sehingga

sebenarnya Perancis hanya mempunyai satu kapal induk saja. Namun kapal induk *Charles de Gaulle* ini termasuk kapal induk paling baru yang diresmikan pada tahun 2001 dan merupakan kapal induk nuklir satu-satunya yang dibuat di luar Amerika Serikat. Sebelumnya Perancis mempunyai dua buah kapal induk yaitu *Clemenceau* dan *Foch* masing-masing dibuat pada tahun 1961 dan 1963, tetapi kini keduanya telah pensiun dari armada Angkatan Laut Perancis. Kapal Induk *Foch* telah dibeli oleh Angkatan Laut Brazil dan diberi nama *Sao Paulo*. Kini Perancis sedang membangun lagi satu kapal induk yang sekelas dengan *Charles de Gaulle* dengan nama proyek *Porte-Avions 2* dan diperkirakan selesai pada tahun 2014 mendatang dengan menggunakan tenaga konvensional (non-nuklir).

Charles de Gaulle sendiri pada saat pengembangannya mengalami beberapa kendala. Pada tahun 2000, sebelum diresmikan diketahui bahwa tingkat radiasi di permukaan kapal sedikit di atas ambang batas keamanan akibat sistem isolasi radiasi dari tenaga nuklirnya kurang baik walaupun bisa segera diatasi. Baling-baling (propeller)nya pernah mengalami kerusakan sebelum diresmikan sehingga harus diganti.

Pada tahun 2001, setelah diresmikan sempat terjadi kebocoran kecil gas beracun yang menyebabkan seorang awak kapalnya pingsan. Namun setelah kejadian-kejadian tersebut *Charles de Gaulle* hampir dikatakan tak pernah lagi mengalami gangguan dan siap mengabdikan untuk Angkatan Laut Perancis. Satu satunya misi militer yang pernah diikutinya adalah ke lautan Hindia pada saat pasukan koalisi yang dipimpin Amerika Serikat menggulingkan pemerintahan Taliban di Afghanistan. Jadi kapal induk ini masih miskin pengalaman tempurnya.

Kapal Induk Konvensional

Kapal induk ini memakai mesin bertenaga diesel contohnya 25 de Mayo (Argentina), Giuseppe Garibaldi (Italia), RTN Chakkri Naruebet ((Thailand). Untuk Armada Kapal Induk Konvensional Amerika Serikat diberi kode CV yang pada saat ini jarang digunakan lagi. Kapal induk yang bertenaga konvensional (diesel) itu adalah USS John F. Kennedy dan USS Kitty Hawk. Berdasarkan pada Teknis Peluncuran Pesawat ada dua jenis yaitu Konvensional dan STOVL

Kapal Induk Konvensional (CTOL/ Conventional Take off Landing)

Kapal induk jenis ini biasanya berukuran besar karena geladaknya digunakan sebagai tempat pendaratan dan peluncuran pesawat secara biasa. Dilengkapi dengan catapult untuk meluncurkan pesawat dan kabel penahan (arrestor) untuk membantu pendaratan pesawat, karena panjang geladak kapal induk lebih pendek dari pada panjang landasan di pangkalan. Selain itu geladak juga digunakan sebagai tempat parkir pesawat disamping ruang pada lambung kapal. Kapal-kapal Induk US Navy rata-rata adalah kapal induk jenis ini. Contoh USS Ronald Reagan, USS John F Kennedy, Kiev (Rusia), 25 de Mayo (Argentina) Foch dan Charles de Galulle (Perancis)

Kapal Induk STOVL (Short Take off Vertikal Landing)

Kapal induk ini berukuran sedang/ringan, memiliki Sky Jump yang digunakan untuk meluncurkan pesawat dan pendaratan pesawat secara vertikal. Oleh karena itu pesawat-pesawat yang dipakai adalah pesawat-pesawat tempur jenis khusus semacam AV-8 Harrier (USA), Harrier II Plus (Inggris), Yak 38 Forger dan Yak 141 Freehand (Rusia) ataupun helikopter. Pesawat tempur Rusia biasanya dilengkapi dengan laser untuk memudahkan pendaratan. Hampir kebanyakan negara menggunakan kapal induk jenis ini karena biaya operasional dan perawatannya lebih rendah dari pada kapal induk jenis CTOL. Contoh kapal induk jenis ini adalah HMS Invisible, HMS Ark Royal (Inggris), Giuseppe Garibaldi (Italia), Prince de Asturias (Spanyol), Viraat, Vikrant (India), Novorossysk (Rusia), Chakri Naruebet (Thailand), USS Tarawa (USMC)

Kapal Selam.

Kapal selam adalah kapal yang bergerak di bawah permukaan air dan umumnya digunakan untuk tujuan dan kepentingan militer. Sebagian besar Angkatan Laut mempunyai dan mengoperasikan kapal selam sekalipun jumlah dan populasinya dari masing-masing negara berbeda. Selain digunakan untuk kepentingan militer kapal selam juga digunakan untuk ilmu pengetahuan laut dan air tawar dan untuk bertugas di kedalaman yang tidak sesuai untuk penyelam manusia. Jerman memiliki kapal selam yang populer dengan sebutan U-Boat

yang merupakan ringkasan dari Unterseeboot. Mulai ditugaskan dalam Perang Dunia I sebagai system senjata yang mematikan bagi angkatan laut musuh terlebih-lebih pada Perang Dunia II sehingga terkenal dengan sebutan **U-Class**. Negara yang populer menggunakan kapal selam sebagai kekuatan utama Angkatan Laut adalah Uni Soviet/Rusia

Kapal Selam Militer

Kapal selam militer dipakai untuk kepentingan perang atau patroli laut suatu negara. Berdasarkan jenisnya setiap kapal selam militer selalu dilengkapi dengan senjata seperti meriam kanon, torpedo, rudal penjelajah/anti pesawat dan anti kapal permukaan serta rudal balistik antar benua.

Jenis-jenis kapal selam

Berdasarkan pada tenaga penggerak/propulsinya, ada tiga yaitu kapal nuklir, diesel dan tanpa mesin. Kapal selam nuklir pertama kali muncul sekitar enam bulan sebelum Perang Dunia II (Maret 1939). Dr. George Pegram dari Columbia University, New York mengusulkan kepada Angkatan Laut AS agar mengembangkan pemakaian uranium sebagai sumber daya termasuk untuk menggerakkan turbin kapal selam. Angkatan Laut tertarik dan memulai riset, tetapi setelah pemboman Pearl Harbour dan Amerika Serikat terlibat dalam perang maka semua material yang berkaitan dengan

tenaga atom ditarik dan dipusatkan untuk "**Proyek Manhattan**", pembuatan bom atom pertama (Little boy & The fat man). Kapal selam bertenaga nuklir adalah kapal selam yang menggunakan reaktor air bertekanan atau **PWR (Pressurized Water Reactor)** sebagai sumber tenaga untuk memutar turbin utama yang menggerakkan baling baling serta motor elektrik pengisi baterai yang menghasilkan listrik untuk berbagai keperluan.

Keunggulan kapal selam nuklir adalah masa operasinya yang lebih lama dan lebih bertenaga meskipun mempunyai ukuran yang besar dan harus dalam kondisi menyelam, uranium sebagai bahan bakar dari reaktor dapat diganti setelah 3 tahun pemakaian. Tidak seperti kapal selam diesel yang harus muncul ke permukaan untuk menghisap udara yang dibutuhkan oleh mesin diesel. Faktor penghambat masa operasinya hanya satu yaitu kebutuhan suplai awak kapal. Kapal selam diesel elektrik adalah kapal selam dengan sistem penggerak kapal selam tertua yang masih digunakan sampai pada saat ini. Sistem propulsi diesel elektrik begitu handal sehingga negara pemilik kapal selam nuklir pun masih merasa perlu memiliki kapal selam jenis ini. Dari lima negara pemilik kapal selam nuklir hanya Amerika Serikat yang tidak memakai kapal selam diesel elektrik ini. Dalam keadaan tertentu kapal selam jenis ini lebih mematikan dari pada kapal selam nuklir.



Gambar 6. Kapal Selam Nuklir AL-AS



Gambar 7. Kapal Selam Nuklir Perancis

PENUTUP

Kapal induk selain merupakan kapal terbesar yang berada di dalam jajaran angkatan laut, kapal ini juga memainkan peran yang sangat besar dalam perang modern saat ini dimana pengangkutan pesawat tempur ke tempat-tempat yang jauh di belahan bumi lain baik untuk menyerang suatu negara atau untuk mempertahankan suatu koloni yang jauh, sangat diperlukan dan tidak dapat dihindarkan.

Pembuatan kapal induk selain membutuhkan biaya yang sangat besar tentu juga memerlukan

teknologi yang sangat canggih terutama untuk kapal induk bertenaga nuklir. Tidaklah heran jika sampai saat ini hanya empat negara saja yang memproduksi kapal induknya sendiri yaitu Amerika Serikat, Perancis, Inggris dan Rusia. Inggris dan Perancis memang membutuhkan kapal induk karena mereka mempunyai koloni-koloni yang tersebar di

berbagai belahan bumi dan untuk mempertahankan koloni-koloninya jikalau sewaktu-waktu diserang. Sementara Amerika Serikat juga mempunyai koloni di lautan

Wikipedia Bahasa Indonesia
:"<http://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Katagori:Nuklir&oldid=235221>", 8 Mei 2006

Pasifik, mungkin juga digunakan untuk menggulingkan rezim di negara-negara lain seperti Irak, Afghanistan.

Kiranya Angkatan Laut Indonesia belum saatnya memiliki kapal induk apalagi yang bertenaga nuklir mengingat bahwa negara Republik Indonesia adalah negara kepulauan sehingga pangkalan pesawat tempur dapat dibuat dimana-mana karena pulau-pulau yang ada sudah merupakan kapal induk yang diam/statis, selain itu negara kita tidak mempunyai koloni yang harus dipertahankan.

Beberapa keuntungan mempunyai kapal-kapal bertenaga nuklir antara lain daya angkut yang besar dan daya jelajah yang jauh dibandingkan yang konvensional, ramah lingkungan/tidak menghasilkan Gas Rumah Kaca, biaya bahan bakar murah dan tersedia melimpah, limbahnya sedikit dan perawatannya mudah. Namun demikian ada pula kerugiannya antara lain resiko kecelakaan nuklir yang sangat besar, limbah nuklir yang tidak hilang hingga ribuan tahun

Keterangan :

Beam^{*)} : lebar kapal terpanjang

Draft^{**)} : Kedalaman air minimum yang diperlukan agar kapal dapat mengapung/tak menyentuh dasar

DAFTAR PUSTAKA

Abintoro: <http://SpektrumPemikiranku>
: *Amerika Serikat Raja Kapal Induk Dunia* , 24 Desember 2007

Kadek Fendy Sutrisna
: <http://Indonesia>, "*Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga nuklir*", 17 Pebruari 2012

Miftahussholeh : <http://blog.uin-malang.ac.id/sholehchemistry/>, "*Bahan Pembuatan Nuklir*", 20 Maret 2011

Robin Rockers : "*Kapal selam terancangih*", 1 Pebruari 2011

Winarja D. : <http://Belajar.ngeblog>, "*Kimia Nuklir atau Kimia Inti*", 23 April 2011