

INEO

INDONESIA NUCLEAR ENERGY OUTLOOK

2016



**Produksi Limbah PLTN
dan Pengelolaannya**

INDONESIA NUCLEAR ENERGY OUTLOOK 2016

**Produksi Limbah PLTN dan
Pengelolaannya**

*This publication is available on the web at:
www.batan.go.id/pksen*

**PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**

This report was prepared by Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional.

INDONESIA NUCLEAR ENERGY OUTLOOK 2016

Produksi Limbah PLTN dan Pengelolaannya

ISBN 978-602-71166-1-0

Diterbitkan oleh / *Published by*
Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)
Center for Nuclear Energy System
Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
National Nuclear Energy Agency
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp : (021) 520 4243
Fax : (021) 520 4243
[email : pkсен@batan.go.id](mailto:pkсен@batan.go.id)

SAMBUTAN



Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang didukung oleh berbagai instansi dan organisasi yang kompeten dapat menerbitkan buku Outlook Energi Nuklir Indonesia (*Indonesian Nuclear Energy Outlook*, INEO) 2016. Buku INEO 2016 ini fokus pada pengelolaan limbah radioaktif atau limbah nuklir, khususnya yang dihasilkan dari PLTN. Selama ini permasalahan limbah radioaktif menjadi alasan penolakan masyarakat terhadap PLTN, karena kekhawatiran terhadap permasalahan limbah nuklir yang dianggap tidak atau belum bisa ditangani secara benar. Limbah radioaktif tidak boleh dibuang sembarangan dan jangan sampai mencemari lingkungan. Untuk itu sesuai dengan amanat UU No 10/2007 Tentang Ketenaganukliran dan PP No 61/2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif disebutkan bahwa, BATAN merupakan satu-satunya lembaga yang punya kewajiban pengelolaan sampai penyimpanan limbah radioaktif. Kita punya fasilitas pengelolaan limbah di BATAN yang relatif lengkap dibanding negara-negara lain di Asia Tenggara. Limbah nuklir setelah melalui proses pengolahan akan disimpan dan usia limbah yang sudah tersimpan bisa mencapai puluhan hingga ratusan tahun untuk mencapai kondisi yang tidak berbahaya. Limbah nuklir akan dikelola BATAN sampai masa dimana sudah tidak lagi memberikan paparan radiasi yang signifikan.

Buku INEO ini menampilkan proyeksi jumlah limbah nuklir yang akan dihasilkan selaras dengan proyeksi PLTN yang akan dibangun. Dengan demikian kita dapat mengantisipasi masalah limbah nuklir ini dengan menyediakan fasilitas pengelolaan dan penyimpanan. Disampaikan juga disini status fasilitas pengelolaan limbah nuklir dunia dan fasilitas pengelolaan limbah yang dimiliki BATAN. Beberapa penelitian dan pengembangan juga terus dilaksanakan untuk menjadikan kita semakin unggul dalam pengelolaan limbah nuklir.

Buku ini diharapkan dapat menjawab kekhawatiran berbagai pihak terhadap kemampuan dalam pengelolaan limbah nuklir PLTN Indonesia. Kami berharap juga para pengambil keputusan dapat mempertimbangkan potensi dan kemampuan Indonesia dalam teknologi nuklir sehingga kebijakan pemanfaatan energi nuklir dapat segera diwujudkan dalam kebijakan pemanfaatan energi nuklir.

Kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada tim penyusun serta semua pihak yang telah memberi masukan, dukungan dan bantuan sehingga buku ini bisa diterbitkan.

Jakarta, Nopember 2016

Kepala BATAN,

A handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Djarot', written over the printed name of the Chairman of BATAN.

Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto

FOREWORDS



By delivering praise to Allah SWT, National Nuclear Energy Agency (BATAN) supported by various competent institutions and organizations can publish this book, Indonesia Nuclear Energy Outlook 2016. INEO 2016 focuses on the management of radioactive or nuclear waste, in particular resulted from nuclear power plants. So far radioactive waste issues become the main reason for the public to refuse NPP, because of concerns on nuclear waste that is perceived not handled or addressed properly. Radioactive waste should not be disposed carelessly and not pollute the environment. For this reason, pursuant to Act No. 10/2007 on Nuclear Energy and the Government Regulation No. 61/2013 on Radioactive Waste Management, it is stated that BATAN is the sole institution that has obligation to manage and store radioactive waste. We have a waste management facility in BATAN, which is relatively complete compared to other Southeast Asian countries. After being reprocessed, nuclear waste will be disposed for tens to hundreds of years to reach its harmless state. BATAN will perform management of nuclear waste until it is no longer radiation exposure.

INEO 2016 outlines the projected nuclear waste generation in line with the projected nuclear power plants that will be built. Therefore, we can anticipate the nuclear waste issues by providing its management and storage facilities. This book also presents the status of the nuclear waste management facilities in the world as well as in BATAN. Some research and development continues to be carried out to make us much better in nuclear waste management.

It is expected that this book can respond to many parties' concerns on our ability in managing nuclear waste generated by nuclear power plants in Indonesia. We also hope that the decision makers can consider the potential and ability of Indonesia in nuclear technology so that nuclear energy utilization policy can be materialized.

We express our thanks and appreciation to the drafting team and those who have provided support and assistance so that this book could be published.

Jakarta, November 2016

Head of BATAN,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Djarot', written in a cursive style.

Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto

RINGKASAN EKSEKUTIF

Limbah radioaktif adalah limbah yang mengandung bahan radioaktif. Limbah radioaktif pada umumnya berupa produk dari PLTN atau aplikasi nuklir lainnya seperti fasilitas penelitian maupun produksi obat-obatan. Limbah radioaktif berbahaya untuk makhluk hidup dan lingkungan, sehingga harus diatur dan diawasi oleh lembaga pemerintah. Proses pengelolaan limbah nuklir adalah proses penanganan limbah nuklir sejak dikeluarkan dari reaktor nuklir atau fasilitas nuklir lainnya hingga proses penyimpanan secara permanen. Setiap tahap dalam proses ini membutuhkan fasilitas. Fasilitas pengelolaan limbah nuklir adalah fasilitas untuk mengumpulkan, memproses dan menyimpan limbah radioaktif sehingga pelepasan bahan radioaktif ke lingkungan dapat diminimalkan. Fasilitas pengelolaan limbah nuklir terdiri dari: Fasilitas penyimpanan sementara BBN bekas, fasilitas pengolahan dan daur ulang BBN bekas, fasilitas pengkondisian BBN bekas dan limbah lainnya, serta fasilitas penyimpanan permanen BBN bekas. Semua fasilitas tersebut harus resmi terdaftar pada IAEA dan sepenuhnya dalam pengawasan IAEA.

Jumlah PLTN di dunia berdasarkan laporan resmi IAEA tahun 2015 sebanyak 438 unit dalam kondisi beroperasi dan 70 unit dalam masa konstruksi. PLTN yang beroperasi terdiri dari 277 unit PWR, 80 unit BWR, 15 unit GCR, 49 unit PHWR, 15 unit LWGR, dan 2 unit FBR. PLTN yang berada dalam masa konstruksi terdiri dari 59 unit PWR, 4 unit BWR, 4 unit PHWR, 2 unit FBR, dan 1 unit HTGR. Tahun 2050 diproyeksikan total kapasitas PLTN sebesar 371 GWe untuk skenario rendah dengan pangsa sebesar 1,8% dari keseluruhan kapasitas pembangkit listrik. Adapun untuk skenario tinggi IAEA memproyeksikan total kapasitas PLTN sebesar 964 GWe dengan pangsa sebesar 4,8% dari keseluruhan kapasitas pembangkit listrik.

Pembangunan PLTN memiliki karakter khusus yaitu biaya modal yang sangat besar. Hal ini dikarenakan biaya modal khususnya manufaktur dan konstruksi dituntut untuk memiliki kualitas khusus nuklir yang terkait dengan isu keselamatan. Hal lain yang mempengaruhi biaya pembangkitan listrik dari PLTN selain biaya modal yang tinggi adalah adanya komponen biaya back-end yang meliputi biaya penyimpanan sementara, biaya penyimpanan permanen dan biaya dekomisioning. Biaya back-end yang sudah masuk dalam biaya pembangkitan listrik akan digunakan untuk proses back-end dari limbah baik

tingkat rendah dan menengah maupun limbah berupa BBN bekas. Biaya back-end inilah yang berpotensi menjadi tanggungan lembaga yang berwenang untuk mengelola limbah dalam hal ini adalah BATAN.

Pada awalnya PLTN di Indonesia diproyeksikan beroperasi dengan kapasitas 2x1000 MWe pada tahun menjelang 2030. Kapasitas PLTN diperkirakan akan mencapai 4,1 GWe pada tahun 2035 dan mencapai sekitar 21 GWe pada tahun 2050. Jumlah unit PLTN pada tahun 2050 diperkirakan berjumlah 28 unit dengan komposisi 20 unit berkapasitas 1000 MWe, 5 unit berkapasitas 100 MWe dan 200 MWe, serta 3 unit dengan kapasitas 35 MWe dan 75 MWe. Total akumulasi limbah LILW (*Low and Intermediate Level Waste*) hingga tahun 2050 diproyeksikan mencapai 24.750 m³ untuk skenario rendah, 52.885 m³ untuk skenario rerata dan 71.500 m³ untuk skenario tinggi. Proyeksi nilai ini dapat digunakan sebagai acuan penyediaan fasilitas penyimpanan limbah LILW (*Low and Intermediate Level Waste*). Akumulasi produksi BBN bekas diproyeksikan mulai tahun 2029 sebesar 60 ton HM (*Heavy Metal*) untuk skenario rendah, dan sebesar 100 ton HM (*Heavy Metal*) untuk skenario tinggi. Akumulasi untuk tahun 2050 diproyeksikan akan mencapai 5096 ton HM untuk skenario rendah, dan mencapai 8493 ton HM (*Heavy Metal*) untuk skenario tinggi.

BATAN memiliki Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dan fasilitas pendukung lainnya yang berfungsi sebagai sarana dan prasarana untuk layanan pengelolaan limbah radioaktif jenis padat dan cair yang berasal dari internal BATAN maupun dari luar BATAN. Limbah dari luar batan berasal dari industri, rumah sakit, lembaga penelitian, dan lain-lain. Instalasi tersebut antara lain evaporator, kompaktor, chemical treatment, insenerator, pengkondisi limbah, sementasi dan penyimpanan. Batan juga memiliki fasilitas dekontaminasi yang memberikan layanan dekontaminasi pakaian kerja, *shoes cover*, peralatan-peralatan keselamatan kerja kecil maupun peralatan-peralatan di instalasi nuklir yang relatif besar, misalnya pompa, katup, motor, rumah filter, ducting, blower, dan lain-lain. Adapun litbang BATAN terkait dengan limbah nuklir antara lain litbang teknologi pengolahan limbah, litbang dekontaminasi dan dekomisioning, serta litbang pemilihan lokasi disposal untuk limbah nuklir.

EXECUTIVE SUMMARY

Radioactive waste is radioactive material contained waste. Radioactive waste is generally a product of nuclear power plants or other nuclear facilities such as research facilities and the production of medicine. Radioactive waste is dangerous to living beings and the environment, so it must be regulated and supervised by government agencies. The process of nuclear waste management is the process of handling nuclear waste since released from nuclear reactors or other nuclear facilities until the permanent disposal. Each step in this process requires facilities. Nuclear waste management facility is a facility to collect, process and store radioactive nuclear waste so that the release of radioactive materials into the environment can be minimized. Nuclear waste management facility consists of: former BBN temporary storage facilities, processing facilities and recycling of used BBN, spent fuel and other waste conditioning facilities, also permanent disposal facility. All these facilities must be officially registered with the IAEA and fully under IAEA supervision.

The number of nuclear power plants in the world based on the official reports of the IAEA in 2015 as many as 438 units in operating conditions and 70 units in the construction period. Nuclear power plants operating consists of 277 units of PWR, 80 units of BWR, 15 units of GCR, 49 unit of PHWR units, 15 units of LWGR, and 2 units of FBR. Nuclear power plants that in the construction phase consists of 59 units of PWR, 4 units of BWR, 4 units of PHWR, 2 units of FBR, and 1 unit of HTGR. Projected total capacity of nuclear power plants in 2050 about 371 GWe for the low scenario with a share of 1.8% of the total electricity generation capacity. As for the high scenario IAEA set a total capacity of 964 GWe of nuclear power plants with a share of 4.8% of the total electricity generation capacity.

Nuclear power plant has a special character that have expensive capital costs. This is because of the capital costs especially manufacturing and construction hat are required to have special qualities associated with the nuclear safety issues. Another thing that affects the cost of electricity generation from nuclear power plants in addition to the high capital cost is the cost of back-end component that covers the cost of temporary storage, permanent storage costs and decommissioning costs. Back-end costs that are already included in the cost of power generation will be used for back-end processes of waste both

low and intermediate level waste or spent fuel. The cost of back-end has economic potential for the institution, which is authorized by law to manage the waste, in this case owned by BATAN.

At first nuclear power plant in Indonesia is projected to operate with a capacity of 2x1000 MWe in the year ahead of 2030. The capacity of nuclear power is expected to reach 4.1 GWe by 2035 and reach about 21 GWe in 2050. The number of units of nuclear power plants by 2050 is estimated to amount to 28 units with a composition 20 units with a capacity of 1000 MWe, 5 units with a capacity of 100 MWe and 200 MWe, and 3 units with a capacity of 35 MWe and 75 MWe. Total accumulation of LILW waste by 2050 is projected to reach 24,750 m³ for the low scenario, 52 885 m³ for the average scenario and 71,500 m³ for the high scenario. The projection of these values can be used as a reference for the provision of waste storage facilities LILW Diman BATAN as an institution with authority. Accumulated production of biofuels to the former is projected to start in 2029 amounted to 60 tonnes of HM (Heavy Metal) for the low scenario, and around 100 tons HM (Heavy Metal) for the high scenario. Accumulated for the year 2050 is projected to reach 5096 tonnes of HM for the low scenario, and reached 8493 tonnes of HM (Heavy Metal) for the high scenario.

Batan has Radioactive Waste Management installations and other supporting facilities that serves as infrastructure for radioactive waste management services types of solid and liquid that coming from the internal BATAN or from outside BATAN. Waste from outside BATAN just like from industry, hospitals, research institutions, and others. These installations include evaporators, compactor, chemical treatment, incinerator, waste conditioning, cementation and storage. Batan also has a decontamination facilities that provide services decontamination work for clothes, shoes cover, equipment safety both small or relatively large equipment in nuclear plants such as pumps, valves, motors, home filters, ducting, blowers, etc. As for related to nuclear waste, Batan has several R&D just like decontamination and decommissioning, also R&D on site selection for nuclear waste disposal.

**TIM PENYUSUN
AUTHORS**

PENGARAH / STEERING COMMITTEE

Kepala BATAN / *Chairman of BATAN*
Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto
Deputi Bidang Teknologi Energi Nuklir /
Deputy for Nuclear Energy Technology

PENANGGUNG JAWAB / PERSON IN CHARGE

Kepala Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir /
Head of Center for Nuclear Energy System
Ir. Yarianto Sugeng Budi Susilo, M.Si.

KOORDINATOR / COORDINATOR

Kepala Bidang Kajian Infrastruktur Sistem Energi Nuklir /
Head of Nuclear Energy System Infrastructure Assessment Division
Dr. Suparman

TIM PENYUSUN / AUTHORS

Wiku Lulus Widodo, M. Eng.
Mochamad Nasrullah, S.E., M. Si.
Ir. Moch. Djoko Birmano, M. Sc.
Nuryanti, M.T.
Elok Satiti Amitayani, M.T.
Citra Candranurani, M.T.
Arief Tris Yuliyanto, M.T.
Dra. Dharu Dewi, M. Si.
Nurlaila, S.T., M. Si.
Rr. Arum Puni Rijanti S., S.T., M.T.
Ir. Edwaren Liun
Imam Bastori, S.T.
Drs. Sahala Maruli Lumbanraja
Sufiana Solihat, S.T.
Ewitha Nurulhuda, A. Md.
Dr. Muhammad Subekti
Ir. Sriyono, M.Si.
Adi Gunawan Muhammad, M.T.
Prof. Ir. Zainus Salimin, M.Si.
Dr. Budi Setiawan, M.Eng.
Arief Sugiyanto
Suroso Isnandar
Dr. Deen Darlianto
Dr. Joko Hari Nugroho

**DESAIN & TATA LETAK /
DESIGN & LAYOUT**

Sufiana Solihat, S.T.

**DESAIN SAMPUL MUKA /
COVER DESIGN**

Ewitha Nurulhuda, A. Md.



DAFTAR ISI/ TABLE OF CONTENTS

Sambutan Foreword	iii
Tim Penyusun Authors	ix
BAB 1 / Chapter 1 Pendahuluan Introduction	1
BAB 3 / Chapter 3 Pemilihan Teknologi PLTN untuk Indonesia NPP Technology Selection for Indonesia	29
BAB 5 / Chapter 5 Proyeksi Produksi Limbah PLTN Indonesia Projection on Indonesia NPP Waste Production	75
Definisi Definition	108



v	Ringkasan Eksekutif <i>Executive Summary</i>
x	Daftar Isi <i>Table of Contents</i>
xii	Daftar Singkatan <i>Table of Acronym</i>
7	BAB 2 / Chapter 2 Fasilitas Pengolahan Limbah PLTN <i>Nuclear Waste Processing Facilities</i>
53	BAB 4 / Chapter 4 Aspek Biaya Limbah PLTN <i>The Economic of NPP Waste</i>
97	BAB 6 / Chapter 6 Fasilitas dan Litbang Limbah di BATAN <i>BATAN Waste Facilities and R&D</i>
111	Daftar Pustaka <i>References</i>



DAFTAR SINGKATAN/ TABLE OF ACRONYM

A

- AGR : Advanced Gas-cooled Reactor (Reaktor Pendingin Gas Maju)
AHWR : Advanced Heavy-Water Reactor (Reaktor Air Tekan Maju)
APR : Advanced Power Raector

B

- BAPETEN : Badan Pengawas Tenaga Nuklir
BARC : Bhabha Atomic Research
BATAN : Badan Tenaga Nuklir Nasional
BBN : Bahan Bakar Nuklir
BBN MOX : Bahan Bakar Nuklir Mixed Oxide
BWR : Boiled Water Reactor (Reaktor Air Didih)

C

- CAREM : Central Argentina de Elementos Modulares
CEAs : Control Element Assemblies
CNEA : Argentine Atomic Energy Commission
CNNC : China National Nuclear Corporation

D

- DCNS : Direction des Constructions Navales Services

E

- ERDO : Europe Repository Development Organisation (Organisasi Pengembangan Repository Eropa)

F

- FBR : Fast Breeder Reactor (Reaktor Pembiak Cepat)

G

- GCR : Gas Cooled Reactor (Reaktor Grafit Berpendingin Gas)
GDWP : Gravity Driven Water Pool
GEH : GE Hitachi Nuclear Energy

H

- HEU : High Enriched Uranium
HLW : High Level Waste
HSD : High Speed Diesel
HTGR : High Temperature Gas-Cooled Reactor (Reaktor Suhu Tinggi Berpendingin Gas)
HTMR : High Temperature Modular Reactor
HTR-PM : High Temperature gas-cooled Reactor Pebble-bed Module

I

- IAEA : International Atomic Energy Agency
IEA : International Energy Agency
IRIS : Integrated Review of Infrastructure for Safety

K

- KHNP : Korea Hydro & Nuclear Power

L

- LEU : Low Enriched Uranium
LILW : Low and Intermediate Level Waste
LLW : Low Level Waste: limbah aktivitas rendah (LAR)
LWR : Light Water Reactor (Reaktor Air Ringan)
LWGR : Light Water Graphite Reactor (Reaktor Air Ringan Berpendingin Grafit)

M

- MTHM : Metric Tons of Heavy Metal (metrik ton logam berat)

N

- NEA : Nuclear Energy Agency
NPP : Nuclear Power Plant
NPT : Non-Proliferationsi Treaty

O

- OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development

P

- PLTN : Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
PWR : Pressurized Water Reactor (Reaktor Air Tekan)
PHWR : Pressurized Heavy Water Reactor (Reaktor Air Berat Bertekanan)

R

- RMBK : Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalniy

S

- SMR : Small and Medium Sized Reactors
SNERDI : Shanghai Nuclear Engineering Research & Design Institute
SNPTC : State Nuclear Power Technology Corporation
S-PRISM : Super- Power Reactor Innovative Small Module
SVBR : Svintsovo-Vismutovyi Bystryi Reaktor - lead-bismuth fast reactor

U

- UF₆ : Uranium Hexafluoride
UO₂ : Uranium Dioksida
USA : United States of America (Amerika Serikat)
USD : United State Dollar

W

- WWER : Water-Water Energetic Reactor



batan

The background of the slide features several yellow metal barrels stacked together. Each barrel is prominently marked with a black radiation warning symbol, consisting of three curved blades radiating from a central circle. The barrels are arranged in a way that creates a sense of depth and repetition. A light green rounded rectangular box is centered in the lower half of the image, containing the chapter title. Two dark, tapered shapes resembling pencil tips point towards the corners of the green box.

BAB 1 / *Chapter 1*

**Pendahuluan/
*Introduction***

Pro dan kontra rencana PLTN tidak lepas dari limbah radioaktif yang dihasilkan. Selalu timbul pertanyaan bagaimana mengelola dan menyimpannya. Limbah dari penggunaan zat radioaktif harus diolah dengan prosedur yang tepat dan tidak boleh mencemari lingkungan. Sebagian masyarakat masih meragukan aspek keselamatan pengelolaan limbah radioaktif, terutama pada tahap penyimpanan akhir limbah radioaktif, karena limbah radioaktif mengandung sejumlah nuklida yang mempunyai waktu-paruh yang sangat panjang. Dikhawatirkan limbah tersebut dapat tersebar dan membahayakan manusia dan lingkungannya.

Pros and Cons of the NPP cannot be separated from the generated radioactive waste. Question on how to manage and store always rises. The waste generated from the use of radioactive substances should be treated with appropriate procedures and it should not pollute the environment. Some people still doubt the safety aspect of radioactive waste management, especially at the stage of final storage of radioactive waste because some nuclides in radioactive waste have very long half life. It is afraid that this waste will disperse and harm human and the environment.

Beruntung alam telah memberi pelajaran tentang bagaimana zat radioaktif tersimpan di suatu tempat selama jutaan tahun dan tidak berpindah/bermigrasi ketempat lain yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia. Contoh fenomena alam yang paling menakjubkan adalah reaktor nuklir alam Oklo di Negara Gabon Afrika. Fenomena zat radioaktif yang terperangkap dan terdeposit untuk waktu yang lama diketemukan di lokasi deposit uranium di Kanada, Australia dan banyak daerah lain, meskipun tidak terjadi reaktor nuklir alam di lokasi tersebut.

Fortunately, there is a lesson in nature on how the radioactive substances are stored in some places for millions of years and do not migrate to other places that can harm the environment and human. An example of the most amazing natural phenomenon is a natural nuclear reactor Oklo in Gabon, Africa.. The phenomenon of radioactive substances that are trapped underground and deposited for very long period of time is found in uranium deposit in Canada, Australia, and many other areas, although there is no natural nuclear reactor occurred at those locations.

Di lokasi Cigar Lake, Kanada, uranium deposit dengan konsentrasi tinggi (11% dari total cadangan uranium dunia), yang tidak berpindah sejak sekitar 1,3 milyar tahun lalu, ditemukan pada kedalaman 430 meter di bawah permukaan tanah. Yang mengagumkan adalah sama sekali tidak ditemukan uranium di permukaan tanah di lokasi tersebut. Struktur tanah yang melindungi uranium di Cigar Lake sangat mirip dengan konsep penyimpanan limbah radioaktif modern yang dirancang para ahli. Uranium di kedalaman 430 meter ini bertahan selama ratusan juta tahun meskipun terjadi perubahan alam seperti terbentuknya pegunungan (Rocky Mountain dan Appalachians), zaman es, perubahan bentuk benua dan erosi yang terjadi. Dengan mengambil pelajaran dari fenomena yang terjadi di Cigar Lake, Kanada mengkombinasikan hasil eksperimen dan simulasi di laboratorium Manitoba untuk membuat konsep fasilitas penyimpanan akhir limbah radioaktif yang diharapkan jauh lebih aman dari pada yang ada di Cigar Lake.

At Cigar Lake, Canada, a uranium deposit with high concentration (11% of the total world uranium reserves), which has never migrated since 1.3 billion years ago, is found at a depth of 430 meters underground. Amazingly, no uranium trace is found on the ground surface in that location. Soil structure that contains uranium at Cigar Lake is quite similar to modern radioactive disposal concept designed by experts. This uranium deposited in 430 meters deep has with stood for hundreds of million years, even though natural changes, such as the formation of mountains (Rocky Mountain and Appalachians), ice age, continental drift and erosion, occur. Canada By taking a lesson from the phenomenon occurring at Cigar Lake, Canada combined the results of laboratory experiments and simulations in Manitoba to develop the concept of a final repository for radioactive waste disposal facility, which is expected to be much safer than the one existing at Cigar Lake.

Di Indonesia, berdasarkan UU No 10 tahun 2007 tentang Ketenaganukliran dan PP No 61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, disebutkan bahwa BATAN merupakan satu-satunya lembaga yang punya kewajiban pengelolaan sampai penyimpanan limbah radioaktif. Setelah melalui proses pengolahan, limbah disimpan dan lama penyimpanannya bisa mencapai puluhan hingga ratusan tahun.

In Indonesia, pursuant to Act No. 10/2007 on Nuclear Energy and the Government Regulation No. 61/2013 on Radioactive Waste Management, it is stated that BATAN is the sole institution that has obligations to carry out radioactive waste management and storage. After reprocessed, the waste is stored and its storing time can reach tens to hundreds of years.

Saat ini ada 13.000 pengguna atau pemegang izin radioaktif di seluruh Indonesia, seperti industri, rumah sakit, instansi pemerintah, dan universitas. Industri, misalnya, menggunakan sumber radioaktif untuk *gauging*, yang menghasilkan limbah radioaktif. Pemegang izin tinggal membayar jasa pengolahan limbah ke BATAN dengan biaya layanan yang dikategorikan sebagai penerimaan negara bukan pajak.

Currently there are 13,000 users or permit holders of radioactive materials throughout Indonesia, such as industries, hospitals, government agencies, and universities. Industries, for example, uses a radioactive sources to gauging, and then radioactive waste is produced. Permit holders of radioactive sources then just pay the service fee of radioactive waste treatment to BATAN. This fee will be categorized as states's non-tax revenue.

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) BATAN sudah memanfaatkan 50 persen dari kapasitas penyimpanan. Diperkirakan wadah penyimpanan dapat menampung limbah hingga 20 – 30 tahun mendatang. BATAN mengelola limbah radioaktif baik padat maupun cair, yang bertujuan menjamin agar limbah radioaktif tidak mencemari lingkungan untuk generasi sekarang dan akan datang. Zat radioaktif ini nantinya akan mengalami peluruhan, sampai energinya habis.

The Center for Radioactive Waste Technology (PTLR) BATAN has been utilizing 50 percent of the storage capacity. It is estimated that the waste storage container can accommodate up to 20-30 years. BATAN manages both solid and liquid radioactive waste in order to ensure that the radioactive waste does not contaminate the environment for present and future generations. The radioactive substance will decay until its energy depletes out.

PLTN menyisakan limbah nuklir dengan tingkat radioaktivitas yang tinggi dalam bentuk bahan bakar nuklir bekas (BBNB). BBNB berbahaya karena berisi produk fisi yang jumlahnya sekitar 400 nuklida radioaktif, yang 13 di antaranya memiliki umur paruh yang panjang bahkan sampai jutaan tahun. BBNB dapat didaur ulang dimana U-235 dan Pu-239 yang terkandung diambil. BBNB tersebut kemudian diproses dan diolah menjadi bahan bakar baru.

NPP leaves nuclear waste with high radioactivity levels in the form of spent nuclear fuel. This spent nuclear fuel is harmful because it contains more than 400 radioactive fission products, 13 of which have very long, even millions of years, half life. The spent nuclear fuel can recycled to recover U-235 and Pu-239 contained and is reprocessed for fresh fuel.

PLTN generasi baru dapat beroperasi untuk jangka waktu 40 - 60 tahun, *storage pool* akan penuh terisi BBNB dalam jangka waktu 20 tahun pertama. BBNB disimpan di daerah lokasi penyimpanan lestari (*Ultimate Repository*) dimana BBNB disimpan untuk selamanya di lapisan tanah dalam dan selamanya tidak akan diambil lagi. *Yucca Mountain site* di Nevada, Amerika Serikat adalah contoh lokasi yang direncanakan untuk menyimpan BBNB paling tidak selama 10.000 tahun tanpa merusak lingkungan karena kebocoran radiasi. Sayangnya, sampai sekarang lokasi tersebut belum mendapat persetujuan Pemerintah Amerika Serikat untuk digunakan sebagai penyimpanan lestari bahan bakar bekas nuklir, karena adanya kekhawatiran terjadinya kebocoran yang akan mengkontaminasi lingkungan.

New generation NPP can operate for a period of 40-60 years, the storage pool will be fully loaded by spent nuclear fuel within the first 20 years. Spent nuclear fuel is disposed in an ultimate repository in which the spent nuclear fuel is stored permanently in deep underground and will be never recovered anymore. Yucca Mountain site in Nevada, the United States, is an example of the planned locations for spent fuel disposal for at least 10,000 years without environmental impact due radioactive releases. Unfortunately, until now the site has not yet been approved by the Government of the United States for spent nuclear fuel disposal because of a worry that there will a leak causing environmental contamination.

Untuk mengamankan penyimpanan lestari bahan nuklir bekas, terdapat dua teknik yang bisa digunakan, yaitu *engineered barrier* dan *natural barrier*. *Engineered barrier* terdiri dari matriks BBNB itu sendiri, kelongsongnya dan kontainer limbah nuklir atau BBNB-nya. Kontainer limbah nuklir yang berisi BBNB dimasukkan kedalam 400 m - 600 m di bawah tanah. Kontainer harus sanggup bertahan untuk menjaga dan mengungkung BBNB dari pelepasan isotop-isotop radioaktif, minimal selama 10.000 tahun. Kalaupun terjadi kebocoran, *natural barrier* yang berisi pasir, kerikil, batuan dan semen akan menghambat lepasan radioaktif untuk tersebar lebih jauh untuk berdampak ke lingkungan manusia, hewan dan tumbuhan. Karena sifat BBNB yang sangat radioaktif, kontainer limbah nuklir harus dibuat dengan prosedur yang tepat.

To secure spent nuclear fuel final disposal, there are two applicable techniques, i.e. the engineered barrier and natural barrier. Engineered barrier consists of spent fuel matrix it self, cladding and container of nuclear waste or spent fuel. Nuclear waste container containing spent fuel is disposed in 400 m - 600 m deep underground. The containers should be able to withstand to keep and contain the spent fuel from releasing its radioactive isotopes for at least 10,000 years. Even if there is a leak, natural barrier consisting of sand, gravel, rocks and cement will hamper the radioactive release to disperse further to give impact to environment, human, animal, and plant. As the spent fuel is highly radioactive, special nuclear waste containers must be manufactured with appropriate procedure.

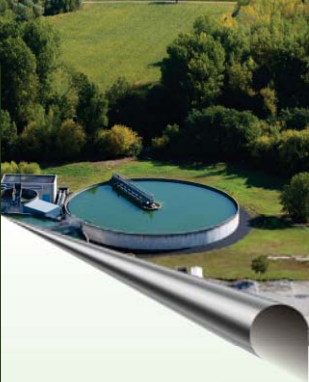


batan



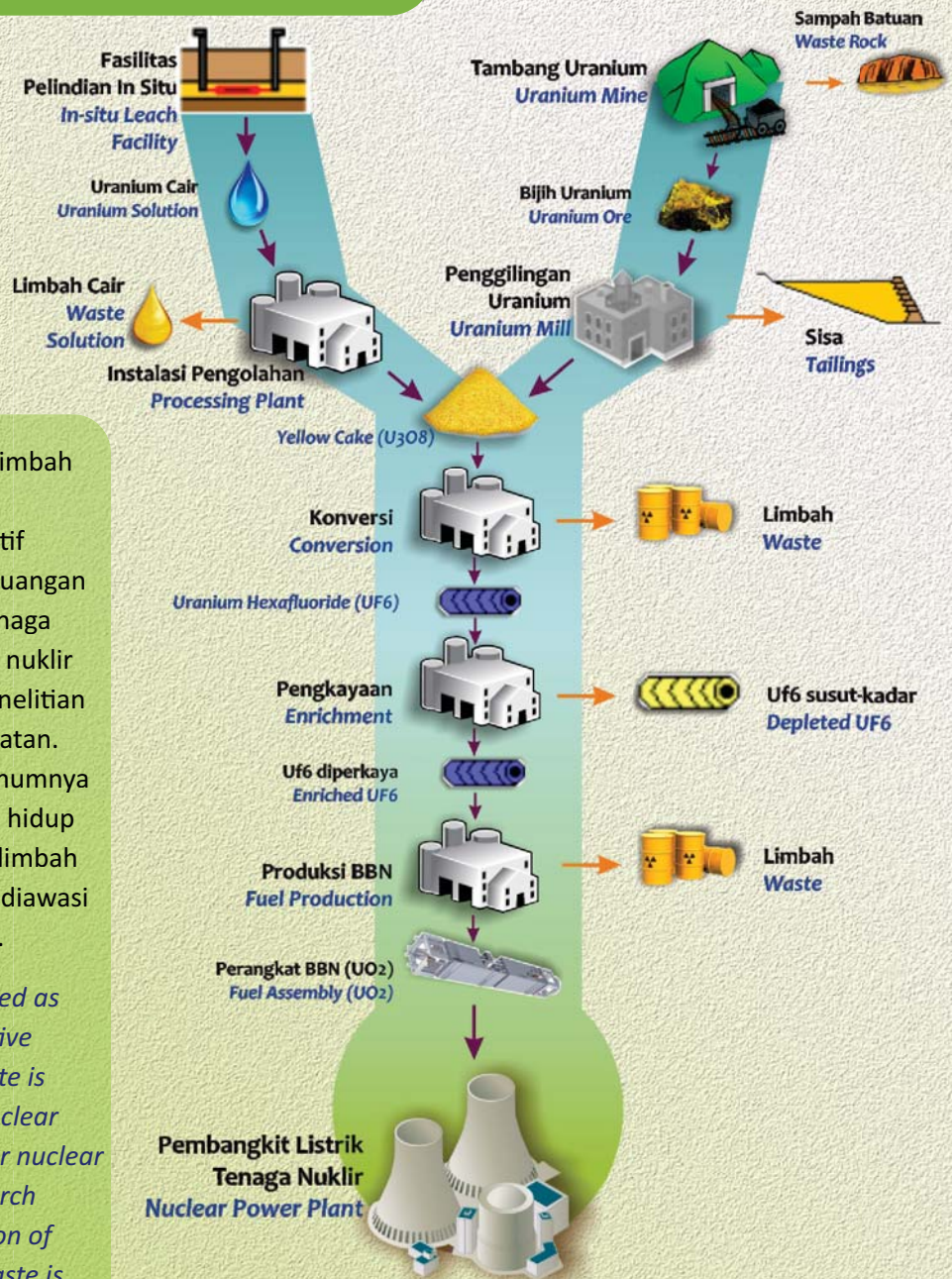
BAB 2 / Chapter 2

Fasilitas Pengolahan Limbah PLTN Nuclear Waste Processing Facilities



• Alur Produksi Limbah PLTN/ <i>Production Process of Nuclear Waste</i>	8
• Proses Pengelolaan Limbah Nuklir/ <i>Nuclear Waste Management Process</i>	10
• Fasilitas Penyimpanan Sementara/ <i>Temporary Storage Facilities</i>	12
• Fasilitas Pengolahan Ulang/ <i>Reprocessing Facilities</i>	15
• Fasilitas Konversi Ulang U_3O_8/U_3O_8 <i>Reconversion Facilities</i>	16
• Fasilitas Konversi MOX/ <i>MOX Conversion Facilities</i>	18
• Fasilitas Fabrikasi BBN MOX/ <i>MOX Fabrication Facilities</i>	20
• Fasilitas Pengkondisian BBN Bekas/ <i>Conditioning Facilities of Spent Fuel</i>	22
• Penyimpanan Lestari/ <i>Geological Disposal Repository</i>	25
• Kebijakan IAEA Terhadap Penyimpanan Lestari/ <i>IAEA Policy on Disposal Repository</i>	27

ALUR PRODUKSI LIMBAH PLTN/ PRODUCTION PROCESS OF NUCLEAR WASTE



Limbah radioaktif adalah limbah yang mengandung bahan radioaktif. Limbah radioaktif biasanya berupa produk buangan dari Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) atau aplikasi nuklir lainnya seperti fasilitas penelitian maupun produksi obat-obatan. Limbah radioaktif pada umumnya berbahaya untuk makhluk hidup dan lingkungan, sehingga limbah tersebut harus diatur dan diawasi oleh lembaga pemerintah.

Radioactive waste is defined as waste containing radioactive material. Radioactive waste is usually a by product of Nuclear Power Plant (NPP) or other nuclear applications such as research facilities and the production of medicines. Radioactive waste is generally harmful to living beings and the environment, so that it must be regulated and supervised by government agencies.

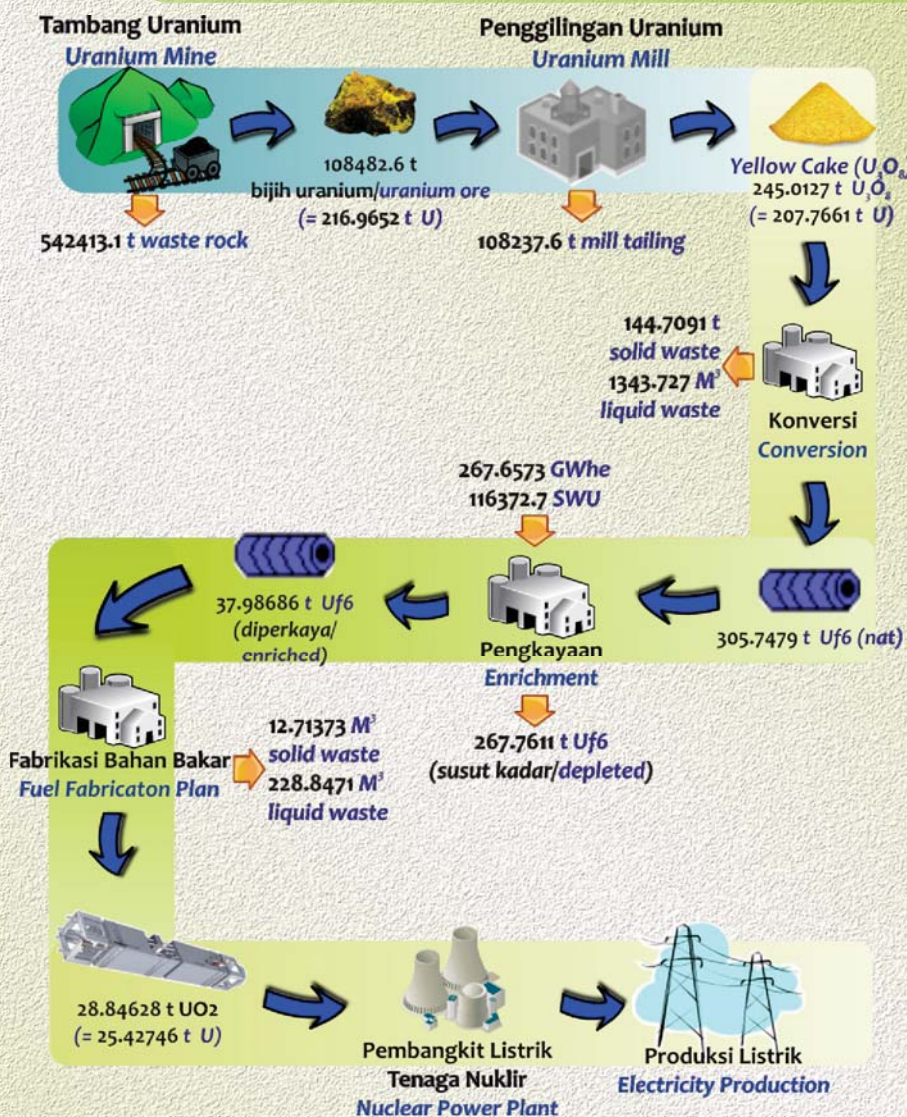
Radioaktivitas secara alami meluruh dari waktu ke waktu, sehingga ia harus diisolasi dan disimpan dalam fasilitas penyimpanan untuk jangka waktu tertentu agar tidak lagi berbahaya. Waktu penyimpanan limbah radioaktif tergantung pada jenis limbah dan isotop radioaktif. Penyimpanan dapat berkisar dari orde harian hingga orde tahunan.

Radioactivity naturally decays over time, so that it should be isolated and stored in a storage facility for a certain period of time until it is not harmful anymore. Radioactive waste storage time depends on the type of waste and radioactive isotopes. Storage time can range from days to years.

Alur produksi limbah radioaktif dimulai dari sejak penambangan bijih uranium sampai beroperasi PLTN. Limbah radioaktif ini merupakan produk sampingan penambangan, limbah dari proses produksi U_3O_8 , limbah dari proses konversi, pengkayaan, fabrikasi dan operasi PLTN.

Radioactive waste production starts from the mining of uranium ore to the operation of NPP. Such waste is generated as by products of mining, waste from the U_3O_8 production process, conversion process, enrichment, fabrication and operation of NPP.

PLTN 1 GWe akan menghasilkan limbah buangan dari penambangan sebanyak 542 kiloton (batu limbah). Limbah penggilingan uranium sebanyak 108 kiloton (*tailing*). Limbah proses konversi sebanyak 144 ton bentuk padat dan 1343 m³ bentuk cair. Limbah pada proses pengkayaan sebesar 267 ton, sedangkan pada proses fabrikasi menghasilkan 13 m³ bentuk padat dan 229 m³ bentuk cair. Limbah berupa BBN bekas rata-rata sebanyak 29 ton/tahun.

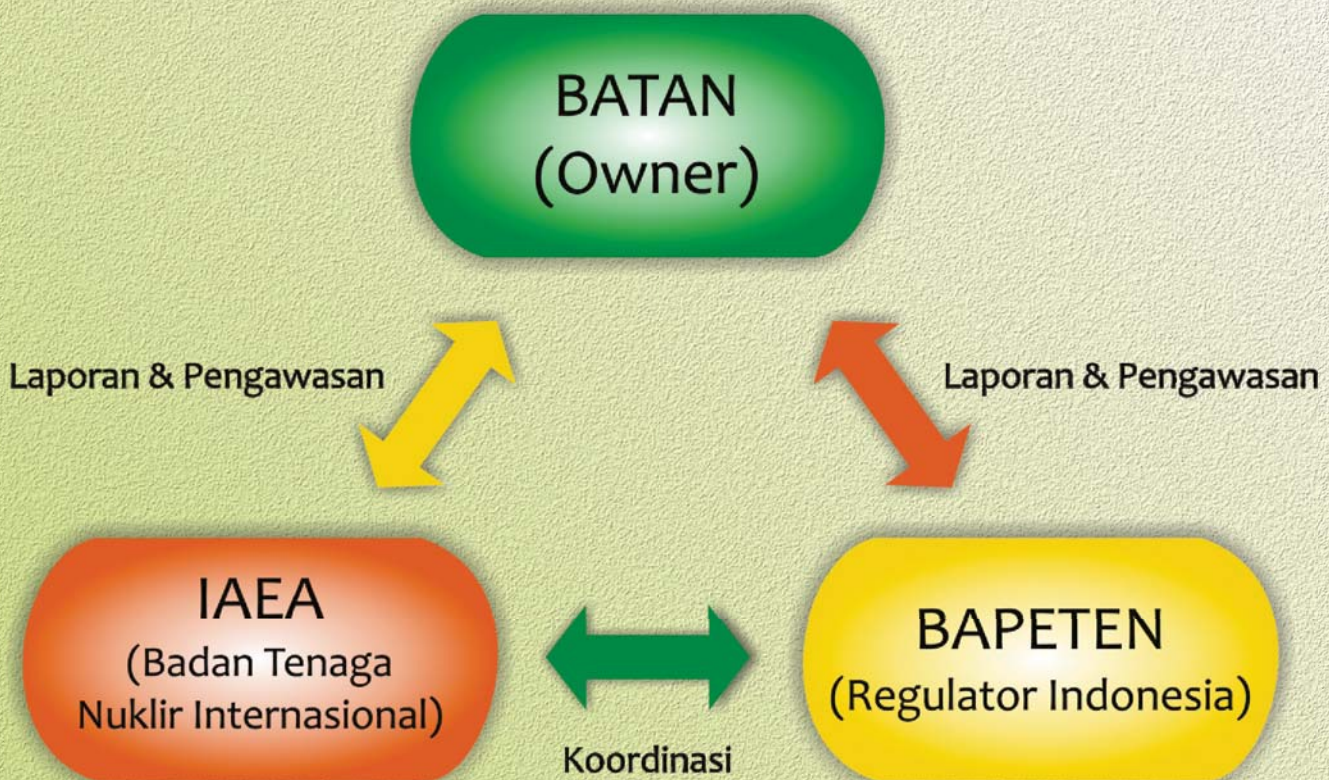


1 GWe of NPP will generate in the waste of mining as much as 542 kilotons (waste rock). Waste from uranium milling is as much as 108 kilotons (tailings). Waste conversion process is as much as 144 tons of solid and 1343 m³ of liquid waste. Waste from enrichment process is 267 tons, while the fabrication process produces 13 m³ of solid form and 229 m³ of liquid waste. Waste in the form of spent fuel is 29 tons per year in average.

PROSES PENGELOLAAN LIMBAH NUKLIR/ *NUCLEAR WASTE MANAGEMENT PROCESS*

Pengelolaan limbah nuklir adalah proses penanganan limbah nuklir sejak dikeluarkan dari reaktor nuklir atau fasilitas nuklir lainnya hingga proses penyimpanan secara permanen. Setiap tahap dalam proses ini membutuhkan fasilitas. Fasilitas pengelolaan limbah nuklir adalah fasilitas untuk mengumpulkan, memproses dan menyimpan limbah radioaktif sehingga pelepasan bahan radioaktif ke lingkungan dapat diminimalkan.

Nuclear waste management is the process of handling nuclear waste since it is taken from nuclear reactors or other nuclear facilities and send to a permanent disposal site. Each step in this process requires facilities. Nuclear waste management facility is a facility to collect, process and store radioactive waste so that the release of radioactive materials into the environment can be minimized.





Fasilitas pengelolaan limbah nuklir terdiri dari: Fasilitas penyimpanan sementara BBN bekas, fasilitas pengolahan dan daur ulang BBN bekas, fasilitas pengkondisian BBN bekas dan limbah lainnya, serta fasilitas penyimpanan permanen bahan bakar nuklir (BBN) bekas. Semua fasilitas tersebut harus resmi terdaftar pada *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dan sepenuhnya dalam pengawasan IAEA. Badan Pengawas Tenaga Nuklir Indonesia (BAPETEN) juga mengatur dan mengawasi seluruh fasilitas nuklir dan aktivitas yang terkait dengannya.

Nuclear waste management facility consists of: spent fuel storage, spent fuel reprocessing and recycling, spent fuel conditioning, and spent fuel disposal. All of these facilities must be officially registered by the IAEA and fully under IAEA. Indonesian Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) also regulate and oversee all nuclear facilities and activities associated with these nuclear wastes.

Instansi yang melakukan pelanggaran terhadap peraturan IAEA akan dikenai sanksi. BAPETEN juga berhak memberikan sanksi yang sama jika BATAN atau instansi yang memiliki fasilitas nuklir melakukan pelanggaran. BAPETEN berkoordinasi dengan IAEA dalam rangka pelaksanaan pengawasan terhadap fasilitas pengelolaan limbah nuklir.

Institutions violating the IAEA's regulations will receive a penalty. BAPETEN is also entitled to impose the same sanctions if BATAN or an agency that have nuclear facilities is in violation of rules set by BAPETEN. BAPETEN is in coordination with the IAEA in order to carry out oversight of nuclear waste management facilities.

FASILITAS PENYIMPANAN SEMENTARA/ TEMPORARY STORAGE FACILITIES

Fasilitas penyimpanan sementara BBN bekas adalah fasilitas untuk mengumpulkan dan menampung BBN bekas yang telah dikeluarkan dari reaktor nuklir. Fasilitas ini harus aman dan stabil sebelum BBN bekas diolah kembali atau disimpan lestari. Fitur desain dan pengoperasian fasilitas harus memberikan perlindungan kepada pekerja, masyarakat dan lingkungan dari bahaya paparan radioaktif.

Spent fuel temporary storage facility is a facility to collect and to store spent fuel that has been removed from a nuclear reactor. This facility should be secured and stable before spent fuel is reprocessed or disposal repository. Design features and operation of the facility must provide protection to workers, the public and the environment from radioactive exposure hazards.

Penyimpanan BBN bekas pada dasarnya terdiri dari tiga mode yang berbeda:

1. Penyimpanan basah, yaitu BBN bekas disimpan dalam kolam air dekat dari reaktor. Air berfungsi mengurangi paparan radiasi dari BBN bekas.
2. Penyimpanan kering, yaitu BBN bekas diletakkan dalam tong-tong dekat dari reaktor. Tong-tong ini disegel dan diperisai untuk mencegah pelepasan radioaktif selama penyimpanan.
3. Penyimpanan kering berupa ruangan, yaitu ruangan beton di atas atau bawah permukaan tanah yang mampu mencegah pelepasan bahan radioaktif ke lingkungan.



**Penyimpanan Basah/
wet storage**



**Penyimpanan Kering /
dry storage**



**Penyimpanan kering
berupa ruangan besi/
Dry storage in vault type
storage facilities**

Sumber gambar/*Source of picture:*

http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/Nuclear_Fuel_Cycle/Nuclear_Wastes/Thorstorage.jpg

<http://www.elp.com/content/dam/elp/online-articles/2014/05/nuclear%20waste.png>

<http://www.alphabetic.info/international/wp-content/uploads/2011/12/capsule-for-nuclear-waste.jpg>

Spent fuel storage facility basically consists of three different modes:

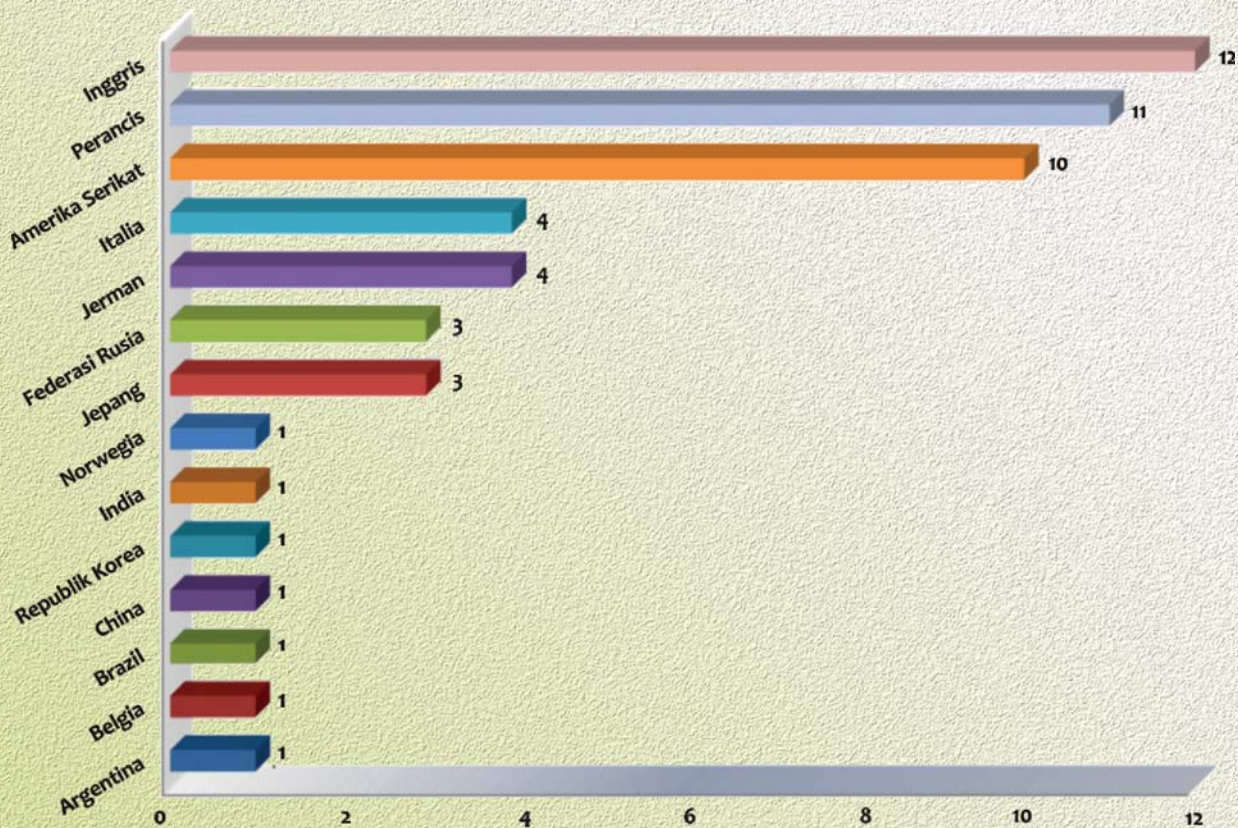
1. Wet Storage, the spent fuel stored in a pool of water near the reactors. The water serves to reduce the radiation exposure from the spent fuel.
2. Dry Storage, spent fuel placed in barrels near the reactor. These barrels are sealed and shielded to prevent the release of radioactive material during storing period.
3. Dry Storage in Vault, ie concrete room above or below ground level with capability of preventing the release of radioactive materials to environment.

Berdasarkan data tahun 2014, fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas di dunia berjumlah 153 unit. Amerika Serikat memiliki 64 unit. Jepang adalah negara di Asia yang memiliki fasilitas paling banyak yaitu 6 unit. Jerman dan Rusia merupakan negara di Eropa yang memiliki fasilitas paling banyak. Jerman memiliki lebih dari 20 unit sedangkan Rusia sekitar 8 unit.

Based on data from 2014, spent fuel storage facility in the world is amounted to 153 units. The United States has 64 units. Japan is a country in Asia that has most facilities with 6 units. Germany and Russia are countries in Europe that has the most facilities. Germany has more than 20 units, while Russia has about 8 units.



Jumlah Unit Penyimpanan Sementara BBN Bekas
Number of Spent Fuel Storage Units



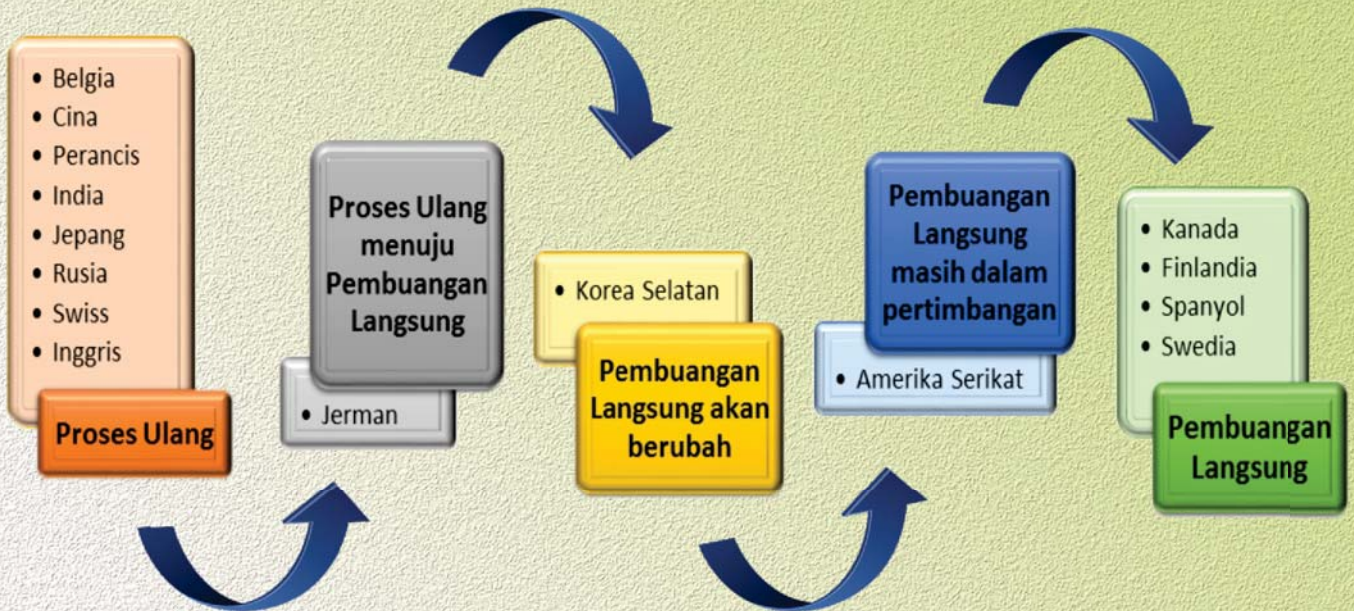
Jumlah Unit Olah Ulang BBN Bekas
Number of Spent Fuel Reprocessing Units

Fasilitas pengolahan ulang BBN bekas adalah fasilitas yang memanfaatkan BBN bekas untuk digunakan sebagai BBN baru. Fasilitas ini berkembang karena adanya peningkatan jumlah BBN bekas dari tahun ke tahun sehingga BBN bekas di fasilitas penyimpanan sementara harus segera diolah lebih lanjut.

Reprocessing facility of spent fuel is a facility that recycles the spent fuel to become fresh fuel. This facility is growing because of the increasing number of spent fuel from year to year so that spent fuel in a temporary storage facility should be immediately processed further.

Fasilitas pengolahan ulang dan daur ulang bahan bakar bekas di dunia pertama kali dibangun di Belgia pada tahun 1960-an. Berdasarkan data tahun 2012, jumlah fasilitas pengolahan ulang bahan bakar bekas di dunia sebanyak 54 unit, yang mana terbanyak dimiliki oleh Inggris 12 unit, Perancis 11 unit, Amerika Serikat 10 unit. Sisanya dimiliki oleh negara Italia (4 unit), Jerman (4 unit), Jepang (3 unit) dan Rusia (3 unit). Argentina, Belgia, Brazil, Tiongkok, India, Korea Utara, dan Norwegia masing-masing memiliki 1 unit.

FASILITAS PENGOLAHAN ULANG/ REPROCESSING FACILITIES

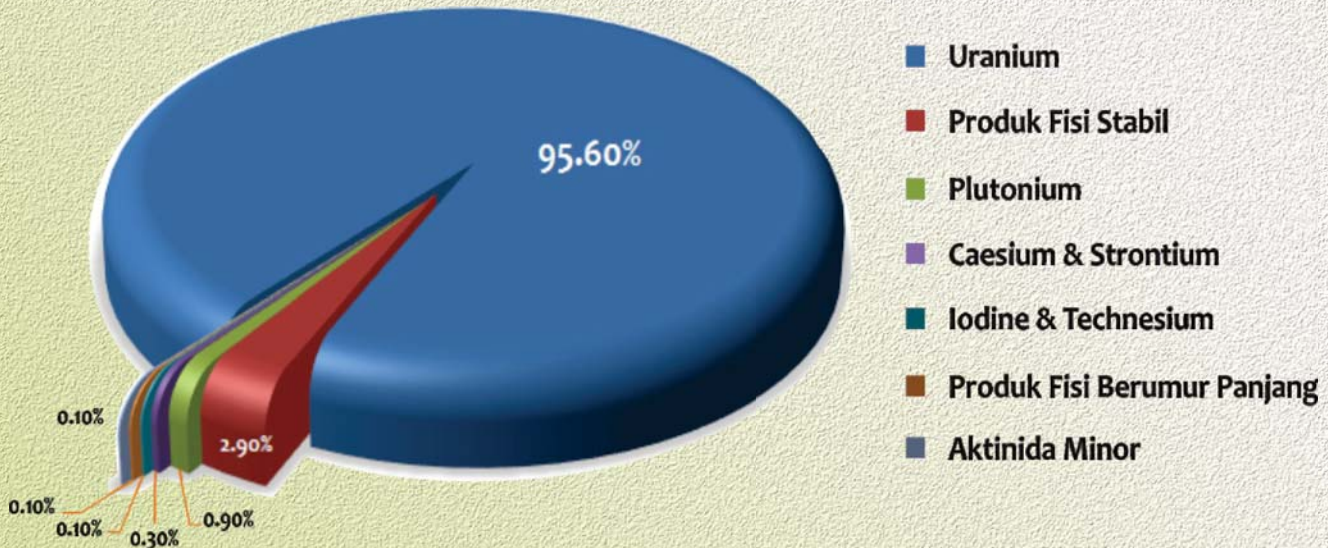


Reprocessing and recycling facility of spent fuel in the world was built firstly in Belgium in the 1960s. Based on 2012's data, the number of spent fuel reprocessing facilities in the world is as many as 54 units, most of which are owned by the United Kingdom (12 units), France (11 units), and United States (10 units). The others are owned by the Italy (4 units), Germany (4 units), Japan (3 units) and Russia (3 units). Argentina, Belgium, Brazil, China, India, North Korea, and Norway has one unit, respectively.

Fasilitas pengolahan dan daur ulang BBN bekas yang cocok untuk dikembangkan di Indonesia adalah fasilitas seperti yang dimiliki oleh Jepang karena membagi fasilitas tersebut menjadi 2 jenis berdasarkan kapasitasnya, yaitu kapasitas kecil dan besar. Fasilitas Jepang yang berkapasitas kecil ini memiliki kapasitas desain sebesar 130 ton HM/tahun dan beroperasi tahun 2016. Jepang memiliki fasilitas berkapasitas besar sebanyak 2 unit yang berfungsi menampung BBN bekas dari seluruh reaktor nuklir komersil di Jepang. Fasilitas tersebut berkapasitas 800 ton HM/tahun terletak di Rokkasho-mura dan beroperasi sejak tahun 2007.

Processing and recycling facility of spent fuel that is suitable to be developed in Indonesia is a facility similar to the Japanese type, which consists of two types based on small and large capacity. Japanese small-capacity facility has a designed capacity of 130 ton HM/year and operates in 2016. Japan has 2 units facility with large capacity to accommodate waste from the spent fuel of all over commercial NPP in Japan. Both facilities have design capacity of 800 ton HM/year. These facilities are located in Rokkasho-mura and has been operated since 2007.

FASILITAS KONVERSI ULANG U_3O_8 / U_3O_8 RECONVERSION FACILITIES



Komposisi Material pada BBN Bekas Tipe LWR
Material Composition of LWR Spent Fuel

Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) masih membawa sejumlah besar bahan fisil yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi. BBN bekas mengandung U-235 dalam jumlah cukup banyak serta terdapat nuklida fisil baru yang dihasilkan selama operasi reaktor nuklir seperti misalnya Pu-239. Proses konversi ulang ini tidak hanya bermanfaat untuk meningkatkan efektivitas penggunaan BBN bekas tetapi juga untuk mengurangi volume dan radioaktivitas limbah yang akan disimpan secara permanen di bawah tanah.

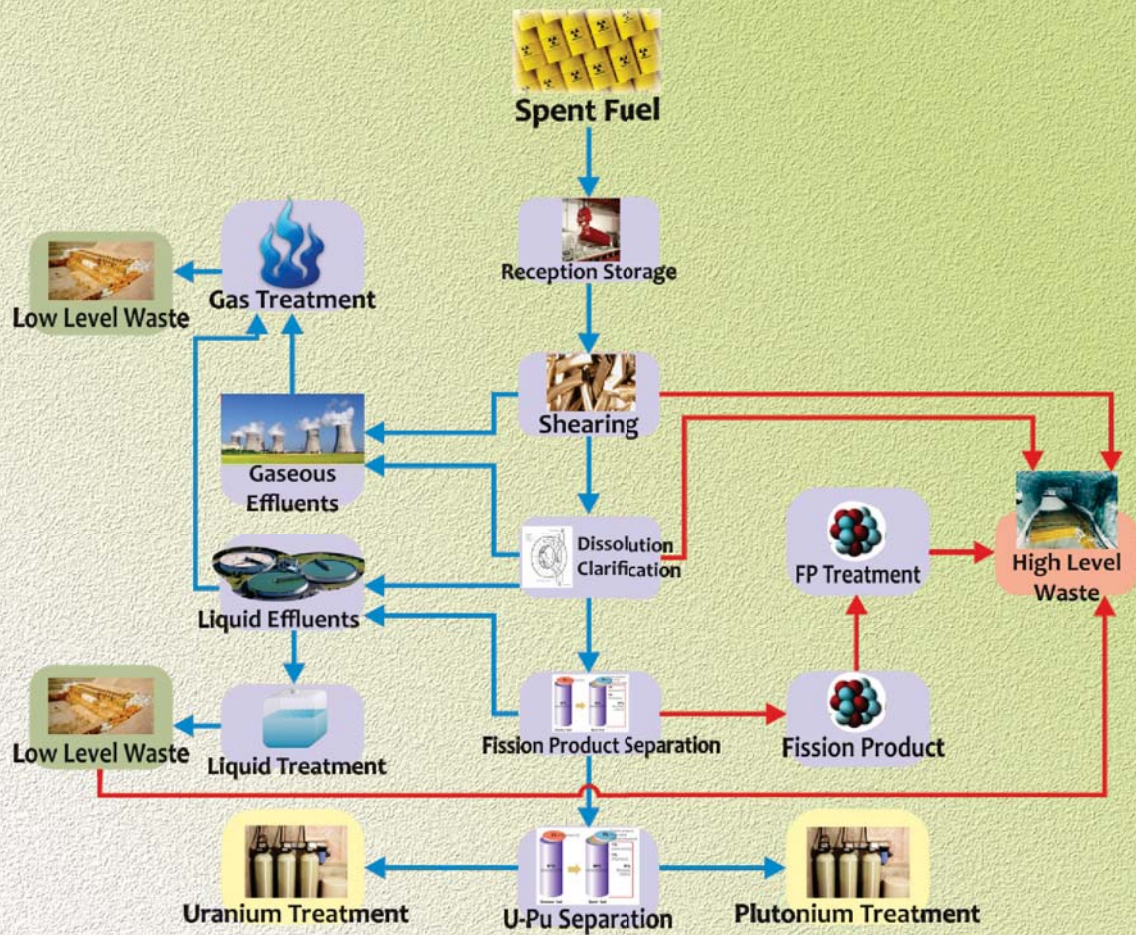
Spent fuel still contains a large amount of fissile material that could be used to produce energy. Spent fuel contains U-235 in large amounts and new fissile products generated by the operation of NPP, such as Pu-239. The process of reconversion is beneficial not only to improve the effectivity of the use of spent fuel, but also to reduce the volume and radioactivity of the waste that will be stored under ground permanently.

BBN bekas yang berasal dari 4% pengkayaan awal dan *burn-up* 45 GWd/t, mengandung sekitar 0,67% U-235, sekitar 0,5% U-236, sekitar 93% U-238, sekitar 1% plutonium, 0,1 % minor aktinida, 4% dari produk fisi dan sejumlah kecil aktinida lainnya. Proses konversi ulang memisahkan plutonium dan uranium dari produk fisi beradioaktif dan aktinida lainnya.

Sumber gambar/*Source of picture:*

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/NTS_-_Low-level_radioactive_waste_storage_pit.jpg
<http://affordablewatertreatmentofmaine.com/products/low-ph-acid-water-conditions/>
<http://www.cmigroupe.com/en/p/liquid-effluent-treatment-solutions-and-services>
<http://ramp.labworks.org/GALE/>

PUREX Process



Spent fuel that is generated from fresh fuel with 4% enrichment and burn-up of 45 GWd/t contains about 0.67% U-235, 0.5% U-236, 93% U-238, 1% plutonium, 0.1% minor Actinides, 4% of fission products, and small amount of other actinides. Reprocessing process separates plutonium and uranium from radioactive fission products and other actinides.

Terdapat beberapa metode dalam proses konversi ulang. Metode yang paling umum digunakan adalah metode PUREX. Proses PUREX memiliki sejumlah keunggulan, salah satunya adalah biaya proses yang rendah. Uranium hasil konversi ulang kemudian diperkaya ulang atau dicampur dengan *High Enriched Uranium* (HEU) lalu difabrikasi menjadi BBN siap pakai. Tingkat pengkayaan uranium hasil olah ulang ini harus lebih tinggi dari pengkayaan awalnya, karena ia harus bisa mengkompensasi U-236, yang bersifat menyerap neutron.

There are several methods in the reconversion process. Among them, PUREX method has become the most common accepted process. PUREX process has a number of advantages, one of which its process lowcost. Uranium obtained from reconversion is then re-enriched or mixed with High Enriched Uranium (HEU) and then fabricated into fresh fuel. The level of enrichment for uranium obtained from the reprocessing process should be higher than initial enrichment because it should be able to compensate the presence of U-236, which is a neutron absorber.

Sumber gambar/Source of picture:

<http://npre.illinois.edu/sites/default/files/spentnuclearfuel.jpg>

http://www.tes.bam.de/de/_pic_u_film/castor_abladen.bmp

http://www.aveva.com/activities/liblocal/images/fr/activites/aval/monde/activite-recyclage-monde/aveva-la-hague/activites-site/Activit%C3%A9_LH_T1.jpg

http://e-vestnik.bg/imgs/bulgaria/AEZ_shema_gorivo.jpg

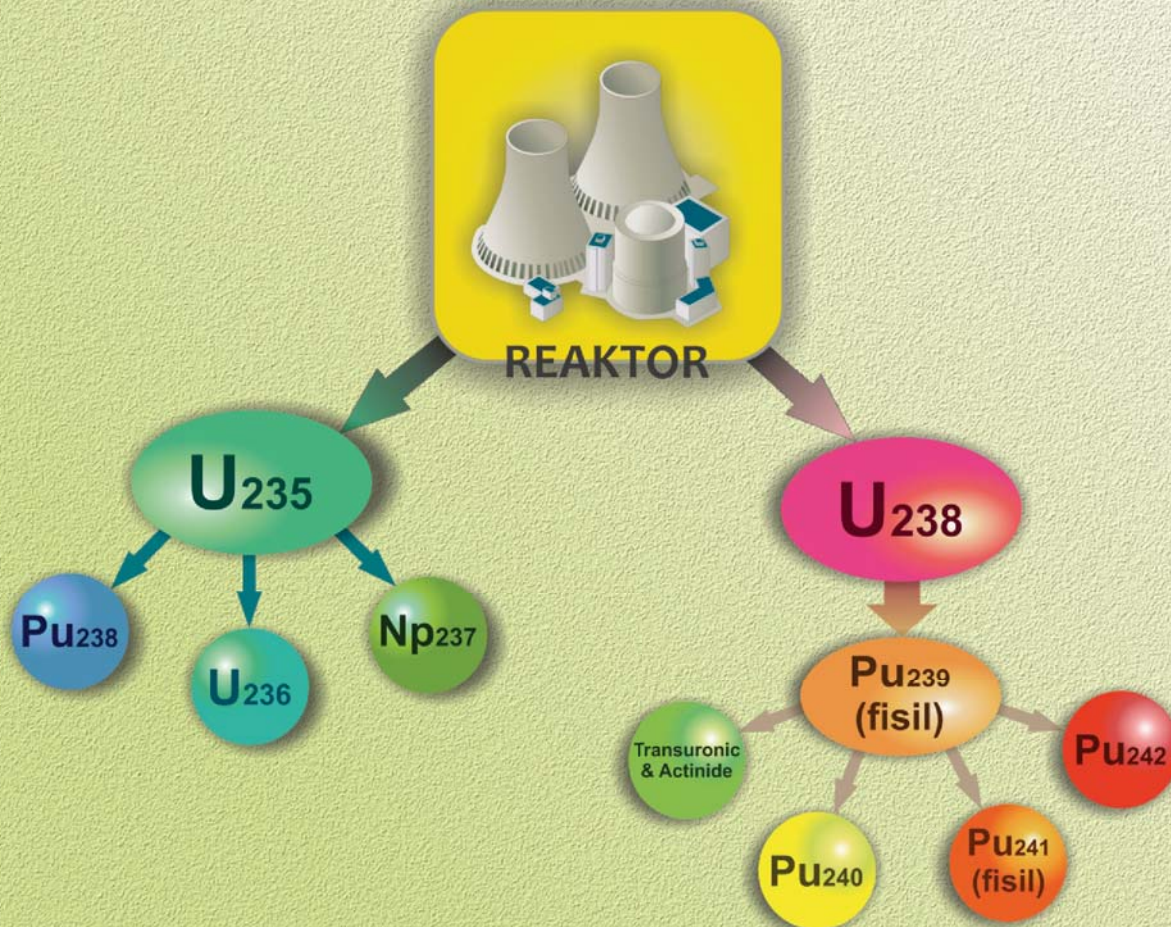
FASILITAS KONVERSI MOX/ MOX CONVERSION FACILITIES

BBN *mixed oxide* (MOX) adalah BBN yang mengandung lebih dari satu jenis oksida atau bahan fisil. Jenis bahan bakar ini pada umumnya berbentuk campuran antara plutonium dengan uranium alam, uranium olah ulang atau uranium deplesi (*depleted uranium*). BBN MOX merupakan BBN alternatif yang masuk dalam klasifikasi *Low Enriched Uranium* (LEU) yang digunakan pada reaktor jenis *Light Water Reactor* (LWR).

Mixed oxide (MOX) fuel is a nuclear fuel that contains more than one type of oxide or fissile material. This fuel type is generally shaped a mixture of plutonium and natural uranium, reprocessed uranium or depleted uranium. MOX is an alternative fuel that is classified Low Enriched Uranium (LEU) that is used in the type of Light Water Reactor (LWR).

Campuran 7% plutonium dengan 93% uranium alam akan berkarakter hampir sama dengan BBN LEU. BBN MOX bisa berupa dua bentuk yaitu campuran UO_2 dan PuO_2 atau larutan padat satu fase yaitu $(U,Pu)O_2$. MOX akan lebih efektif jika digunakan pada reaktor cepat (*fast reactor*).

The mixture of 7% plutonium with 93% of natural uranium will have similar characteristic with LEU. MOX fuel can be in two forms, namely a mixture of UO_2 and PuO_2 or solid solution of the $(U, Pu)O_2$ phase. MOX fuel will be more effective if it is used in fast reactors.

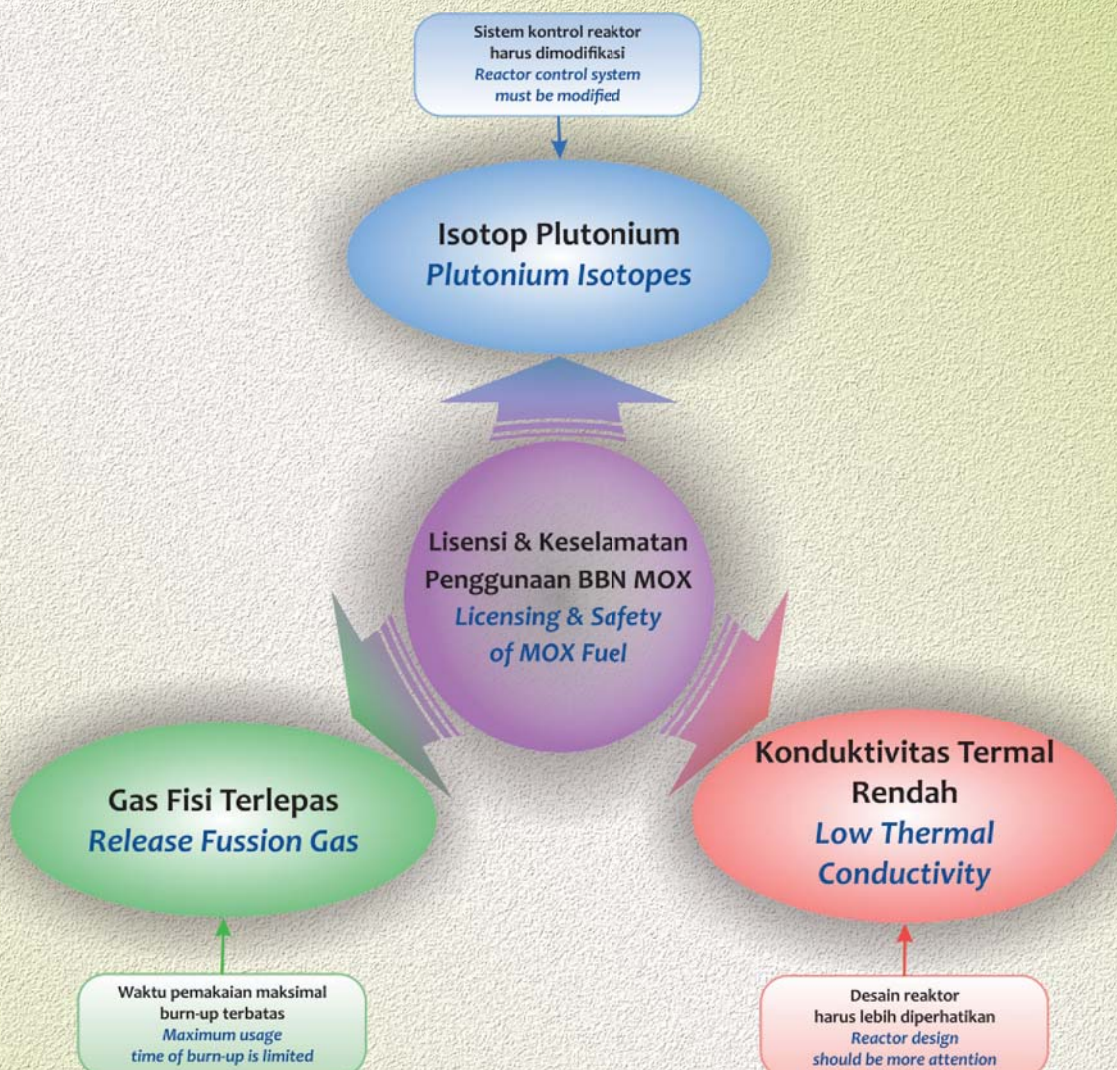


Hal khusus BBN MOX adalah terbukanya peluang untuk pemanfaatan plutonium untuk keperluan persenjataan nuklir. Hal ini membuat sistem pengawasan peredaran BBN MOX untuk komersil lebih ketat. Reaktor nuklir yang akan menggunakan BBN MOX harus terlisensi untuk alasan keselamatan. Pada umumnya BBN MOX hanya boleh digunakan maksimal 30% dari keseluruhan BBN yang digunakan.

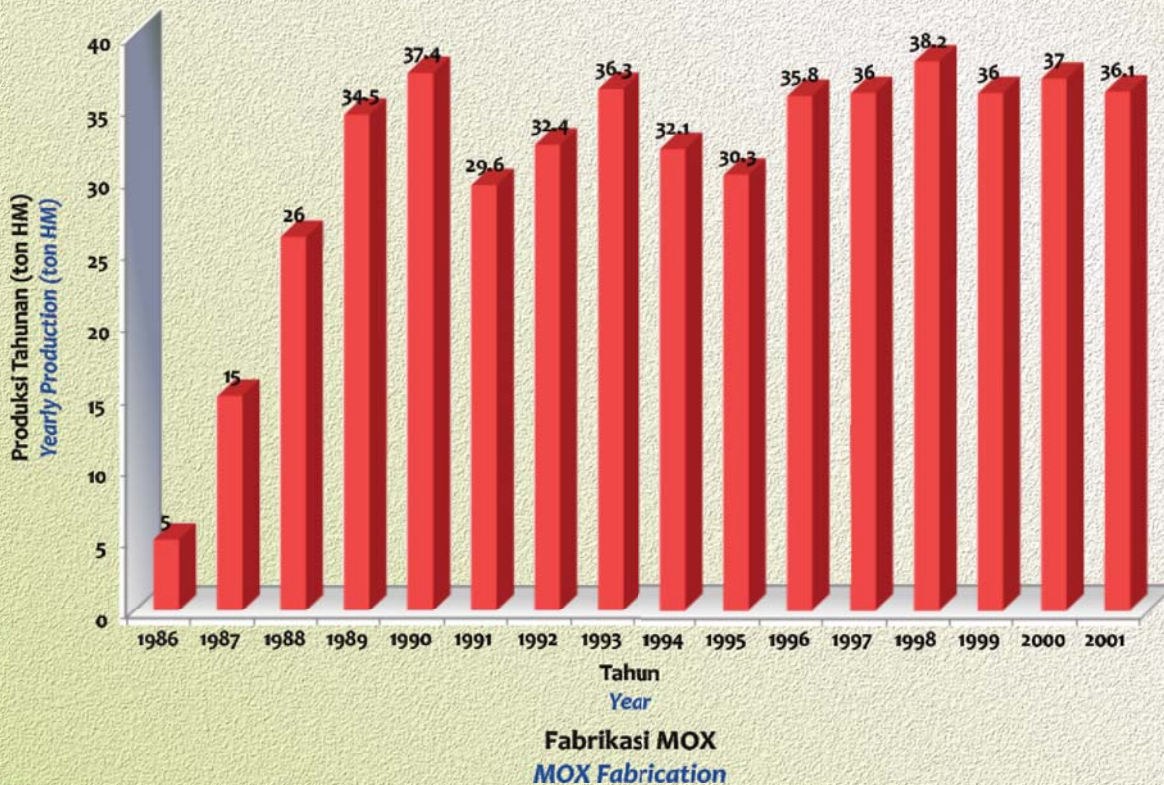
The special aspect of MOX is the opportunity of the use of plutonium for nuclear weapons purposes. It makes the monitoring system for commercial release of MOX tighter. The nuclear reactor that will use MOX must be licensed for safety reason. Generally, MOX fuel can only be used maximum 30% of the total fuel used.

Pembuatan MOX secara komersial telah dilakukan di Inggris dan Perancis, dan untuk kapasitas lebih rendah dilakukan oleh Rusia, India dan Jepang. Reaktor termal di Eropa yang menggunakan BBN MOX berjumlah sekitar 30 unit yaitu di negara Belgia, Belanda, Switzerland, Jerman dan Perancis.

Commercial production of MOX has been done in the United Kingdom and France, and for a lower capacity, is carried out by Russia, India and Japan. The number of thermal reactors in Europe that using MOX fuel is about 30 units, located in Belgium, Netherlands, Switzerland, Germany and France.



FASILITAS FABRIKASI BBN MOX/ MOX FABRICATION FACILITIES



Fasilitas fabrikasi BBN MOX terdiri dari 2 area utama, yaitu area pemisahan material yang masuk kategori tingkat sensitif (*weapon grade*) dan area pengumpulan material beserta fabrikasi MOX. Proses fabrikasi MOX terdiri dari tiga tahap yaitu pengumpulan material, pembentukan BBN dan perakitan. Fasilitas fabrikasi BBN MOX yang ada saat ini pada umumnya memiliki luas area 600.000 ft² (termasuk fasilitas pendukung).

MOX fabrication facility consists of two main areas, namely the area of material separation with sensitive level categories (weapons grade) and area of material collection and fabrication of MOX. MOX fabrication process consists of three stages namely the collecting of material, fuel fabrication, and fuel assembly. The existing MOX fabrication facilities has generally an area of 600,000 ft² (including supporting facility).

Fasilitas fabrikasi BBN MOX yang beroperasi di dunia salah satunya adalah *Belgonucleaire PO*

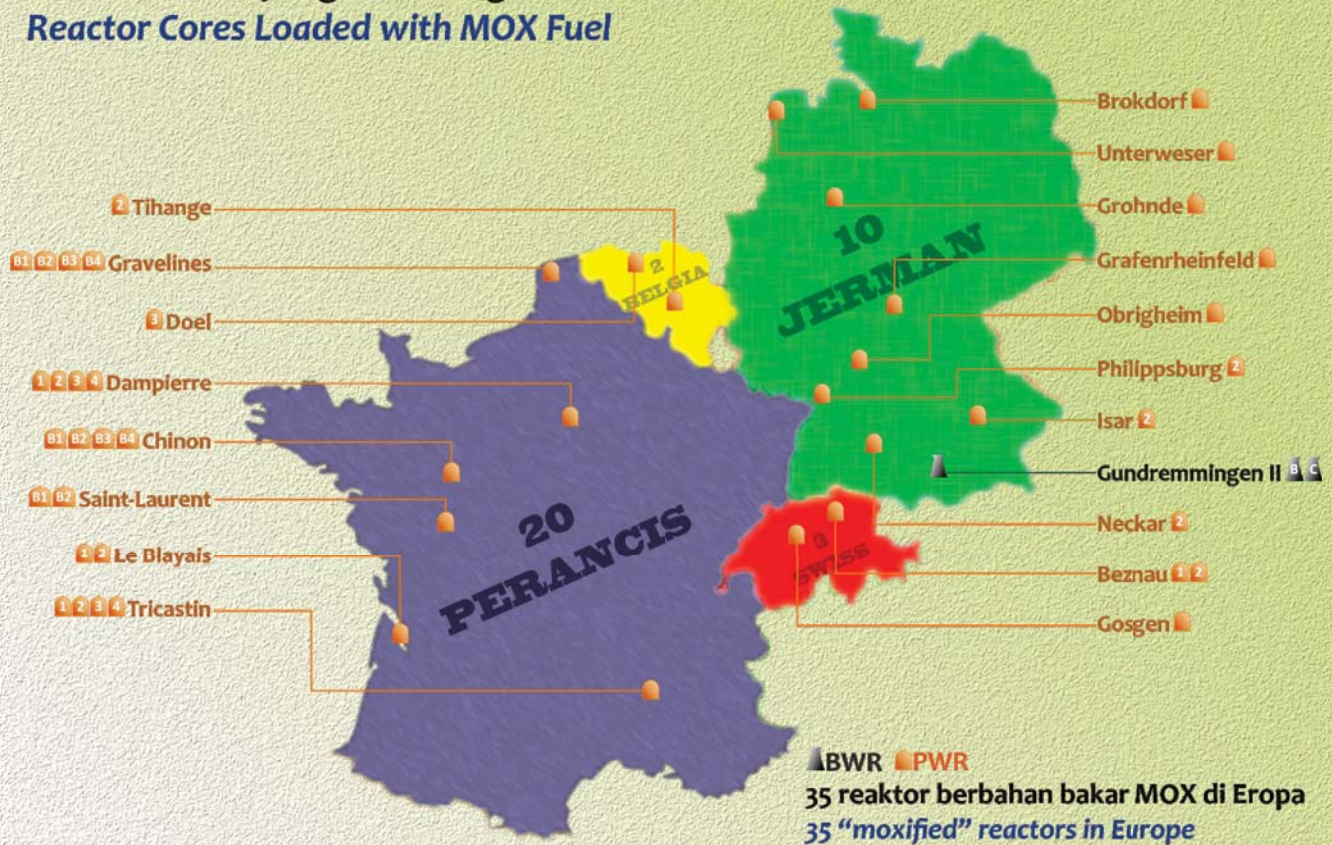


Plant Dessel Belgia. Fasilitas ini beroperasi sebagai fabrikasi BBN MOX (*pellet-pin*) dengan kapasitas produksi secara desain sebesar 40 ton U/tahun. Fasilitas fabrikasi BBN MOX di Belgia ini pernah mensuplai BBN untuk 35 unit reaktor di 4 negara yaitu 20 unit di Perancis, 2 unit di Belgia, 3 unit di Swiss dan 10 unit di Jerman. Sebagian besarnya berjenis PWR dan sisanya adalah jenis BWR. Operasi fasilitas ini dihentikan oleh badan regulasi Belgia karena alasan keselamatan.

Sumber gambar/Source of picture:

http://s4.standaardcdn.be/Assets/Images_Upload/2014/12/26/9000cbaa-8d0d-11e4-b168-206740a38e9c_original.jpg?maxheight=416&maxwidth=568

Teras Reaktor yang Diisi dengan Bahan Bakar MOX Reactor Cores Loaded with MOX Fuel



One of the MOX fabrication facilities operating in the world is Belgonucleaire PO Plant Dessel in Belgium. This facility operates to fabricate of MOX (pellet-pin) with a production capacity of 40 ton U/year. MOX fabrication facilities in Belgium has supplied nuclear fuel for 35 units of reactor in four different countries, namely 20 units in France, two units in Belgium, 3 units in Switzerland and 10 units in Germany. Most of them are PWR type and the rest are BWR type. The operation of this facility was stopped by the Belgian regulatory body for safety reason.

Tiongkok dan Belgia telah menandatangani perjanjian untuk pembangunan fasilitas fabrikasi BBN MOX di Tiongkok. Perjanjian ini dibuat karena Tiongkok memiliki rencana akan mengoperasikan sekitar 200 reaktor skala besar dalam waktu 20 tahun, dan ingin membatasi jumlah uranium impor diperlukan. Tiongkok bekerjasama dengan Areva untuk pengembangan MOX lebih lanjut di masa mendatang.

China and Belgium have signed an agreement for the construction of MOX fabrication facility in China. This agreement was achieved because China planned to operate about 200 units of large reactors within 20 years and wanted to restrict the amount of imported uranium. China has cooperation with Areva for further development of MOX fuel in the future.

FASILITAS PENGKONDISIAN BBN BEKAS/ CONDITIONING FACILITIES OF SPENT FUEL

Proses pengolahan dan pendingin adalah proses yang digunakan untuk mengkonversi bahan limbah radioaktif ke dalam bentuk yang layak dan aman untuk proses pengelolaan BBN bekas pada tahap selanjutnya, seperti transportasi, penyimpanan dan pembuangan akhir. Tujuan utama proses ini adalah untuk meminimalkan ukuran dan mengurangi potensi bahaya limbah.

Processing and cooling is used to convert radioactive waste materials into suitable and safe form for spent fuel reprocessing in later stage, such as transportation, storage and final disposal. The main objective of this process is to minimize the size and to reduce the waste potential hazards.

Pengubahan limbah menjadi bentuk padat akan mempermudah proses transportasi dan penyimpanan. Beberapa jenis penkondisian limbah antara lain, pembakaran, pengepakan, sementasi dan vitrifikasi. Semua proses tersebut digunakan untuk limbah tingkat sedang dan rendah kecuali vitrifikasi yang digunakan untuk limbah tingkat tinggi yang berupa BBN Bekas.

Converting waste into solid form can ease the transportation, storage, and final disposal of waste. Some types of waste conditioning are burning, packing, cementation and vitrification. All of these processes are used for low and medium level waste, while vitrification is used for high-level waste i.e. spent fuel.





Pengungkungan limbah nuklir tingkat tinggi membutuhkan limbah tersebut berbentuk padat dan tahan reaksi serta tidak mudah larut, karena harus bertahan selama ribuan tahun. Saat ini bahan *borosilicate glass* telah dipilih untuk medium penyimpanan limbah tingkat tinggi. Kestabilan bahan ini mampu hingga ribuan tahun sehingga cocok untuk penanganan khusus limbah nuklir tingkat tinggi. Proses vitrifikasi selain untuk BBN bekas, juga untuk limbah pengolahan ulang BBN bekas. Proses ini digunakan di Perancis, Jepang, Rusia, Inggris dan Amerika Serikat, dimana mayoritas limbahnya berasal dari limbah pengolahan ulang BBN bekas.

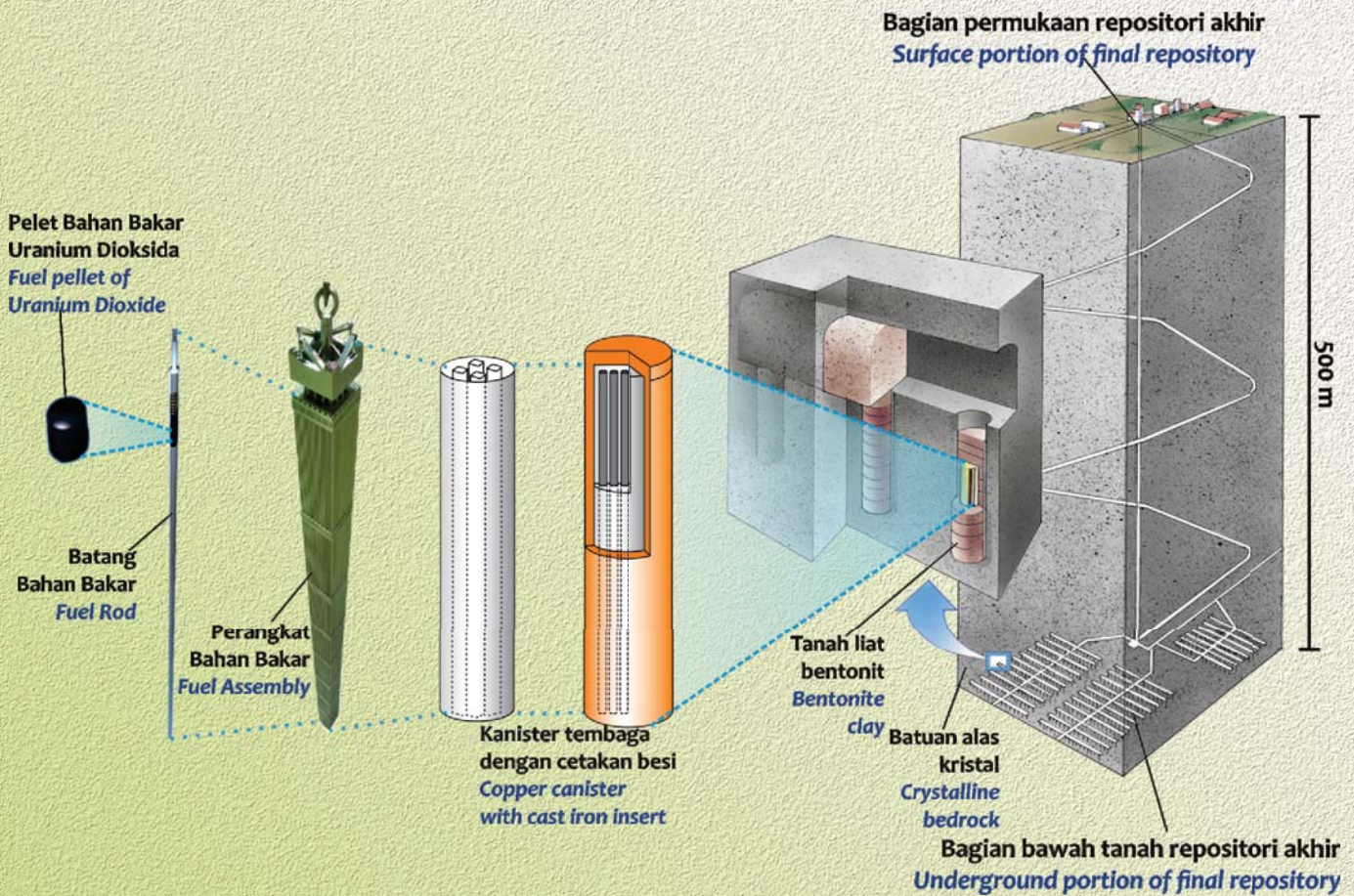
Confinement of high level nuclear waste requires that the waste is in solid form, resistant to reaction, and insoluble because it has to be withstand for thousands of years. Currently borosilicate glass materials have been chosen as storage media for high-level waste. The stability of this material reaches thousands of years, so that it is suitable for special handling of high level nuclear waste. Vitrification process is used for not only spent fuel, but also for waste reprocessing of spent fuel. This process is used in France, Japan, Russia, UK and USA, whose waste is mostly from the waste of spent fuel reprocessing.

Sumber gambar/*Source of picture:*

http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/Nuclear_Fuel_Cycle/Nuclear_Wastes/Appendicies/cement.jpg

<http://www.irsn.fr/dechets/dechets-radioactifs/PublishingImages/dechets-vitrifies.jpg>

http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/Nuclear_Fuel_Cycle/Nuclear_Wastes/Appendicies/compaction.jpg



Sumber gambar/Source of picture:
<http://www.stormsmith.nl/Resources/kbs3v2kopie.jpeg>
<http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/PWR%20fuel%20assembly.jpg>

PENYIMPANAN LESTARI/ GEOLOGICAL DISPOSAL REPOSITORY

Penyimpanan lestari adalah penyimpanan limbah nuklir tingkat tinggi secara permanen di dalam tanah pada kedalaman tertentu untuk jangka waktu yang lama. Setiap negara atau regional yang meliputi beberapa negara, seperti Uni Eropa, pada umumnya membentuk asosiasi atau kolaborasi dalam pengelolaan penyimpanan lestari limbah nuklir ini.

Geological disposal repository is final and permanent storage of high level nuclear waste under ground at a certain depth for long period of time. Each country or region that includes some countries, such as the European Union established association or collaboration for sustainable management of nuclear waste final disposal.

Negara Uni Eropa memutuskan untuk mendirikan sebuah Organisasi Pengembangan Repository Eropa (ERDO) untuk berkolaborasi pada pembuangan limbah nuklir. Kawasan Timur Tengah dan Afrika Utara, serta Asia Tenggara juga mengikuti metode Uni Eropa. Amerika memiliki fasilitas ini secara mandiri tanpa terikat dengan negara lainnya.

EU countries decided to establish a European Repository Development Organisation (ERDO) to collaborate on nuclear waste disposal. The Middle East and North Africa, and Southeast Asia also use similar method developed by the European Union. The United States of America (USA) have independent facility independently without any binding to other countries.

Setiap fasilitas penyimpanan limbah lestari berada dibawah pengawasan *Non-Proliferation Treaty* (NPT) nuklir. Kepercayaan terhadap negara tuan rumah merupakan dasar untuk penerimaan proyek NPT untuk semua negara selain India, Pakistan, Israel dan Korea Utara. Perjanjian internasional yang dihasilkan oleh IAEA dan ditandatangani oleh banyak negara di dunia pada tahun 1997 meliputi pengelolaan dan pembuangan BBN bekas tingkat tinggi dan mengharuskan fasilitas *host* atau sistem memenuhi standar nasional dan internasional tertinggi. Bahkan Australia memiliki kebutuhan untuk pembuangan yang aman dari limbah radioaktif berumur panjang dari reaktor riset .

Each geological disposal repository is under the supervision of the Nuclear Non-Proliferation Treaty (NPT). The trust to the host country is fundamental for NPT project acceptance for all countries, except India, Pakistan, Israel and North Korea. The international agreement declared by the IAEA and signed by many countries in the world in 1997 includes the management and disposal of high-level spent fuel and requires host facility or system to meet the highest national and international standards. Even Australia has a need for the safe disposal of long-lived radioactive waste from their research reactors.



Pengawasan & Pencegahan
Surveillance & Prevention



Zat Radioaktif
Radioactive Material



Senjata Nuklir
Nuclear Weapon

KEBIJAKAN IAEA TERHADAP PENYIMPANAN LESTARI/ IAEA POLICY ON DISPOSAL REPOSITORY

Saat ini lebih dari 50 negara telah menghabiskan bahan bakar yang disimpan di lokasi sementara, menunggu proses ulang atau penyimpanan akhir. Tidak setiap negara memiliki kondisi geologi yang sesuai untuk penyimpanan lestari.

Nowadays, more than 50 countries have spent fuel stored in temporary storage, awaiting for reprocessing or final disposal. Not every country has suitable geological conditions for disposal repository.

Kebijakan IAEA terkait penyimpanan lestari memberikan persyaratan yang ketat, yaitu penyimpanan lestari harus mencapai keamanan yang tinggi yaitu:

- ★ Harus bisa memastikan bahwa zat radioaktif secara permanen dijauhkan dari lingkungan manusia.
- ★ Harus mampu meningkatkan keamanan global dengan cara mencegah pencurian dan penggunaan secara ilegal bahan fisil dan bahan radiologi pada limbah nuklir.

The IAEA's policies related to geological disposal repository providestrict requirements, i.e. disposal repository should have high security, namely:

- ★ *It should be ensured that radioactive material is permanently kept out from the human environment.*
- ★ *It should be ensured that the final waste disposal enhances global security by preventing the theft and illegal use of fissile material and radiological material from the nuclear waste.*

IAEA akan mendukung bentuk kerjasama internasional maupun regional terkait fasilitas penyimpanan lestari ini dengan syarat kerjasama tersebut di dalam naungan dan pengawasan IAEA. Negara yang ditetapkan sebagai lokasi penyimpanan lestari harus mampu membuktikan kepada IAEA bahwa formasi geologi dari calon lokasi bersifat stabil untuk menjaga kepercayaan internasional.

IAEA will support international and relevant regional cooperation related to geological disposal repository under the condition that such cooperation is under the auspices and supervision of the IAEA. Countries designated as the host of geological disposal repository must be able to prove to the IAEA that the geological formation of the candidate sites is stable to maintain international trust.

Saat ini penyimpanan secara geologi adalah solusi yang paling efektif karena penyimpanan ini memberikan jaminan untuk jangka panjang dan lebih aman dari risiko pencurian dan penggunaan ilegal dari limbah tersebut.

Currently geological repository is the most effective solution because it ensures long-term storage and more secured from theft and unauthorized use of the waste.

Sumber gambar/*Source of picture:*

<https://www.iaea.org/technicalcooperation/images/Logos/IAEA.jpg>

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/64/b6/7c/64b67ceabcb952bf0ce2a8853454cc99.jpg>

http://www.nuclearweaponsfree.org/wp-content/uploads/2015/12/nuclear_weapons.jpg



batan



BAB 3 / Chapter 3

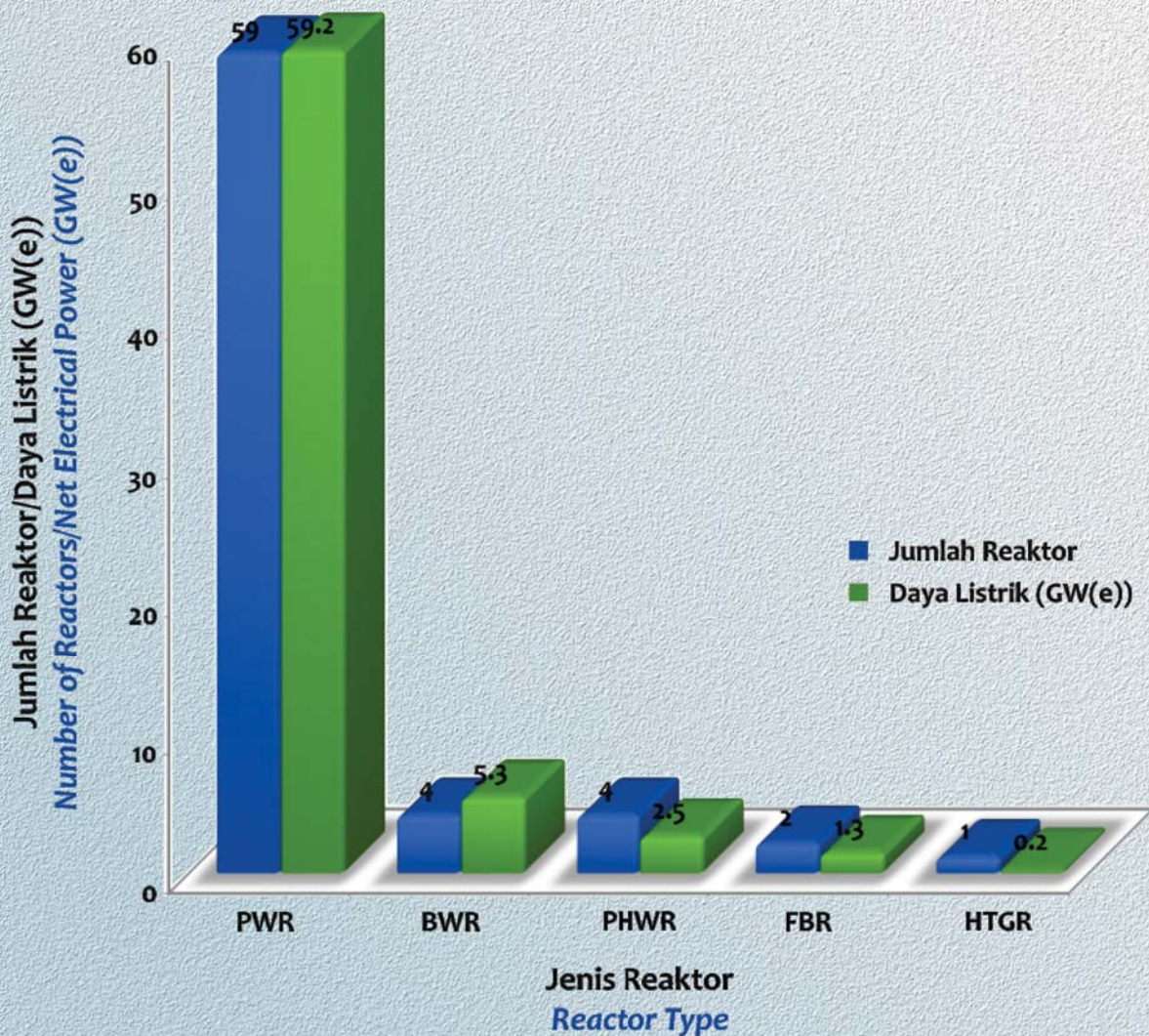
Pemilihan Teknologi PLTN untuk Indonesia *NPP Technology Selection for Indonesia*

• Pangsa PLTN di Dunia/ <i>World NPP Share</i>	30
• Proyeksi PLTN IAEA/ <i>IAEA Projection for NPP</i>	35
• PLTN Kapasitas Besar Jenis LWR/ <i>Large Scale NPP for LWR Type</i>	36
• PLTN Kapasitas Besar Jenis PHWR/ <i>Large Scale NPP for PHWR Type</i>	38
• PLTN Skala Kecil & Menengah/ <i>Small Medium Reactor</i>	40
• Kelayakan PLTN Skala Besar/ <i>Feasibility of Large Scale NPP</i>	45
• Kelayakan PLTN Kecil & Menengah/ <i>Feasibility of SMR</i>	46
• Tapak Potensial PLTN Skala Besar/ <i>Potential Site for Large Scale NPP</i>	48
• Tapak Potensial PLTN Skala Kecil & Menengah/ <i>Potential Site for SMR</i>	50

PANGSA PLTN DI DUNIA (1)/ WORLD NPP SHARE (1)

Jumlah PLTN di dunia berdasarkan laporan resmi IAEA tahun 2015 sebanyak 438 unit dalam kondisi beroperasi dan 70 unit dalam masa konstruksi. PLTN yang beroperasi terdiri dari 277 unit PWR, 80 unit BWR, 15 unit GCR, 49 unit PHWR, 15 unit LWGR, dan 2 unit FBR. PLTN yang berada dalam masa konstruksi terdiri dari 59 unit PWR, 4 unit BWR, 4 unit PHWR, 2 unit FBR, dan 1 unit HTGR.

The number of NPP in the world based on the 2015's IAEA official reports is as many as 438 units in operating conditions and 70 units under construction. The operating NPP consists of 277 units of PWR, 80 units BWR, 15 units GCR, 49 units PHWR, 15 units LWGR, and 2 units of FBR. The NPP under construction phase consists of 59 units of PWR, 4 units of BWR, 4 units of PHWR units, 2 units of FBR, and 1 unit of HTGR.

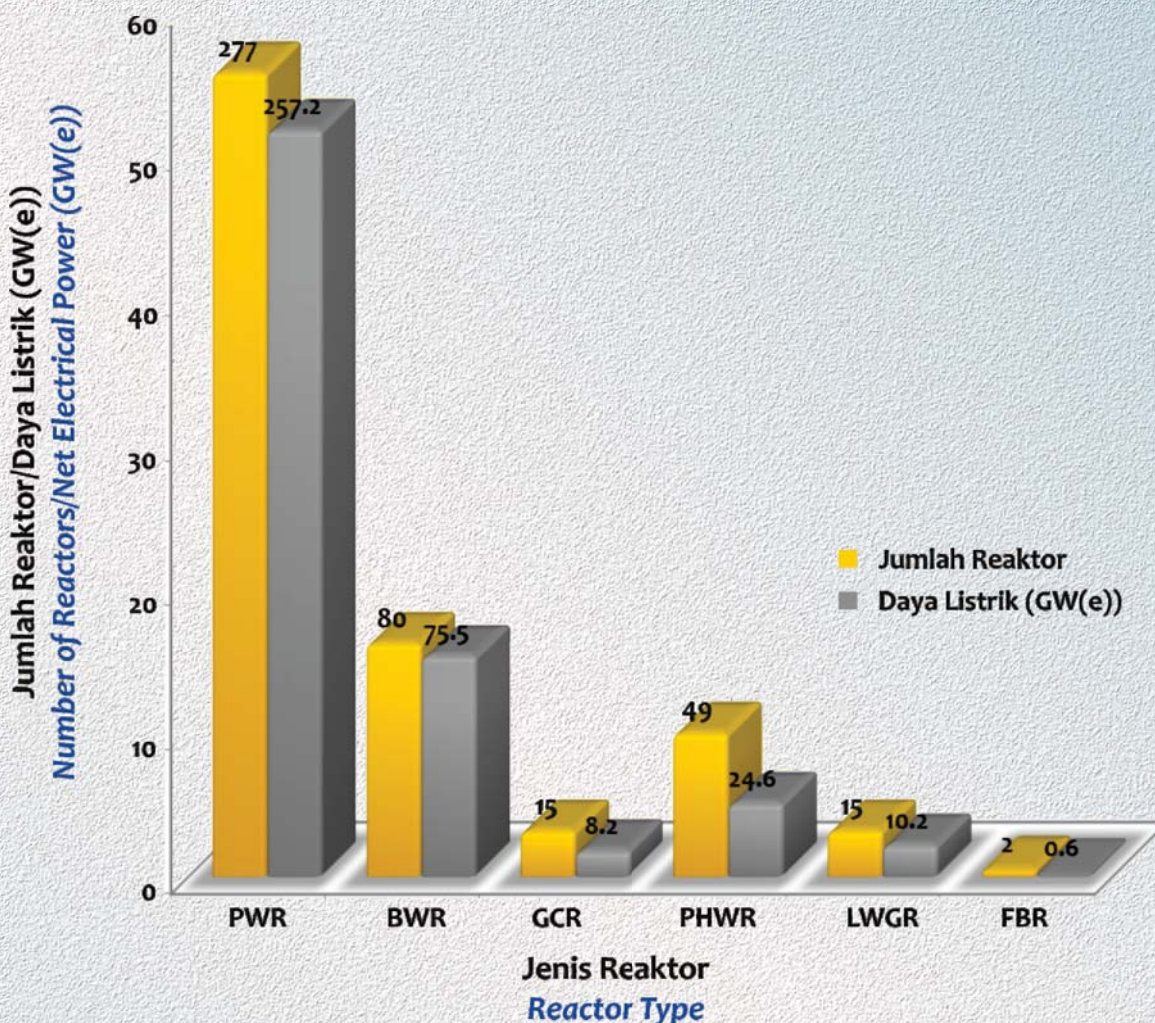


**Reaktor yang Sedang Dibangun Berdasarkan Jenis dan Daya Listrik
(31 Des.2014)**

**Reactor Under Construction by Type and Net Electrical Power
(as of 31 Dec.2014)**

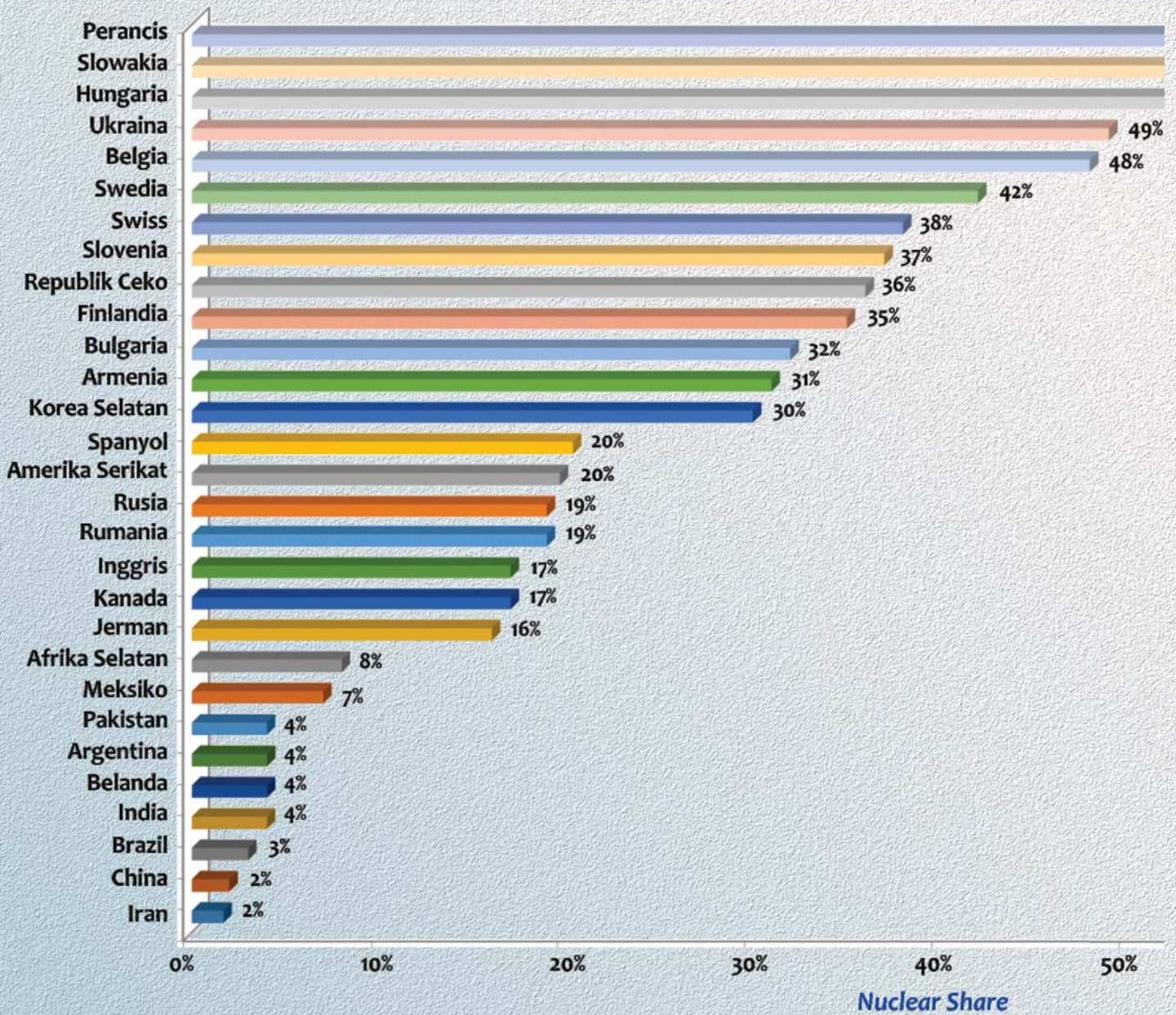
Total kapasitas untuk PWR yang beroperasi sebesar 267,2 GWe dan dalam masa konstruksi sebesar 59,2 GWe. BWR yang beroperasi sebesar 75,5 GWe dan dalam masa konstruksi sebesar 5,3 GWe. GCR yang beroperasi sebesar 8,2 GWe dan tidak ada yang dalam masa konstruksi. PHWR yang beroperasi sebesar 24,6 GWe dan dalam masa konstruksi sebesar 2,5 GWe. LWGR yang beroperasi sebesar 10,2 GWe. FBR yang beroperasi sebesar 0,6 GWe dan dalam masa konstruksi sebesar 1,3 GWe. HTGR komersial belum ada yang beroperasi tetapi China sedang membangun 2 unit berkapasitas total 200 MWe.

The total capacity is 267.2 GWe for the operating PWR and 59.2 GWe for the under construction PWR. The BWR in operation has total capacity of 75.5 GWe and the BWR under construction has total capacity of 5.3 GWe. Meanwhile, the total capacity of GCR is 8.2 GWe for the operating units and none for the under construction units. The total capacity is 24.6 GWe and 2.5 GWe for the units in operation PHWR and for the units under construction PHWR, respectively. The LWGR in operation has of 10.2 GWe of total capacity. There is 0.6 GWe of total capacity for the FBR in operation and is 1.3 GWe for under construction. For commercial HTGR type, no unit is in operation but China is constructing 2 unit total capacity of 200 MWe.



Reaktor yang Beroperasi Berdasarkan Jenis dan Daya Listrik
(31 Des.2014)

Number of Operational Reactor by Type and Net Electrical Power
(as of 31 Dec.2014)



Bagian Nuklir dalam Pembangkit Listrik (31 Des. 2014)
Nuclear Share of Electricity Generation (as of 31 Dec.2014)

PANGSA PLTN DI DUNIA (2)/ WORLD NPP SHARE (2)

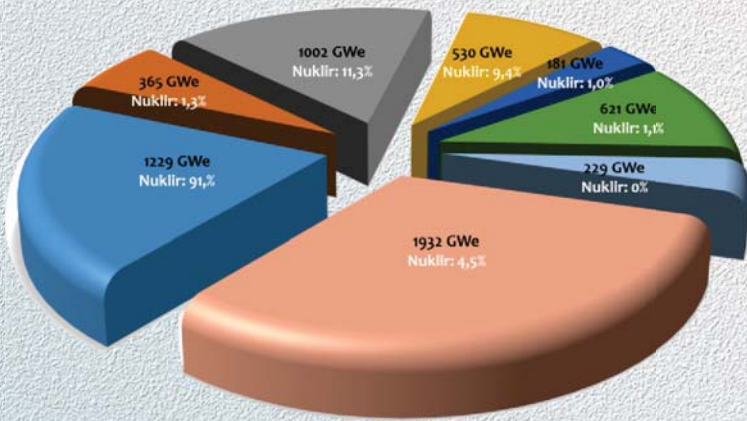


Pangsa PLTN terhadap seluruh pembangkit listrik untuk setiap negara bervariasi dimana untuk Perancis sebesar 70%, Amerika Serikat sebesar 20%, India sebesar 4%, Brazil sebesar 3%, dan Tiongkok sebesar 2%. Untuk status Jepang belum ada data yang dirilis secara resmi karena masih menunggu hasil kajian keselamatan untuk setiap PLTN pasca terjadinya gempa dan tsunami di Fukushima.

The share of NPP compared to the entire power generation varies for each country. The NPP share is 70% for France, 20% for USA, 4% for India, 3% for Brazil, and 2% for China. For Japan, no data is available as the result of the safety assessment for each nuclear power plant after the earthquake and tsunami in Fukushima has not been released.

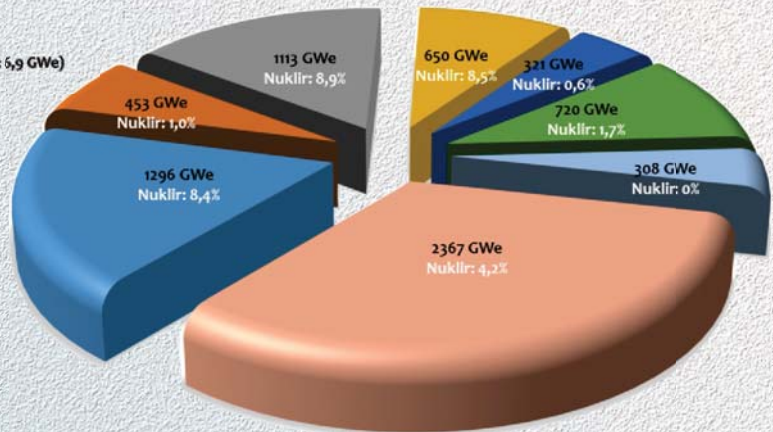
60% 70% 80%

Total Daya Listrik pada tahun 2014
Total Electricity in 2014



- Amerika Utara (Nuklir : 112,1 GWe)
- Eropa Barat (Nuklir : 112,7 GWe)
- Afrika (Nuklir : 1,9 GWe)
- Asia Tenggara dan Pasifik (Nuklir 0 GWe)
- Amerika Latin (Nuklir : 4,8 GWe)
- Eropa Timur (Nuklir : 49,7 GWe)
- Timur Tengah dan Asia Selatan (Nuklir : 6,9 GWe)
- Timur Jauh (Nuklir : 87,1 GWe)

Total Daya Listrik pada tahun 2020
Total Electricity in 2020



- Amerika Utara (Nuklir : 108,3 GWe)
- Eropa Barat (Nuklir : 99 GWe)
- Afrika (Nuklir : 1,9 GWe)
- Asia Tenggara dan Pasifik (Nuklir 0 GWe)
- Amerika Latin (Nuklir : 4,5 GWe)
- Eropa Timur (Nuklir : 55,2 GWe)
- Timur Tengah dan Asia Selatan (Nuklir : 12 GWe)
- Timur Jauh (Nuklir : 98,7GWe)

IAEA telah membuat proyeksi kapasitas total PLTN di dunia sampai tahun 2050. Tahun 2020 diproyeksikan total kapasitas PLTN sebesar 379,5 GWe dengan pangsa sebesar 5,3% terhadap keseluruhan kapasitas pembangkit listrik untuk skenario rendah. Adapun untuk skenario tinggi IAEA menetapkan total kapasitas PLTN sebesar 440,9 GWe dengan pangsa sebesar 5,7 % dari keseluruhan kapasitas pembangkit listrik.

The IAEA has made a projection of the total capacity of nuclear power plants in the world by 2050. By 2020 the total capacity of NPP is projected to reach 379.5 GWe with a share of 5.3% to the total electricity generation capacity for the low scenario. As for the high scenario, IAEA sets a total capacity of 440.9 GWe of nuclear power plants with a share of 5.7% of the total electricity generation capacity.

Untuk tahun 2030 diproyeksikan total kapasitas PLTN sebesar 385,3 GWe untuk skenario rendah dengan pangsa sebesar 3,8% dari keseluruhan kapasitas pembangkit listrik. Adapun untuk skenario tinggi IAEA menetapkan total kapasitas PLTN sebesar 631,8 GWe dengan pangsa sebesar 5,1% dari keseluruhan kapasitas pembangkit listrik.

By 2030 the projected total capacity of nuclear power plants is 385.3 GWe for the low scenario with a share of 3.8% of the total electricity generation capacity. As for the high scenario IAEA defines 631.8 GWe of the total capacity of nuclear power plants with a share of 5.1% of the total electricity generation capacity.

PROYEKSI PLTN IAEA/ IAEA PROJECTION FOR NPP

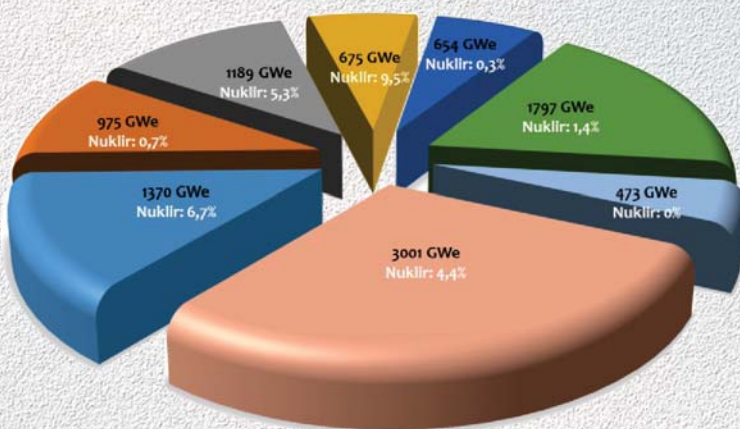
Tahun 2050 diproyeksikan total kapasitas PLTN sebesar 371 GWe untuk skenario rendah dengan pangsa sebesar 1,8% dari keseluruhan kapasitas pembangkit listrik. Adapun untuk skenario tinggi IAEA menetapkan total kapasitas PLTN sebesar 964 GWe dengan pangsa sebesar 4,8% dari keseluruhan kapasitas pembangkit listrik.

By 2050 the total capacity is projected as high as 371 GWe of NPPs for the low scenario with a share of 1.8% of the total electricity generation capacity. Meanwhile, for the high scenario IAEA sets capacity total of 964 GWe of NPP with a share of 4.8% of the total electricity generation capacity.

Proyeksi kapasitas PLTN skenario rendah tahun 2050 lebih rendah dibandingkan 2030 karena diperkirakan terjadinya pertumbuhan minus PLTN. Hal ini dikarenakan kebijakan setiap negara untuk membatasi jumlah PLTN dan mendorong pemanfaatan energi baru dan terbarukan selain nuklir.

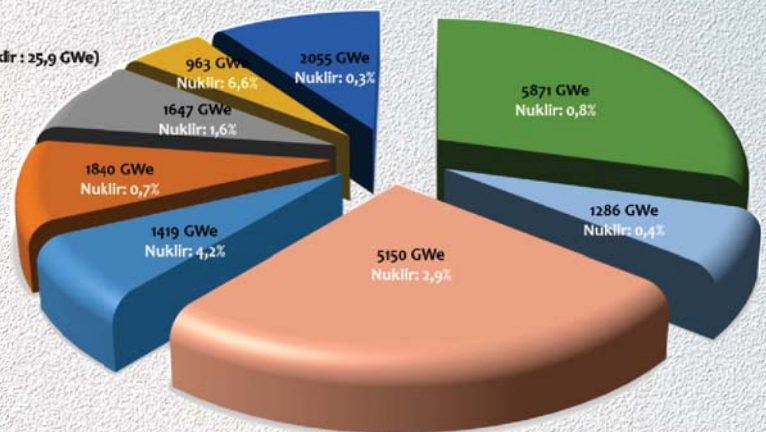
The projected capacity of the low scenario NPP by 2050 is lower than that by 2030 due to the expected negative growth of nuclear power plants. This term is caused by the policy of some states to limit the number of NPP and endorse more to the use of new and renewable energy other than nuclear.

Total Daya Listrik pada tahun 2030
Total Electricity in 2030



- Amerika Utara (Nuklir : 92 GWe)
- Eropa Barat (Nuklir : 62,7 GWe)
- Afrika (Nuklir : 1,9 GWe)
- Asia Tenggara dan Pasifik (Nuklir 0 GWe)
- Amerika Latin (Nuklir : 6,8 GWe)
- Eropa Timur (Nuklir : 64,1 GWe)
- Timur Tengah dan Asia Selatan (Nuklir : 25,9 GWe)
- Timur Jauh (Nuklir : 131,8 GWe)

Total Daya Listrik pada tahun 2050
Total Electricity in 2050



- Amerika Utara (Nuklir : 60 GWe)
- Eropa Barat (Nuklir : 27 GWe)
- Afrika (Nuklir : 7 GWe)
- Asia Tenggara dan Pasifik (Nuklir 5 GWe)
- Amerika Latin (Nuklir : 13 GWe)
- Eropa Timur (Nuklir : 63 GWe)
- Timur Tengah dan Asia Selatan (Nuklir : 48 GWe)
- Timur Jauh (Nuklir : 149 GWe)

PLTN KAPASITAS BESAR JENIS LWR *LARGE SCALE NPP FOR LWR TYPE*

PLTN kapasitas besar adalah PLTN dengan kapasitas 600 MWe atau lebih besar. PLTN kapasitas besar untuk jenis LWR (PWR dan BWR) terdapat beberapa jenis antara lain AP 1400, APR+ (KHNP), VVER1200, VVER1500, ACP600 dan ACPR1000+.

Large scale NPP is a nuclear power plant with a capacity of 600 MWe or larger. There are several types of design of large scale LWR (PWR and BWR) i.e. AP 1400, APR+ (KHNP), VVER1200, VVER1500, ACP600 and ACPR1000+.

AP1400 merupakan evolusi dari AP1000 yang didesain oleh SNPTC dan SNERDI, Tiongkok. Desain ditujukan untuk daya 1520 MWe dan merupakan PWR 2 untai dengan teknologi sistem pasif.

AP1400 is an evolution of the AP1000 designed by SNPTC and SNERDI, China. This design is intended to have power the 1520 MWe and is a two-loop PWR with a passive system technology.

APR+ merupakan versi Generasi III+ APR1400 (yang sudah dibangun di Korea dan sedang dibangun di UEA) dikembangkan oleh KHNP, Korea. Desain jenis ini telah diselesaikan dan optimalisasi dilakukan pada tahun 2013-2015, selanjutnya akan dipasarkan ke luar Korea.

APR+ is the Generation III+ of APR1400 version developed by KHNP, Korea. This type of design has been completed. Its optimization was carried out in 2013 - 2015. It is now ready to be marketed outside Korea.

VVER-1200A/501 merupakan konsep dari perkembangan Generasi III+ untuk desain VVER-1200 AES-2006 yang menggunakan 2 untai dengan kemampuan pembangkit uap yang lebih besar.

VVER-1200A/501 is a concept of the development of Generation III+ to design AES-1200 VVER-2006 which uses two loops with greater steam generator capacity.

VVER-1500 merupakan PWR 4 untai yang mempunyai daya 4250 MWt/1560 MWe dengan pengungkung ganda. Desain ini mempunyai sistem pemindah panas pasif di pengungkung primer melalui media udara.

VVER-1500 is a 4-loop PWR that has power of 4250 MWT/1560 MWe with a double containment. This design has a passive heat removal system in the primary containment through the medium of air.





PLTN KAPASITAS BESAR JENIS LWR

ACP600 adalah PWR Generasi III yang didesain oleh CNNC Tiongkok. AC600 merupakan pengembangan teknologi dari tipe CNP dengan kriteria PWR Generasi III/III+.

ACP600 is the third generation PWR designed by CNNC China. AC600 is development of the technology of CNP type with Generation III/III+ PWR criteria.

ACPR 1000+ merupakan desain berbasis CPR1000 yaitu PWR berdaya 1150 MWe yang dikembangkan CGNPC, Tiongkok.

ACPR 1000+ is designed based on CPR1000 design, i.e. 1150 MWe PWR developed by CGNPC, China.

Sumber gambar/Source of picture:

http://www.htmldrive.net/edit_media/2010/201011/20101103/cssimagemaps/images/map.png

<http://cdn9.staztic.com/app/a/2740/2740519/rosatom-vver1200-18-1-s-307x512.jpg>

http://www.thehindubusinessline.com/multimedia/dynamic/01434/kudan_jpg_1434528f.jpg

<http://1.bp.blogspot.com/-ipDJntuq5tY/UE0PSSeQXfl/AAAAAAAAAB94/W8VNvLWsJuM/s1600/Ulchin.jpg>

<http://www.businesskorea.co.kr/sites/default/files/field/image/APR1400.jpg>



PLTN KAPASITAS BESAR JENIS PHWR

*Advanced Heavy Water Reactor (AHWR) yang didesain oleh Bhabha Atomic Research Centre (BARC) merupakan reaktor air berat bertekanan berdaya 920 MWt (340 Mwe). AHWR didesain dengan bahan bakar uranium-233/thorium-232 oksida bersamaan dengan plutonium-thorium oksida, dan ditujukan untuk reaksi fisi secara swa-lanjut (*self-sustaining*) dalam uranium-233.*

AHWR designed by Bhabha Atomic Research Centre (BARC) is a pressurized heavy water reactor with power of 920 MWt (340 Mwe). AHWR is designed with fuel uranium-233/thorium-232 oxide as fuel together with plutonium-thorium oxide, and is intended to generate self-sustainable fission reaction in uranium-233.

Konstruksi pertama AHWR direncanakan tahun 2014 dan operasi awal sekitar tahun 2019. Pada tahun 2012 AHWR masih merupakan tahapan desain dasar. AHWR mempunyai 452 kanal pendingin primer yang berisi air berat dengan menggunakan kalandria secara vertikal (tipe PHWR pada umumnya menggunakan kalandria secara horisontal), tetapi pendingin primer menggunakan air ringan.

The AHWR first construction was planned in 2014 and the initial operation would be around 2019. In 2012 AHWR was still in basic design. AHWR has 452 primary coolant channels, which contain heavy water using vertical calandria (PHWR type generally uses horizontal calandria), but it utilizes light water as primary coolant.



AHWR



Panas reaktor dipindahkan melalui sistem pasif yang terdiri atas isolation condenser yakni yang dibenamkan dalam tangki 6000 m³ (*Gravity Driven Water Pool, GDWP*), yang mampu mendinginkan teras untuk 3 hari. Pendingin penguang juga menggunakan sistem pasif.

Reactor heat is transferred through a passive system consisting of isolation condenser that is installed in a tank of 6000 m³ (Gravity Driven Water Pool, GDWP), which is able to cool the reactor core for 3 days. Containment cooling also uses passive systems.

Jenis reaktor ini didesain dengan penguang ganda dan tekanan negatif di annulus diantara dua penguang tersebut dijaga tetap negatif. Frekuensi kerusakan teras desain sebesar 1 x 10⁸/reaktor tahun.

This reactor type is designed with double containment and the pressure in the annulus between the two containment is kept negative. The designed core failure frequency is 1 x 10⁸/reactor year.

Sumber gambar/*Source of picture:*
http://www.htmldrive.net/edit_media/2010/201011/20101103/cssimagemaps/images/map.png
http://www.atominfo.ru/news/air5294_1.jpg

PLTN BERSKALA KECIL & MENENGAH (1)/ SMALL AND MEDIUM REACTOR (1)

PLTN daya kecil dan menengah yang umumnya disebut *Small and Medium Sized Reactors* (SMR) meliputi beberapa jenis PLTN, seperti tipe HTGR, FBR, PHWR, BWR dan PWR. Inovasi SMR dapat bersifat modular dan integral. Pembangunan secara modular adalah instalasi peralatan PLTN menggunakan modul yang sudah difabrikasi sebelumnya sehingga konstruksinya dapat dilaksanakan lebih cepat.

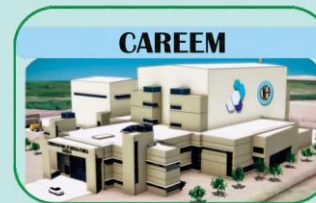
Small and medium power NPP, which is commonly called Small and Medium Sized Reactors (SMR), include several types of NPP, such as HTGR, FBR, PHWR, BWR and PWR. Innovative SMR can be modular and integral. Modular construction is the installation of NPP components in modules that have been already fabricated in advance so that the construction carried more rapidly.

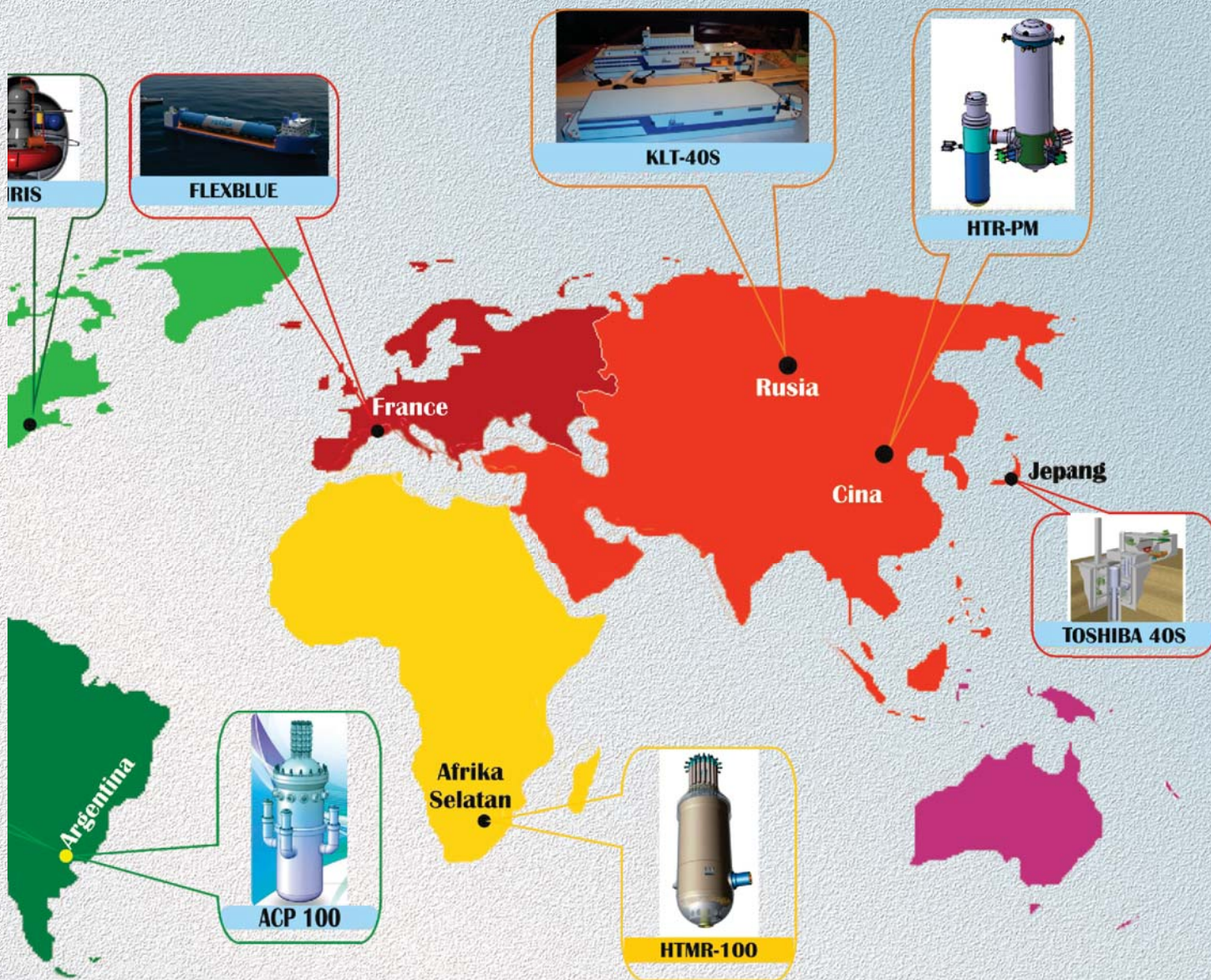
Beberapa jenis SMR antara lain, TOSHIBA 4S yang disebut juga "nuclear battery", yakni PLTN tipe FBR Generasi IV berpendingin natrium. Kapasitasnya adalah 10 MWe dan masa *refueling*-nya setiap 10 sampai 13 tahun. ACP100 adalah SMR tipe PWR modular Generasi III dengan daya 100 sampai 150 Mwe. Jenis reaktor ini dikembangkan oleh CNNC. CAREM adalah iPWR modular Generasi III+ dengan daya 27 MWe buatan *Argentinean National Energy Commission* (CNEA).

Some types of SMR are TOSHIBA 4S that is usually called "nuclear battery", the fourth generation FBR type of NPP and cooled by sodium. Its capacity is 10 MWe and its refueling is every 10 to 13 years. ACP100 is a modular SMR of the Generation III PWR type with capacity of 100 to 150 MWe. This reactor type is developed by CNNC. CAREM is a modular Generation III+ iPWR with capacity of 27 MWe, which is designed by Argentinean National Energy Commission (CNEA).

FLEXBLUE adalah SMR tipe PWR Generasi III dengan daya 160 MWe buatan *Direction des Constructions Navales Services* (DCNS), Prancis. HTMR-100 adalah modular SMR tipe HTGR. Reaktor dengan daya 35 MWe ini diklasifikasikan sebagai reaktor Generasi IV yang dikembangkan oleh Afrika Selatan. HTR-PM adalah SMR modular tipe HTGR Generasi IV yang dikembangkan oleh Universitas Tsinghua, Tiongkok. Sepasang atau dua modular reaktor HTR-PM dengan kapasitas 2x250 MWth dilayani oleh satu turbin-generator. IRIS adalah SMR tipe PWR Generasi III+ yang dikembangkan oleh konsorsium 10 negara. KLT-40S adalah SMR terapung modular dari tipe PWR yang memiliki daya 35 MWe. Reaktor ini didesain oleh Rusia dan akan beroperasi pada tahun 2017.

FLEXBLUE is an SMR Generation III PWR with capacity of 160 MWe and is designed by Direction des Constructions Navales Services (DCNS), France. HTMR-100 is a modular SMR of HTGR type. This 35 MWe reactor is classified as Generation IV design developed by South Africa. HTR-PM is a modular SMR of Generation IV HTGR designed by Tsinghua University, China. A couple or two modules of HTR-PM with capacity of 2x250 MWe are served by one turbine-generator. IRIS is an SMR of Generation III+ PWR type developed by a consortium of 10 countries. KLT-40S is a floating-modular SMR of PWR whose capacity is 35 MWe. This reactor is designed by Russian and will be operational in 2017.





PLTN BERSKALA KECIL DAN MENENGAH (SMR)

Sumber gambar/Source of picture:

http://www.htmldrive.net/edit_media/2010/201011/20101103/cssimagemaps/images/map.png

https://www.uxc.com/smr/uxc_SMRDetail.aspx?key=ACP100

<http://las-ans.org.br/Papers%202013/5%20Calzetta.pdf>

http://u.smedata.sk/blogidnes/article/8/48/480358/480358_article_photo_fxClmc0_600x.jpeg?r=05e

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/fd/Floating_Nclear_Power_Plant_model.jpg/300px-Floating_Nclear_Power_Plant_model.jpg

<https://img1.steamit.com/0x0/http://i.imgur.com/l2Pux1E.jpg>

<http://www.mdpi.com/2071-1050/4/8/1806/htm>

https://www.researchgate.net/profile/Mirco_Di_Giuli/publication/277707370/figure/fig1/AS:333548734173184@1456535623243/fig-2-IRIS-reactor-configuration.jpg

PLTN BERSKALA KECIL & MENENGAH (2)/ SMALL AND MEDIUM REACTOR (2)



PLTN BERSKALA KECIL DAN MENENGAH (SMR)

Sumber gambar/Source of picture:

http://www.htmldrive.net/edit_media/2010/201011/20101103/cssimagemaps/images/map.png

http://www.nuscalepower.com/images/aboutus/nuscale-plant-site-a-aerial-view-oct2015_banner.jpg

http://www.efn-uk.org/nuclear/reactors/index_files/stacks_image_1322.jpg

<http://cdn.newsapi.com.au/image/v1/bddfcd680137ae7713b9c5111eb070bd?width=650>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/59/Supercritical-Water-Cooled_Reactor.svg/2000px-Supercritical-Water-Cooled_Reactor.svg.png

<https://www.uxc.com/smr/images/SMART.jpg>

<http://www.bechtel.com/getmedia/0b096bc6-6b6d-444a-8971-5128cfa05bb/152182-bechtel-watts-bar-2-power-plant-aerial-2013/?width=975&height=650&ext=.jpg>

<http://www.nextbigfuture.com/2015/05/us-startup-x-energy-developing.html>

Beberapa jenis SMR lainnya adalah M-POWER, NU-SCALE, RITM-200, SMART, S-PRISM, SVBR-100, VVER-300, Westinghouse SMR, dan Xe-100. M-POWER adalah reaktor modular 530 MWt/180 MWe, tipe PWR, Generasi III+. Reaktor ini dikembangkan oleh perusahaan *Generation mPower LLC* (mayoritas saham dimiliki oleh *Babcock & Wilcox Nuclear Energy, Inc.*), Amerika Serikat..



Some other types of SMR are M-POWER, NU-SCALE, RITM-200, SMART, S-PRISM, SVBR-100, VVER-300, Westinghouse SMR, and Xe-100. M-POWER is the modular reactor of Generation III+ PWR type having capacity of 530 MWt/180 MWe. This reactor is developed by Generation Mpower LLC by Babcock & Wilcox Nuclear Energy, Inc., USA.

NU-SCALE adalah SMR tipe iPWR Generasi III+ dengan daya 45 MWe per-modul yang didesain oleh *NuScale Power Inc*, Amerika Serikat. RITM-200 adalah SMR tipe PWR Generasi III didesain oleh OKBM Afrikantov, Rusia. Reaktor dengan daya 55 MWe ini dirancang untuk pengisian ulang bahan bakar setiap 7 tahun. SMART adalah PLTN tipe iPWR Generasi III modular dengan daya 100 MWe yang dikembangkan oleh KAERI (*Korean Atomic Energy Research Institute*) Korea Selatan. S-PRISM adalah PLTN tipe FBR Generasi IV buatan GE Hitachi Nuclear Energy (GEH), Jepang. S-PRISM memiliki daya 311 MWe.

NU-SCALE is a 45 MWe SMR of Generation III+ iPWR that is designed by NuScale Power Inc., USA. RITM-200 is an SMR of Generation III PWR designed by OKBM Afrikantov, Russia. This 55 MWe reactor is designed to have refueling every 7 years. SMART is a modular SMR of the Generation III iPWR type capacity of 100 MWe and is developed by KAERI (Korean Atomic Energy Research Institute) South Korea. S-PRISM is an FBR of the Generation IV reactor developed by GE Hitachi Nuclear Energy (GEH), Japan. S-PRISM has capacity of 311 MWe.

SVBR-100 adalah tipe FBR modular Generasi IV reaktor dengan daya 100 MWe. SVBR-100 dikembangkan oleh AKME Engineering, Rusia. VVER-300 adalah reaktor tipe PWR kecil dengan daya 300 MWe yang didesain oleh OKB Hidropress, Rusia untuk masa layanan 60 tahun. Westinghouse SMR adalah iPWR modular Generasi III berdaya 225 MWe buatan Westinghouse, Amerika Serikat. Xe-100 adalah PLTN tipe HTGR Generasi IV modular dengan daya 100 MWe yang didesain oleh X-Energy, Amerika Serikat.

SVBR-100 is a modular FBR of Generation IV reactors with a power of 100 MWe. SVBR-100 was developed by AKME Engineering, Rusia. VVER-300 is a small PWR-type reactor with a power of 300 MWe designed by OKB GIDROPRESS, Russia for 60 years of operation. Westinghouse SMR is a modular SMR of the third generation iPWR with capacity of 225 MWe designed by Westinghouse, USA. Xe-100 is the fourth generation of modular HTGR with capacity of 100 MWe designed by X-Energy, USA.





Sumber gambar/Source of picture:

<http://www.pngall.com/environment-png>

<http://www.freeiconspng.com/uploads/performance-png-3.png>

<http://www.clipartkid.com/images/617/grass-page-17-1001freedownloads-com-gEVYYh-clipart.png>

https://rovicky.files.wordpress.com/2008/05/transmisi_listrik.jpg

http://images.clipartpanda.com/uniqueness-clipart-mine_with_coal_cart.png

https://pixabay.com/static/uploads/photo/2012/04/01/19/09/nuclear-24092_640.png

<http://www.clipartkid.com/images/25/sign-clip-art-no-background-clipart-panda-free-clipart-images-2Wzr0Q-clipart.png>

https://image.freepik.com/free-vector/colorful-people-communicating-with-speech-bubbles_23-2147491696.jpg

KELAYAKAN PLTN SKALA BESAR/ FEASIBILITY OF LARGE SCALE NPP

Kelayakan PLTN skala besar harus mempertimbangkan beberapa faktor utama antara lain, kondisi tapak, kapabilitas jaringan transmisi listrik, karakteristik dan kinerja teknis, siklus dan ketersediaan bahan bakar, dampak lingkungan, keamanan radiasi, biaya, dan isu negara pemilik teknologi.

The feasibility of large-scale NPP must consider several key factors, such as site characteristics, grid transmission network capabilities, technical characteristics and performance, and fuel cycle and availability, environmental impact, radiation safety, cost, and issues in technology holder countries.

Berdasarkan kondisi tapak dan kapabilitas jaringan transmisi listrik, PLTN besar lebih tepat untuk dibangun di pulau Jawa disepanjang pantai utara. Hal ini mempertimbangkan total kapasitas pembangkit listrik di Jawa lebih dari 31 GWe, dan risiko kegempaan dan kegunungapian yang lebih rendah. PLTN berskala besar juga dimungkinkan untuk dibangun di Pulau Sumatra di sepanjang pantai Timur, terlebih lagi khususnya untuk wilayah Bangka-Belitung.

Based on site conditions and the capabilities of the grid transmission network, the northern coast of Java island are more appropriate for large scale NPP to be located. This is because the total capacity of power plants in Java over 31 GWe, and lower risk of earthquakes and volcanoes. Large-scale NPP is also possible to be built along the east coast of Sumatra, even more especially for the region Bangka-Belitung.

Tipe PWR dan BWR merupakan PLTN berskala besar yang lebih tepat untuk dikembangkan di Indonesia, karena tipe ini telah terbukti (*proven*) di dunia untuk saat ini. Alasan lainnya adalah biaya yang kompetitif, dan ketersediaan bahan bakar yang aman karena adanya pasar uranium internasional.

PWR and BWR type is a large-scale NPP which is appropriate to be deployed in Indonesia because it has been proven nowadays in the world. The other reason is that it has competitive cost and secured availability of fuel supply due to international uranium market.

Terkait dengan isu keamanan radiasi dan dampak lingkungan, tipe PWR dan BWR yang menggunakan air sebagai pendingin sekaligus moderator telah terbukti dimanfaatkan oleh banyak negara karena operasinya mudah dan sederhana.

Related to the issues of radiation safety and environmental impact, PWR and BWR type, which use water as coolant and moderator has been operated by many countries because its operation is easy and simple.

KELAYAKAN PLTN KECIL & MENENGAH/ FEASIBILITY OF SMR

Faktor utama kelayakan PLTN SMR juga hampir mirip dengan PLTN skala besar, tetapi SMR lebih fleksibel terhadap wilayah yang memiliki kapabilitas jaringan transmisi listrik terbatas. Hal lain yang membuat SMR lebih fleksibel adalah biaya total pembangunan instalasinya yang lebih kecil dan waktu pembangunan yang lebih cepat dibandingkan dengan PLTN berskala besar.

The main factors of SMR NPP feasibility are almost similar to those of the large-scale nuclear power plants. However, SMR is more flexible towards areas with limited electricity transmission network capability. The other reason that makes SMR more flexible is its low total cost and faster construction than the large-scale nuclear power plants.

SMR dapat dibangun di wilayah Kalimantan, Sulawesi atau pulau-pulau lainnya yang terisolasi. Kalimantan diperkirakan mulai pada tahun 2030 telah siap untuk memasang pembangkit dengan kapasitas 100-200 MWe. Hal ini meningkatkan kelayakan pemanfaatan SMR untuk kelas 100 MWe di wilayah Kalimantan. Jika Jaringan transmisi antar propinsi di Kalimantan telah terkoneksi, maka pemanfaatan SMR akan meningkat.

SMR can be built in Kalimantan, Sulawesi or other isolated island. It is expected that Kalimantan is ready to install a nuclear power plant with capacity of 100-200 Mwe in 2030. It will increase the feasibility of the use of 100 MWe SMR in Kalimantan. If grid network in Kalimantan is interconnected, the use of SMR will be improved.

Jenis SMR yang lebih efektif untuk dikembangkan adalah HTGR dan FBR karena keduanya telah menggunakan teknologi Generasi IV yang lebih aman dan handal. Teknologi reaktor Nuklir Generasi IV yang diharapkan mulai beroperasi setelah tahun 2030. Hal ini akan menjadi momen yang tepat bagi Indonesia untuk membangun SMR dengan teknologi Generasi IV tersebut.

The SMR type that is more effective to be developed is HTGR and FBR as both have been using the fourth generation technology, which is more secure and reliable. The Generation IV nuclear reactor is expected to operate after 2030. It will be the right moment for Indonesia to build the SMR with the fourth-generation technology.

Kapasitas yang kecil dan waktu pembangunan instalasi yang cepat akan menjadikan SMR kompetitif dalam biaya pembangkitan listrik, sehingga Indonesia akan lebih mudah untuk menerimanya jenis reaktor ini.

A Small capacity and rapid construction period will make SMR more competitive in power generation cost, so that Indonesia will easily accept this type of reactor.

Sumber gambar/Source of picture:

<http://www.pngall.com/environment-png>

<http://www.freeiconspng.com/uploads/performance-png-3.png>

<http://www.clipartkid.com/images/617/grass-page-17-1001freedownloads-com-gEVYYh-clipart.png>

https://rovicky.files.wordpress.com/2008/05/transmisi_listrik.jpg

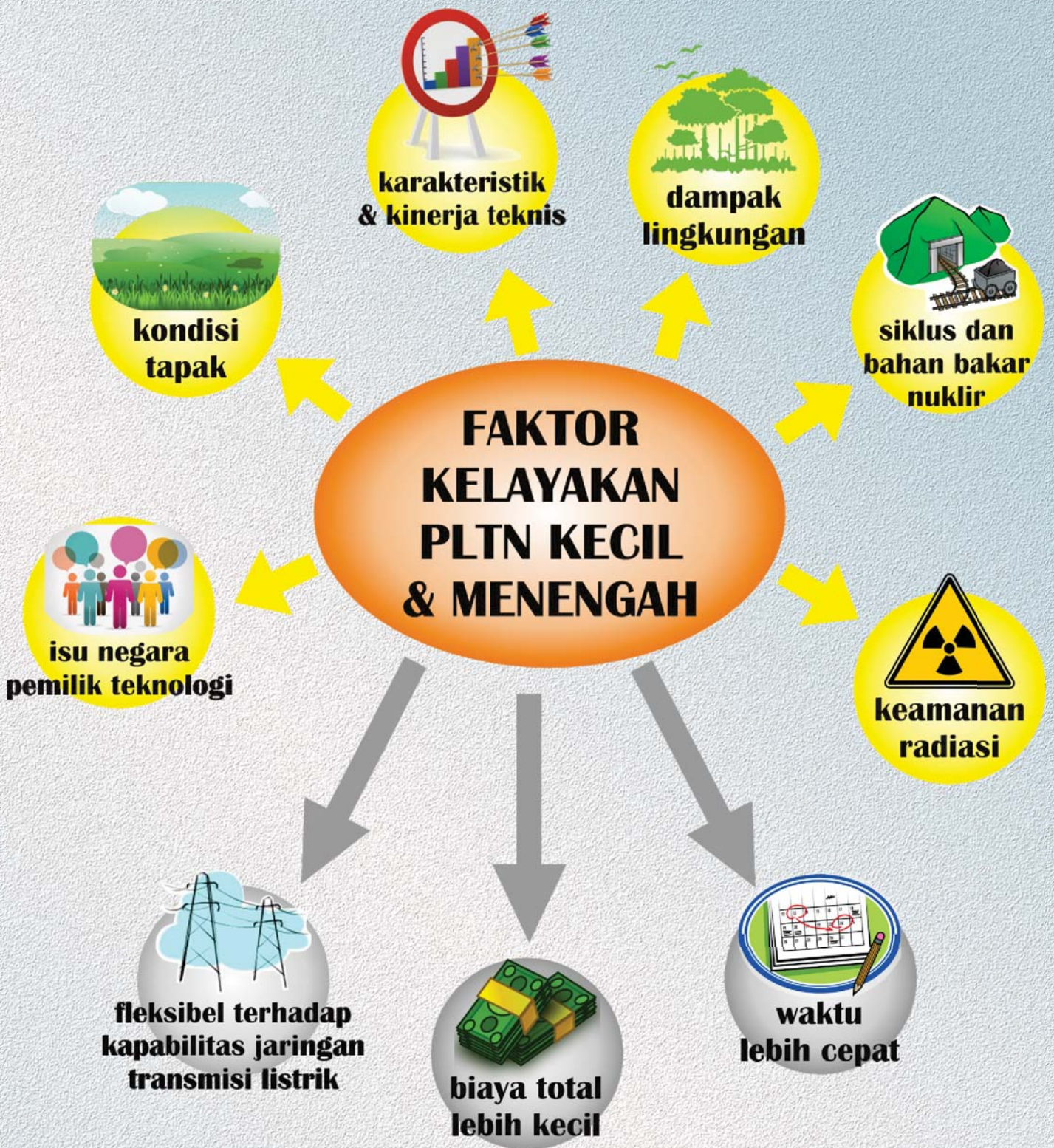
http://images.clipartpanda.com/uniqueness-clipart-mine_with_coal_cart.png

https://pixabay.com/static/uploads/photo/2012/04/01/19/09/nuclear-24092_640.png

<http://www.clipartkid.com/images/25/sign-clip-art-no-background-clipart-panda-free-clipart-images-2Wzr0Q-clipart.png>

https://image.freepik.com/free-vector/colorful-people-communicating-with-speech-bubbles_23-2147491696.jpg

<http://cliparts.co/cliparts/6Ty/5gr/6Ty5gr8Xc.png>





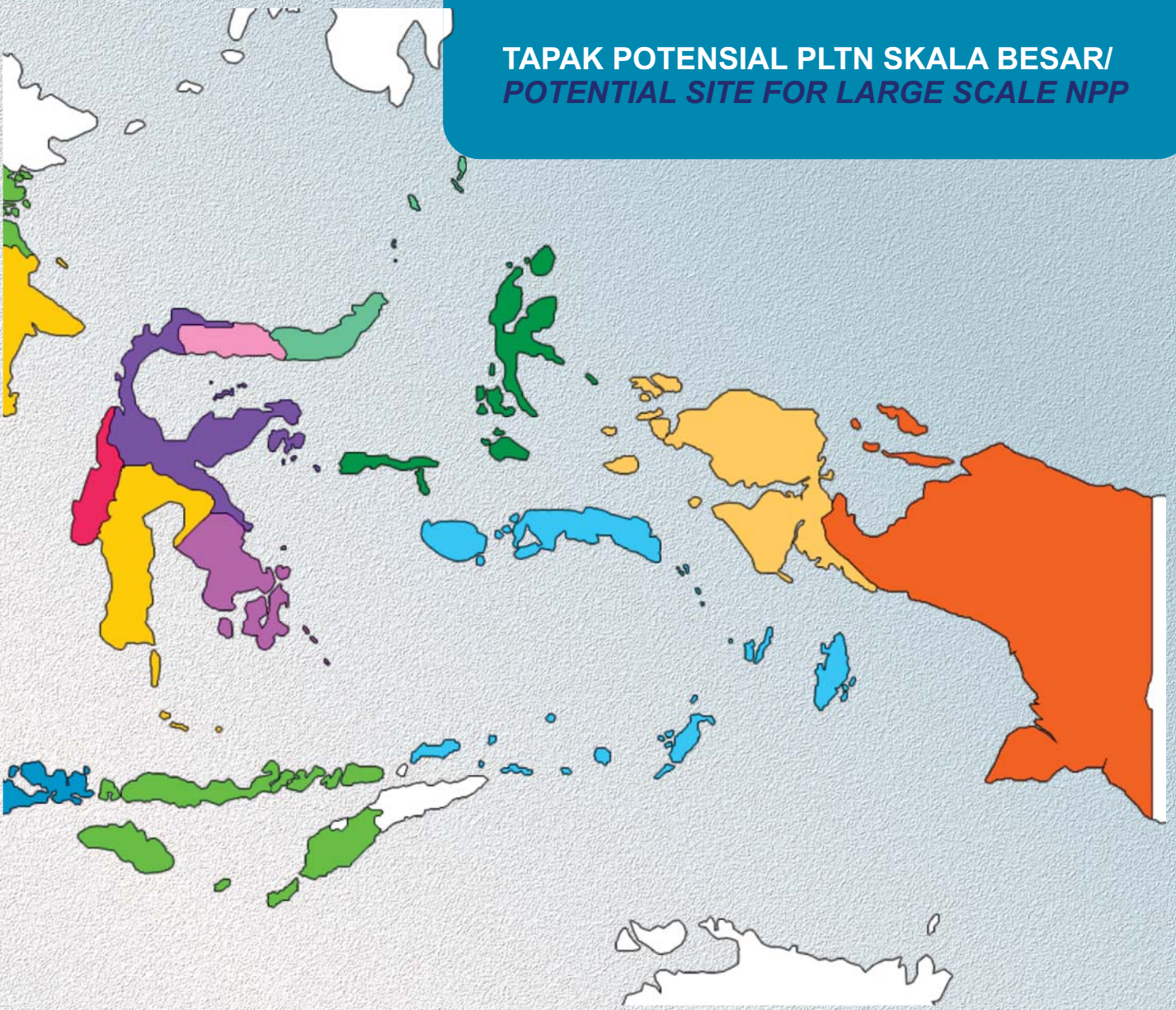
Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa PLTN skala besar lebih tepat untuk dibangun di Pulau Jawa di sepanjang pantai utara, dan di wilayah Sumatra di sepanjang pantai Timur khususnya wilayah Bangka Belitung. Tapak yang siap untuk PLTN skala besar ini di Jawa adalah di sepanjang pantai Utara Tanjung Muria dan Banten. Sementara itu, suatu studi kelayakan telah dilakukan di pesisir Barat dan Selatan Pulau Bangka oleh BATAN.

As previously explained, a large-scale nuclear power plants is more suitable to be constructed along the Northern coast of Java and Sumatra Island, especially along the Eastern coast region of Bangka Belitung. The site ready for large-scale nuclear power plants in Java is along the Northern coast, i.e. Muria Peninsula, and Banten. Meanwhile, for Sumatra Island, a feasibility study has been performed in the Western Coast and Southern Coast of Bangka Island by BATAN.

Tapak-tapak yang potensial tersebut memiliki risiko kegempaan dan kegunungapian yang sangat rendah, potensi banjir pantai yang lebih rendah, potensi terganggunya lokasi akibat aktivitas manusia disekitarnya juga masih relatif kecil.

These potential sites has low seismic and volcanic hazards, low flood risk, and low human-action-induced events.

TAPAK POTENSIAL PLTN SKALA BESAR/ POTENTIAL SITE FOR LARGE SCALE NPP



Aspek lain yang mendasari pemilihan wilayah tersebut adalah akses jalan yang telah siap, kemudahan untuk integrasi ke jaringan transmisi, serta masuk dalam jarak efektif terhadap beban kebutuhan listrik yang cukup besar, serupa dengan beban kebutuhan listrik Jakarta dan Semarang. Wilayah Bangka diharapkan kedepannya dapat terintegrasi dengan jaringan listrik Pulau Sumatra melalui jaringan kabel bawah laut.

Other aspect that support the selection of the region is the existing access road, easy integration to grid network, and effective range of large load electricity needs, similar to that of Jakarta and Semarang. It is expected that in the future Bangka region can be integrated to the Sumatra grid network through underwater cable network.

PLTN skala besar diharapkan bisa ikut andil dalam proyek 35 GWe tahap kedua yang diperkirakan akan dijalankan setelah tahun 2025, sehingga PLTN ikut berperan dalam menjaga ketahanan energi nasional yang menerapkan suatu kebijakan bauran energi.

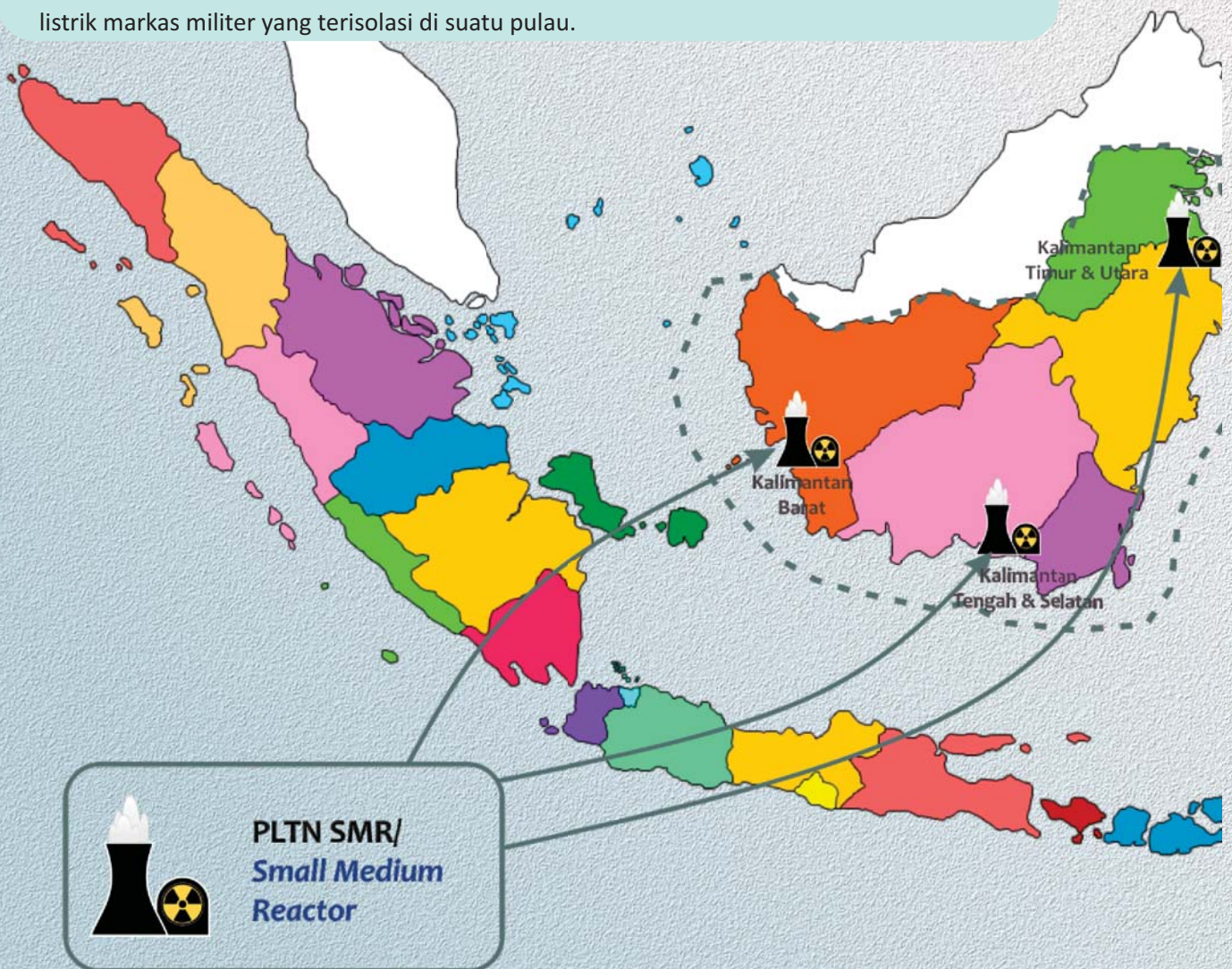
It is expected that large-scale nuclear power plant can contribute to the second phase of 35 Gwe Project, which will be executed after 2025. therefore, NPP has a role in maintaining the national energy security that implement a policy of energy mix.

TAPAK POTENSIAL PLTN SKALA KECIL & MENENGAH/ POTENTIAL SITE FOR SMR

Saat ini BATAN sedang melaksanakan kajian pra-kelayakan tapak PLTN di sepanjang pantai wilayah Kalimantan. Sepanjang pantai Barat Daya untuk Kalimantan Barat, pantai Selatan untuk Kalimantan Tengah dan Selatan, serta sepanjang pantai Timur untuk Kalimantan Timur dan Utara. Tahap awal pra-kelayakan tapak ini fokus pada aspek kegempaan, kegunungpian, banjir pantai, hidrologi dan hidrogeologi, serta meteorologi.

Currently BATAN has been conducting a pre-feasibility study on the nuclear power plant site along the coast of Kalimantan. Along the Southwestern coast of West Kalimantan, the Southern coast of Central and South Kalimantan, and along the Eastern coast of East North Kalimantan. The initial stage of the site pre-feasibility focuses on seismic volcanic, coastal flooding, hydrology and hydrogeology, as well as meteorology aspects.

Studi pra-kelayakan ini dilaksanakan untuk mempersiapkan tapak potensial PLTN SMR, sehingga dapat mempercepat tahap persiapannya jika pembangunan SMR akan direalisasikan di masa mendatang. Sementara itu, untuk wilayah di pulau-pulau lainnya seperti Sulawesi dan lainnya. BATAN belum memiliki aktivitas studi pra-kelayakan tapak PLTN SMR, karena belum ada indikasi perlunya PLTN SMR di wilayah tersebut, kecuali untuk keperluan non-komersil seperti misalnya SMR terapung atau portable untuk kebutuhan listrik markas militer yang terisolasi di suatu pulau.

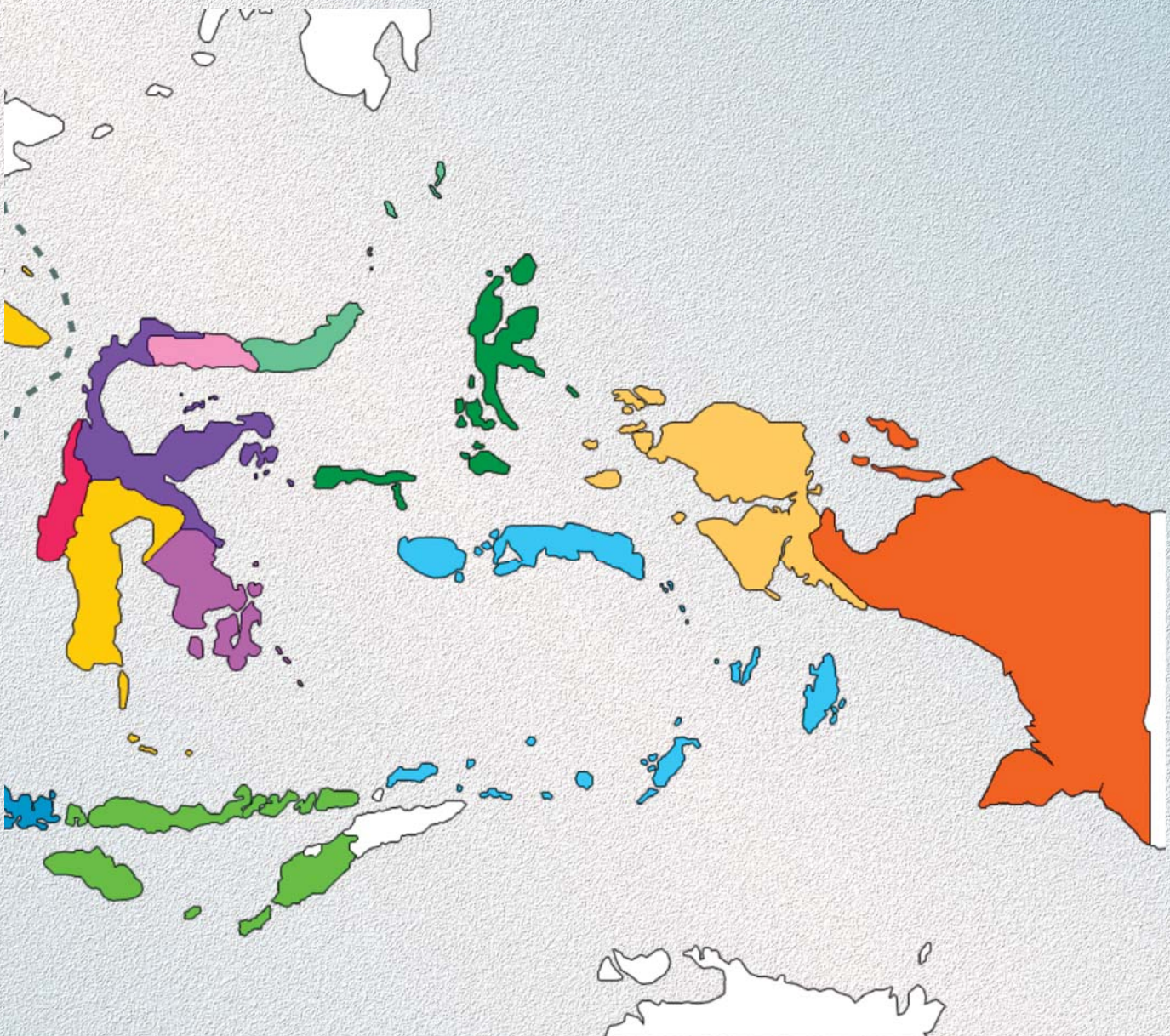


Sumber gambar/Source of picture:
<http://beta.sonora-network.com/assets/images/map-indonesia.png>

This pre-feasibility study is conducted to prepare a potential site for SMR nuclear power plant, which can accelerate the preparation stage if SMR construction will be performed in the future. Meanwhile, for other islands such as Sulawesi and others BATAN has not carried out any pre feasibility study for SMR nuclear power plant site, because there is no indication of the need for SMR nuclear power plants in the region, except for non-commercial purposes such as floating or portable SMR for electrical needs for isolated military base on an island.

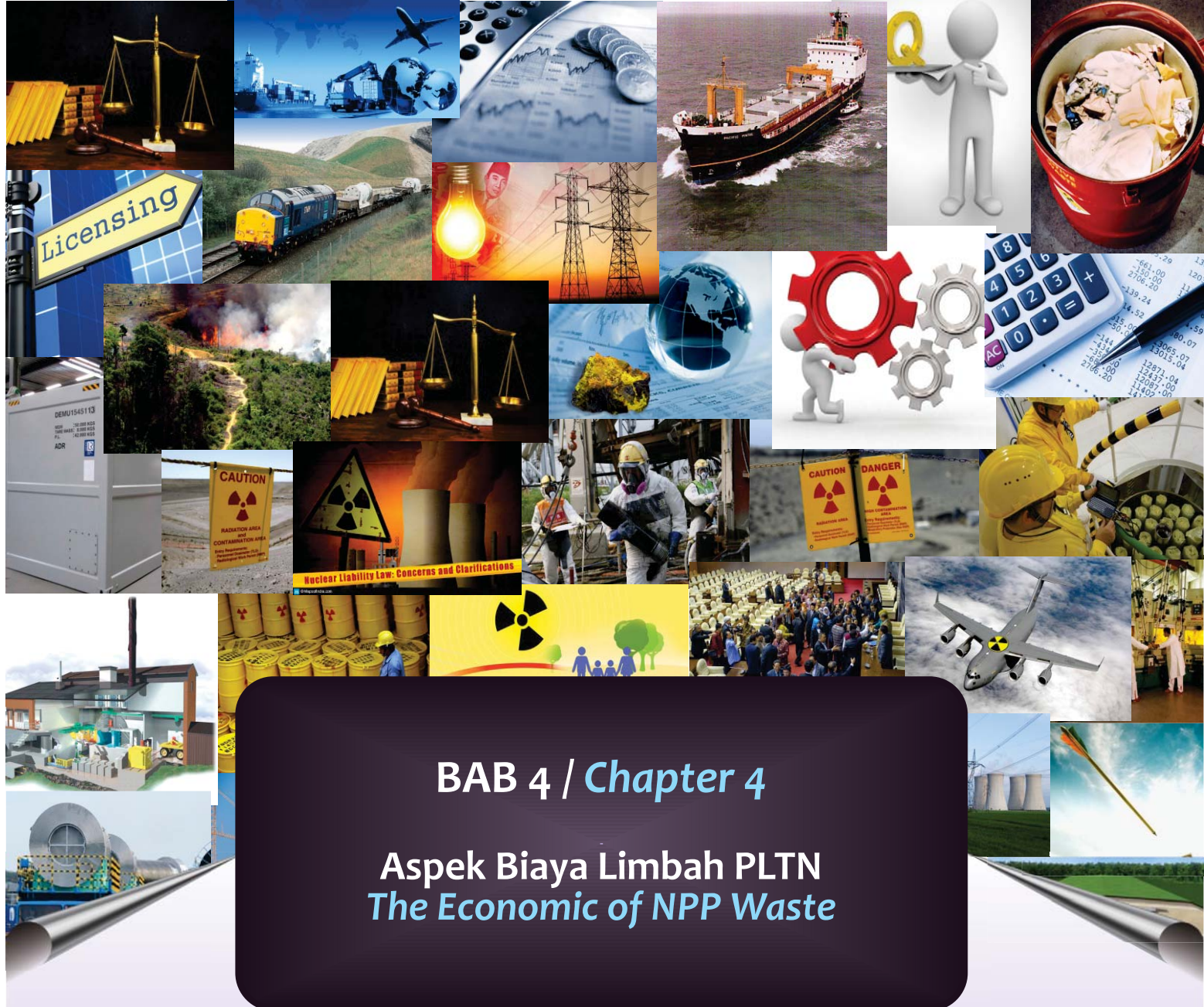
SMR terapung atau portable akan mampu memenuhi kebutuhan markas militer seperti barak tentara, landasan udara, radar dan instalasi lainnya. Siklus pengisian bahan bakar yang bisa mencapai 3 tahunan akan menjadikan SMR memiliki kelebihan tersendiri jika dibandingkan dengan pembangkit listrik portable lainnya seperti pembangkit listrik diesel yang menggunakan bahan bakar HSD yang butuh pengisian bahan bakar secara rutin.

Floating or portable SMR will be able to meet the needs for military bases, such as army barracks, airfields, radar and other installations. The refueling cycle, which can reach 3 years, will make SMR has its own advantages when compared to other portable power generators, such as diesel power plants that use fuel HSD that requires regular refueling.





batan

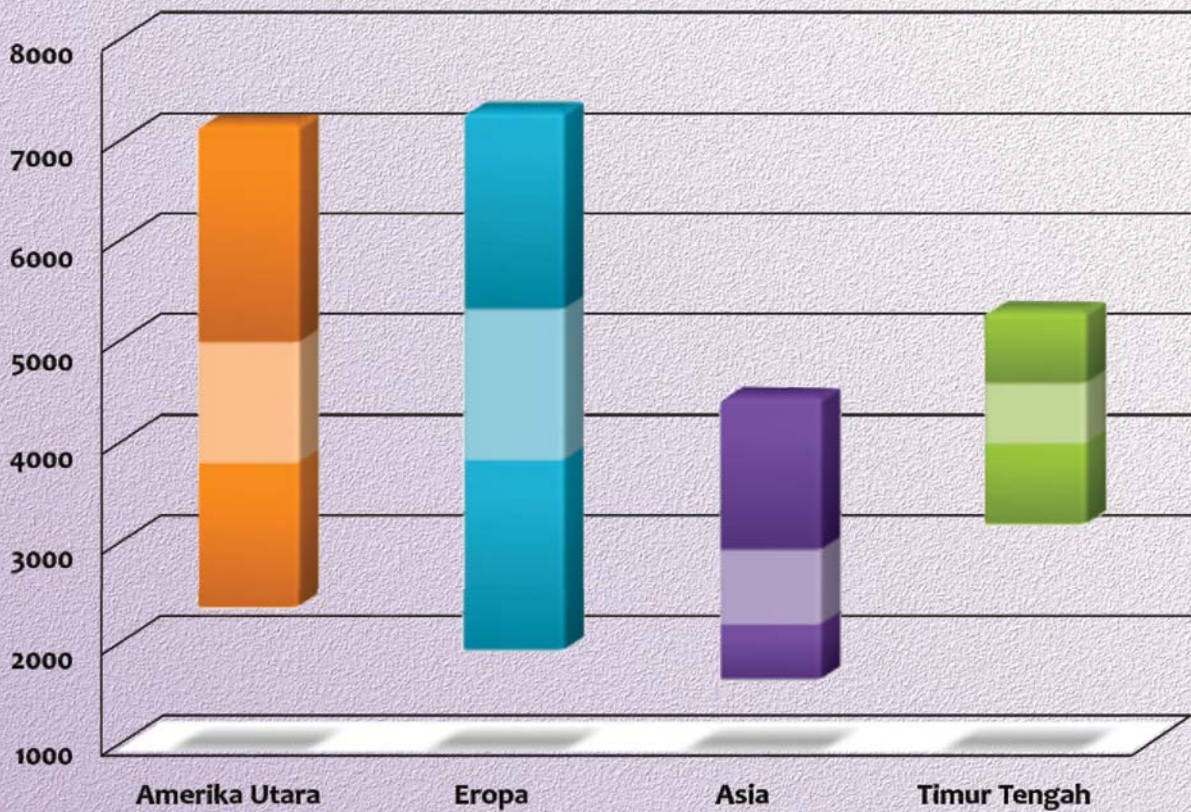


BAB 4 / Chapter 4

Aspek Biaya Limbah PLTN The Economic of NPP Waste

• Biaya Investasi PLTN/ <i>NPP Investment Cost</i>	55
• Biaya Operasi PLTN/ <i>NPP Operation Cost</i>	57
• Aspek Non-Ekonomi Biaya Back-End/ <i>Non-Economic Aspects on Back-End Cost</i>	59
• Aspek Keamanan Pasokan Energi/ <i>Security of Energy Supply Aspect</i>	60
• Aspek Perilaku Masyarakat/ <i>Public Attitude</i>	63
• Aspek Dampak Lingkungan/ <i>Environmental Impact Aspect</i>	65
• Aspek Transportasi/ <i>Transportation Aspect</i>	66
• Aspek Legalitas dan Pengawasan/ <i>Legal and Regulatory Aspects</i>	69
• Aspek Keselamatan/ <i>Safety Aspects</i>	70
• Biaya Back-End di Indonesia/ <i>Back-End Cost in Indonesia</i>	73

Rentang Biaya Overnight Berdasarkan Negara (US \$/kW)
Overnight Capital Cost Range by Region (US \$/kW)



Tantangan: Ketidakpastian Biaya Investasi PLTN
Challenge: NPP Investment Cost Uncertainty

Biaya modal meliputi biaya persiapan lokasi, konstruksi, manufaktur, komisioning dan pembiayaan PLTN. Membangun PLTN berskala besar membutuhkan ribuan pekerja, jumlah besar baja dan beton, ribuan komponen, dan beberapa sistem untuk menyediakan listrik, pendinginan, ventilasi, informasi, kontrol dan komunikasi. Untuk membandingkan teknologi pembangkit listrik yang berbeda, biaya modal harus dinyatakan dalam hal kapasitas pembangkit (misalnya sebagai dolar per kilowatt).

Capital costs consist of the cost of site preparation, construction, manufacture, commissioning and financing of an NPP. Constructing a large-scale NPP takes thousands of workers, huge amount of steel and concrete, thousands of components, and several systems to provide electricity, cooling, ventilation, information, control and communication. To compare different power generation technologies, the capital costs must be expressed in terms of the generating capacity of the plant (i.e. dollars per kilowatt).

Biaya modal dapat dihitung baik dengan penyertaan biaya pendanaan ataupun tidak. Jika biaya pendanaan dimasukkan, maka biaya modal berubah sebanding dengan lamanya waktu konstruksi dan tingkat bunga atau bentuk pembiayaan yang digunakan. Hal ini biasanya disebut sebagai biaya investasi. Jika biaya pendanaan dikeluarkan dari perhitungan biaya modal, maka ini disebut *overnight cost*.

Capital costs may be calculated with or without financing costs. If financing costs is included, then the capital cost changes in proportion to the construction period of time and the interest rate or financing scheme employed. It is normally termed 'investment cost'. If financing cost is excluded from the calculation of capital cost, then it is called 'overnight cost'.

Roadmap Energi Nuklir IEA-NEA 2015 memperkirakan *overnight cost* rata-rata PLTN di Tiongkok sekitar US\$ 5.500/kW sekitar sepertiga atau lebih dibandingkan dengan *overnight cost* Uni Eropa yang sebesar USD 5.500/kW. Biaya di AS sekitar 10% lebih rendah dari Uni Eropa. Dalam skenario utamanya, pada tahun 2050 diasumsikan untuk *overnight cost* PLTN di Amerika Serikat dan Uni Eropa diperkirakan menurun sedikit, hampir sama dengan di Republik Korea. Sedangkan Asia diperkirakan *overnight cost* relatif stabil.

The 2015's IEA-NEA Nuclear Energy Roadmap estimates China's average overnight costs is approximately USD 3,500/kW, which is a third or more the Eu's overnight cost of US\$ 5,500/kW. The overnight cost in the US is about 10% lower than that of the EU. In its main scenario, it is assumed that for 2050's overnight costs of NPP in the United States and European Union are estimated to decline slightly, which is closer to that in the Republic of Korea. Meanwhile, the overnight cost in Asia estimated relatively stable.

Keterangan <i>Remark</i>	PLTN 1000		PLTN 100	
	Nilai Value (US\$/MWh)	(%)	Nilai Value (US\$/MWh)	(%)
Biaya Investasi <i>Investment Cost</i>	66,08	73,52%	70,91	68,14%
Dekomisioning <i>Decommissioning</i>	0,05	0,06%	0,05	0,05%
Biaya Operasi dan Perawatan <i>Operation and Maintenance Cost</i>	14,61	16,26%	24,31	23,36%
Komponen Biaya Back-End <i>Back-End Cost</i>				
Penyimpanan <i>Disposal</i>	3,19	3,54%	1,43	1,37%
Penyimpanan On-Site Sementara <i>Temporary On-Site Storage</i>	0,29	0,32%	0,13	0,12%
Komponen Biaya Front-End <i>Front-End Cost</i>				
Harga Uranium Alam <i>Natural Uranium Price</i>	2,59	2,88%	3,31	3,18%
Biaya Konversi <i>Conversion Cost</i>	0,35	0,39%	0,45	0,44%
Biaya Separative Work <i>Separative Work Cost</i>	2,14	2,38%	2,79	2,68%
Biaya Fabrikasi <i>Fabrication Cost</i>	0,58	0,64%	0,69	0,66%
Biaya Bahan Bakar <i>Fuel Cost</i>	9,14	10,16%	8,79	8,45%
Total Biaya Pembangkitan <i>Total Generation Cost</i>	89,88	100%	104,07	100%

Biaya operasi terdiri dari biaya operasi dan pemeliharaan ditambah dengan biaya BBN. Biaya BBN mencakup biaya manajemen bahan bakar dan penyimpanan akhir BBN bekas. Biaya penyimpanan BBN bekas biasanya disebut biaya eksternal untuk teknologi selain PLTN, tetapi untuk PLTN biaya tersebut dimasukkan sebagai biaya internal (biaya ini dimasukkan ke dalam harga jual listrik).

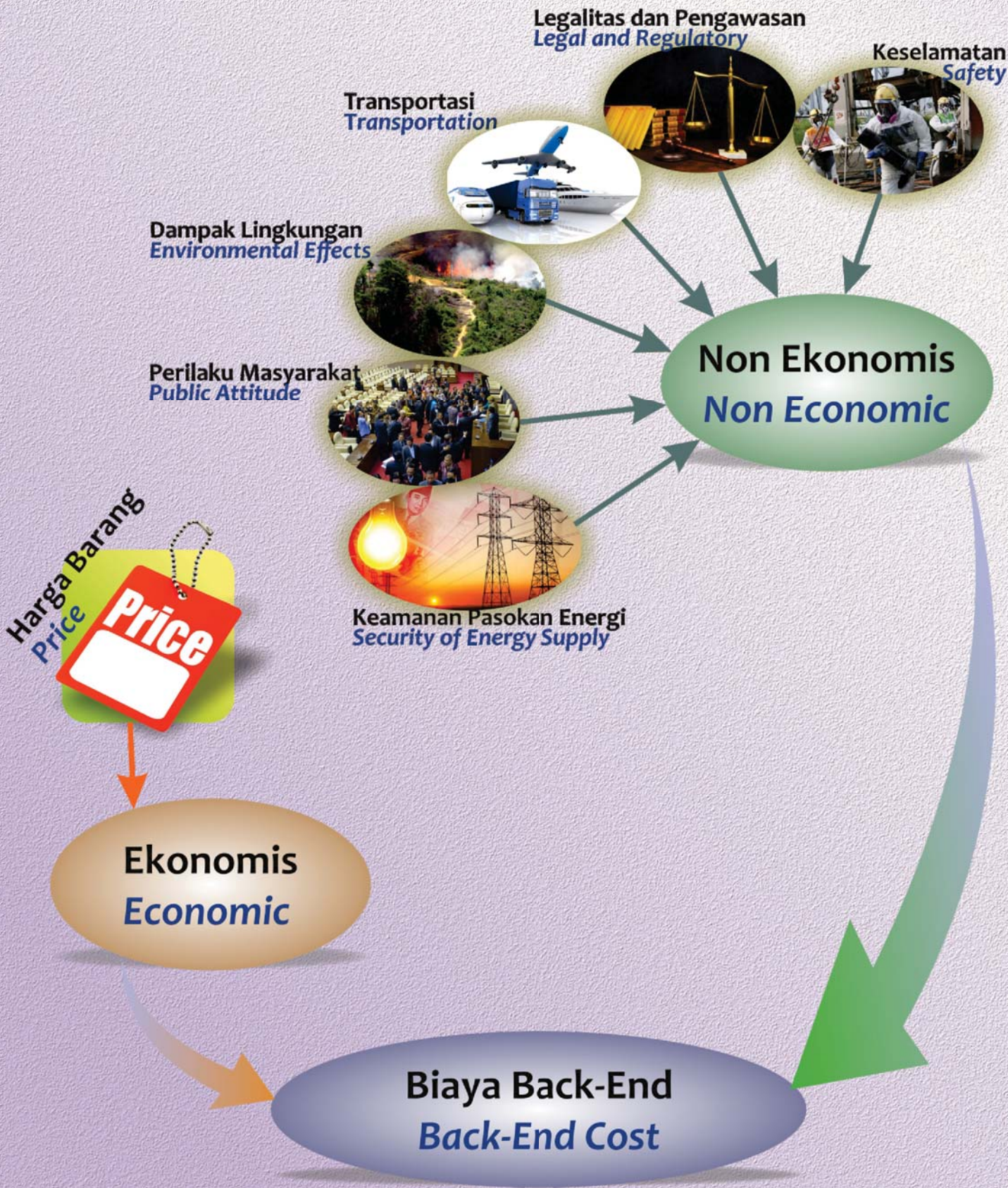
The operation of NPP cost includes operating and maintenance (O&M) and fuel cost. Fuel cost covers spent fuel management cost and final waste disposal cost. This final disposal cost is usually called external cost for other than NPP technologies. For NPP, this cost is included as internal cost (i.e. the cost is passed on to the selling price).

Biaya BBN memiliki keuntungan dibandingkan dengan biaya bahan bakar batu bara, minyak dan gas. Meskipun pembuatan BBN melalui banyak proses seperti konversi, pengkayaan uranium dan fabrikasi elemen bahan bakar serta ditambah biaya pengelolaan BBN bekas, total biaya bahan bakar pembangkit listrik tenaga nuklir menurut OECD masih sekitar sepertiga dari biaya batubara atau seperempat biaya CC Gas.

Nuclear fuel cost has advantages compared to coal, oil and gas. Even though the development of nuclear fuel consists of some processes, such as conversion, uranium enrichment, and fuel element fabrication, and includes spent fuel management cost, the total fuel cost of a nuclear power plant according to the OECD is typically about a third of that of coal-fired plant or a quarter of that of a gas combined-cycle plant.

Nuclear Energy Institute AS menunjukkan bahwa biaya bahan bakar adalah 78% untuk pembangkit batubara, 89% untuk pembangkit berbahan bakar, dan 14% untuk PLTN, atau dua kali lipat untuk memasukkan semua biaya ujung depan. Pada bulan Juli 2015, diperkirakan sekitar US\$ 1.880/kg untuk mendapatkan 1 kg uranium sebagai bahan bakar reaktor UO₂ (harga uranium jangka panjang saat ini, dengan 45.000 MWD/t burn-up yang memberikan 360.000 kWh listrik per kg atau sebesar 0,52 ¢/kWh).

The US Nuclear Energy Institute indicates that fuel cost is 78% for a coal-fired plant, 89% for gas-fired plant, and 14% for NPP or twice if front end cost is included. In July 2015, it is estimated that US\$ 1.880/kg is needed to get 1 kg of uranium as UO₂ for reactor fuel (at current long-term uranium price) with 45,000 MWd/t burn-up that gives 360,000 kWh electricity per kg uranium or, 0.52 ¢/kWh.



ASPEK NON-EKONOMI BIAYA BACK-END/ NON-ECONOMIC ASPECTS OF BACK-END COST

Biaya *back-end* tidak hanya dipengaruhi oleh nilai biaya pengelolaan dan penyimpanan akhir dari BBN bekas, tetapi juga kondisi sosiopolitik yang sedang terjadi pada suatu negara. Setiap negara akan memiliki kondisi yang berbeda sehingga faktor non-ekonomi tersebut akan memberikan porsi yang berbeda terhadap biaya total *back-end*.

Back-end cost is influenced not only by spent fuel management and final disposal cost, but also by socio-political condition of a country. Each country will have different conditions so that non-economic factors will give a different portion to the back-end total cost.

Faktor non ekonomi yang berpengaruh pada biaya *back-end* yang cukup signifikan adalah faktor keamanan suplai energi, faktor perilaku publik, faktor dampak lingkungan, faktor transportasi, faktor pengawasan oleh BAPETEN, dan faktor keselamatan. Faktor non ekonomi digunakan dalam analisis biaya *back-end* untuk menetapkan biaya ketidakpastian. Biaya ketidakpastian tersebut akan menunjukkan kondisi suatu negara terkait dengan program PLTN dan pengelolaan BBN bekasnya.

Significant non-economic factors that affect the back-end cost significant factor are energy supply security, public attitude, environmental impact, transportation, BAPETEN's supervision, and safety factors. Non-economic factors are used in the analysis of the back-end cost to determine uncertainty cost. This uncertainty cost will show the condition of a country associated with nuclear power program and its spent fuel management.

Negara-negara yang telah berpengalaman dalam pengoperasian PLTN dan pengelolaan BBN bekas akan memiliki nilai ketidakpastian yang sangat kecil, karena pengalaman mereka dalam pengelolaan BBN bekas akan membuat mereka memilih siklus BBN yang tepat, apakah *once through open cycle* atau *close loop cycle*. Indonesia yang masuk kategori *new comer* dalam pengelolaan BBN bekas akan memiliki nilai ketidakpastian yang tinggi.

Countries that have experience in operating nuclear power plants and managing spent fuel will have very low uncertainty level in the back-end cost, because their experience in the management of spent fuel will make them choose the suitable fuel cycle type, whether once through open cycle or closed loop cycle. Indonesia, which is categorized as new comer in the spent fuel management, will have high uncertainty level.

Sumber gambar/Source of picture:

<http://eksplorasi.id/wp-content/uploads/2016/03/Ilustrasi-Listrik-Subsidi.jpg>

<http://3.bp.blogspot.com/-lLwZcBvIHHE/VYu5bqh8ptI/AAAAAAAAAIs/Sn-ui-7MFnc/s1600/Pengaruh%2BManusia%2BTerhadap%2BLingkungannya.jpg>

<http://www.makcci.org/wp-content/uploads/2015/09/transportation-industry.jpg>

http://www.latinamericanadebienesraices.com/images/sliders/servicios-juridicos/General-Law-Dollarphotoclub_591936081.jpg

http://static.republika.co.id/uploads/images/inpicture_slide/pekerja-membangun-dinding-pendingin-pltn-fukushima-daiichi-yang-rusak-_150927135607-972.jpg

Keamanan pasokan energi dapat didefinisikan (NEA, 2010) sebagai ketahanan sistem energi untuk kondisi unik dan tak terduga yang mengancam integritas dari aliran energi dan berpotensi naiknya harga. Keamanan pasokan energi merupakan pendorong utama masyarakat untuk maju dan berkembang untuk kesejahteraan ekonomi mereka. Pemerintah perlu mengeluarkan kebijakan untuk memastikan keamanan pasokan energi yang terjangkau secara ekonomis.

Security of energy supply can be defined as the resilience of an energy system to unique and unforeseeable events that threaten the physical integrity of energy flows and lead to the rise of price. (NEA, 2010) Energy supply security is a key driver for society to develop and grow further for their economic prosperity. Government need launch a policy to ensure energy supply security that is economically affordable.

Untuk mengatasi peran tenaga nuklir dalam menjamin keamanan pasokan energi, dua jenis risiko perlu dipertimbangkan, yaitu risiko geopolitik dan internal. Negara yang aman pada umumnya memilih siklus bahan bakar terbuka atau opsi daur ulang parsial yang bergantung pada uranium alam sebagai sumber daya utama.

To address the role of nuclear power in assuring energy supply security, there are two types of risk that need to be considered: geopolitical and internal risks. A peaceful country usually selects open or partial fuel cycle or FCs that depends on natural uranium as the primary resource.

Risiko geopolitik khususnya dari layanan *front-end* yang kurang terdiversifikasi (misalnya pengayaan) dan potensi kegagalan pasar internasional di mana sumber daya tersebut diperdagangkan. Cara yang paling efektif untuk mengurangi risiko geopolitik dari terganggunya pasokan dari sumber primer adalah diversifikasi pasokan, pembentukan cadangan strategis dan pasar yang berfungsi dengan baik.

Geopolitical risks, in particular, may still arise from less diversified front-end services (e.g. enrichment) and potential failures of international markets where fuel resources are traded. The most effective means of mitigating geopolitical risks from the disruption of supply of primary resources are diversification of supply, the establishment of strategic reserves and well-functioning markets.

Risiko internal termasuk risiko teknis, keuangan dan ekonomi yang dapat dibuat dari kinerja atau keamanan masalah teknis atau dari kegagalan parah pasar dalam penyediaan layanan.

Internal risks include technical, financial and economic risks that may be created from technical performance or safety issues or from severe failures of markets in providing services.

Teknis
Technical



Keuangan
Financial



Kualitas Pelayanan
Quality Service



Internal
Internal

Pasar Uranium Internasional
International Uranium Market



Diversifikasi Impor
Import Diversification



Geopolitik
Geopolitical

Keamanan Pasokan Energi
Security of Energy Supply

Sumber gambar/Source of picture:

<http://eksplorasi.id/wp-content/uploads/2016/03/Ilustrasi-Listrik-Subsidi.jpg>

http://www.globalenterprises.com.br/2013/images/frente_global.jpg

<https://www.etftrends.com/wp-content/uploads/2012/02/Top-Business-Stories-2011-global-market.jpg>

<http://octopustranslations.com/blog/wp-content/uploads/2014/05/Service-Quality.png>

http://kozakgayer.com/wp-content/uploads/2011/06/Financing_Tax-Exempt.jpg

**Manfaat
Benefit**



**Orientasi Masa Depan
Future Orientation**



**Perilaku Masyarakat
Public Attitude**



**Resiko
Risk**



**Biaya
Cost**

Sikap publik yang menguntungkan adalah sangat penting untuk masalah yang berkaitan dengan kebijakan nuklir, khususnya untuk solusi *back-end*. Potensi konflik sosial mengenai penentuan tapak, pembangunan dan pengoperasian setiap fasilitas tampaknya sebagian besar tergantung pada isu-isu lokal dan regional. Penyeimbangan risiko dan manfaat dari fasilitas nuklir pada kondisi aman serta perkembangan masa depan masyarakat atau daerah merupakan faktor kunci dalam mengurangi potensi konflik.

A favourable public attitude is of paramount importance for issues related to nuclear policies, specifically for back-end solutions. The potential for social conflict regarding site selection, construction, and operation of each facility seems to be largely dependent on local and regional issues. Balancing the impacts and benefits of hosting a nuclear facility in peaceful condition and future development of the host community or region constitutes a key factor in reducing the potential for conflict.

Dialog publik cenderung lebih rasional dan responsif terhadap kondisi ekonomi. Sebaliknya, debat publik di fasilitas pembuangan geologi biasanya cenderung melebar dari tema intinya, termasuk aspek etika terhadap beban resiko yang seharusnya tidak ditanggung oleh generasi mendatang serta isu keamanan untuk jangka panjang. Upaya untuk menyelesaikan konflik sosial dan untuk memperoleh penerimaan publik untuk penyimpanan BBN bekas adalah hal yang rumit dan menguras waktu dan tenaga.

In these cases the public dialogue tends to be more rational and responsive to economic provisions. Conversely, public debate on geological disposal facilities typically tends to revolve around a much broader spectrum of the main issues, including ethical aspects of undue burdens on future generations and long term security issue. Any efforts to resolve social conflict and to obtain public acceptance for spent nuclear fuel is an extremely complicated and time and resource consuming.

Pengurangan potensi konflik sosial terkait pembangunan fasilitas penyimpanan limbah dapat mengakibatkan biaya yang sangat besar. Biaya tersebut dapat berkisar beberapa ratus juta USD. Misalnya, di Republik Korea Selatan, dana dukungan yang cukup besar (sekitar Rp 300 juta) diberikan ke daerah yang menjadi lokasi pembuangan limbah *low and intermediate level waste (LILW)*.

Reducing the potential for social conflicts about the development of waste repositories can be a very substantial cost. This associated cost can range from moderate amount to several hundreds of USD millions. For instance, in the Republic of Korea, a sizeable support fund (approximately US\$ 300 million) was provided to the region which hosted the low and intermediate level waste (LILW) disposal site.

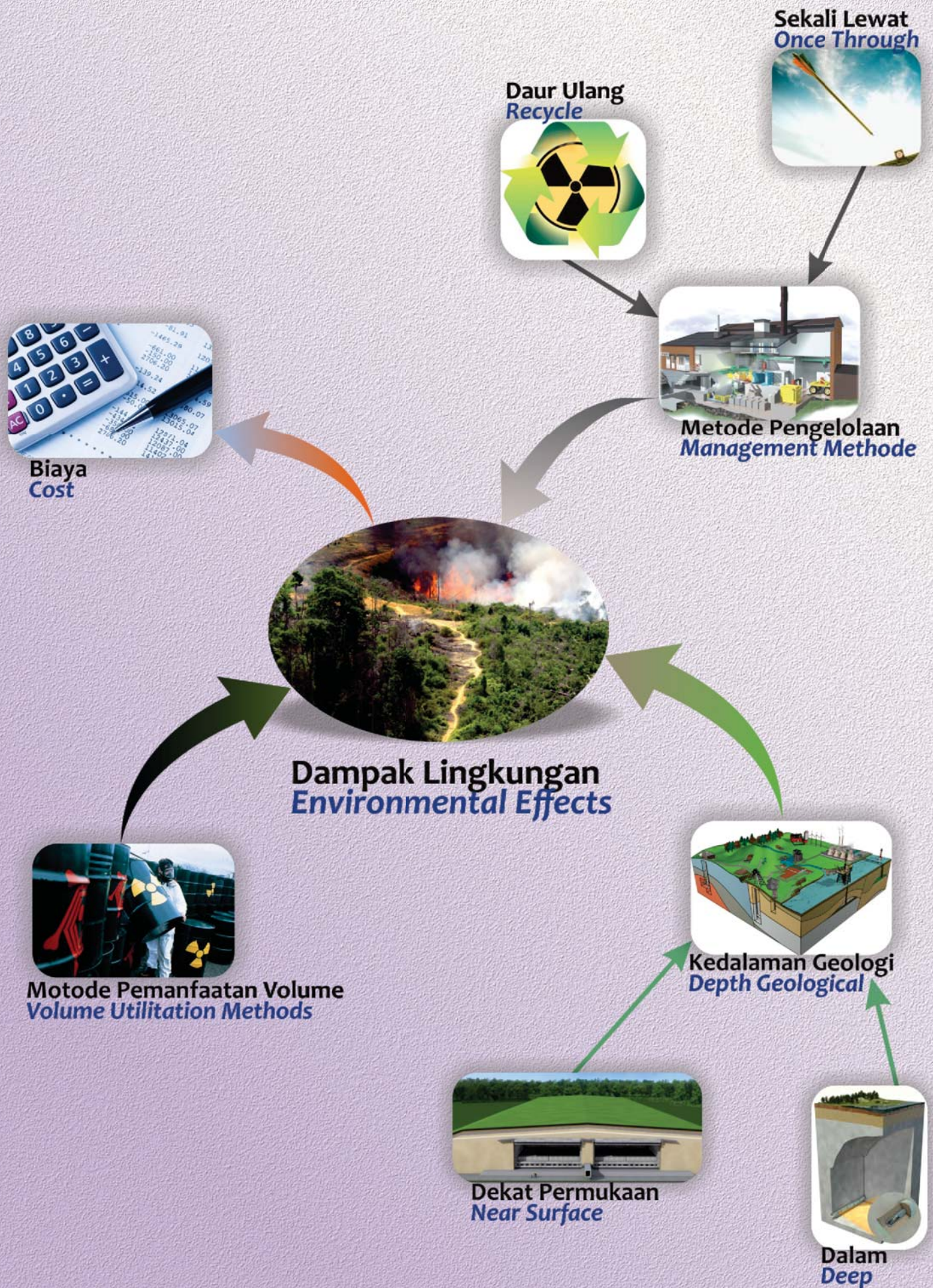
Sumber gambar/Source of picture:

http://cdn1.spiegel.de/images/image-194548-860_panofree-ynff-194548.jpg

<http://www.tckpublishing.com/wp-content/uploads/2014/01/Book-Publishing-costs.jpg>

<http://s.hswstatic.com/gif/nuclearplant1.jpg>

<http://www.swissinfo.ch/image/31029240/3x2/640/426/8d6773c83cb92d175d9c66be02a06fda/Cd/113173220-31029246.jpg>



Kegiatan industri besar dan energi, khususnya rantai pasokannya, memiliki potensi menghasilkan efek lingkungan yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan dapat menurunkan kualitas lingkungan dari habitat manusia. Siklus produksi listrik menunjukkan bahwa tenaga nuklir, dengan emisi CO₂ yang rendah, menjadi salah satu teknologi yang paling efektif untuk menghindari emisi terkait efek kesehatan (NEA, 2008).

Major and energy industries, in particular their supply chains, have the potential of generating environmental effects that can impact human health and can generally degrade the environmental quality of the human habitat. Life cycle analyses of electricity production chains show that nuclear power, with low CO₂ emissions, is one of the most effective power production technologies for avoiding emissions-related health effects (NEA, 2008).

Namun demikian, produksi tenaga nuklir tidak benar-benar bebas dari dampak lingkungan secara umum. Berbagai tahap siklus pembuatan BBN memberi kontribusi berbeda terhadap dampak lingkungan secara keseluruhan. Penambangan uranium memberikan dampak terbesar ke lingkungan dalam siklus BBN.

However, nuclear power production is not totally free from conventional environmental impacts. Various stages of the fuel fabrication cycle contribute differently to overall environmental impact. Uranium mining has the largest environmental footprint in the nuclear fuel cycle.

Pemanfaatan kembali sisa bahan bakar bekas akan mengurangi kebutuhan uranium alam. Hal ini akan mengurangi dampak lingkungan, tetapi biaya pengolahan-ulangnya cukup mahal. Pembuangan geologi limbah radioaktif di kedalaman yang cukup akan mengakibatkan biaya lebih mahal jika dibandingkan dengan membuat fasilitas penyimpanan limbah di atas tanah atau bangunan yang tidak terlalu dalam di bawah tanah. Metode pengurangan volume limbah juga mempengaruhi biaya, karena pada umumnya teknologi tinggi akan lebih mahal mengingat teknologi kompresi volume yang memiliki ratio tinggi pasti akan sangat mahal.

Reusing part of the residual energy content of spent fuel lessens natural uranium needs. It will reduce environmental impact, but its recycling cost is expensive. Geological disposal of radioactive waste in a particular depth will be more expensive than constructing radioactive waste storage facility over the ground or shallow underground. Waste volume reduction technique also affects cost, because generally high technology will be more expensive considering that high-ratio volume compression technology will be very expensive.

Sumber gambar/Source of picture:

<http://3.bp.blogspot.com/-ILwZcBvIHHE/VYu5bqh8ptI/AAAAAAAAAIs/Sn-ui-7MFnc/s1600/Pengaruh%2BManusia%2BTerdapat%2BLingkungannya.jpg>
<http://www.tckpublishing.com/wp-content/uploads/2014/01/Book-Publishing-costs.jpg>
<http://4.bp.blogspot.com/-0vzTGdFyAuA/T5X6cgo4xxI/AAAAAAAAAKQ/waNGIjxnEFc/s1600/qq04.JPG>
http://www.bgs.ac.uk/discoveringgeology/climateChange/CCS/images/section_powerstation_oilrig_large.jpg
<https://www.sckcen.be/~media/Images/Public/Technology/nirasondraf.png?la=en>
http://surao.cz/var/ezwebin_site/storage/images/media/images/08-analog-sc/6386-1-cze-CZ/08-analog-SC.jpg
https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical-Areas/WTS/images/predisposal_slideshow/predisposal142812.jpg
<http://www.nature.com/scientificamerican/journal/v293/n6/images/scientificamerican1205-84-11.jpg>
<http://alimancenter.com/wp-content/uploads/2016/07/images-39.jpg>

Meskipun transportasi BBN bekas dan limbah nuklir lainnya memiliki catatan keamanan yang sangat baik, tetapi transportasi material tersebut tetap menjadi masalah bagi masyarakat di sepanjang rute yang dilaluinya. Ada tiga mode transportasi untuk BBN bekas, yaitu melalui jalan raya, kereta api, dan air (laut/sungai). Mode transportasi dapat berupa kombinasi beberapa moda yang berarti akan berurusan langsung dengan masyarakat yang menjadi rute transportasi. Pengangkutan zat radioaktif diatur secara sangat ketat oleh IAEA atau peraturan pemerintah setempat.

Although transport of spent nuclear fuel and high level waste has an excellent safety record, it constitutes a matter of concern to the communities along the transportation route(s) as well as the general public. There are three modes of transportation for SNF: road, rail, and water, which may be combined and which, individually, present different sensitivities to the host and route communities. Transport of radioactive material is highly regulated, with stringent safety standards set internationally by the IAEA or based on local regulations.

Prinsip dasar untuk keselamatan transportasi didasarkan pada penggunaan kontainer transportasi untuk BBN bekas. Kontainer berupadrum dengan spesifikasi khusus untuk berfungsi sebagai perisai terhadap radiasi gamma dan neutron, bahkan dalam kondisi kecelakaan ekstrim. Setiap drum dapat menyimpan seperempat dari produksi limbah tahunan reaktor 1.000 MW dengan berat lebih dari 100 ton. Kualitas material drum dan volume limbah yang diangkut akan berpengaruh biaya *back-end*.

The fundamental principle for transport safety is based on the use of transport containers, which, for SNF, are very robust casks providing mechanical integrity and the required gamma and neutron shielding, even under extreme accident conditions. Each cask can take one fourth of the annual discharge of atypical 1000 MW reactor and may weigh more than 100 tonnes. Quality material drum and the volume of waste transported will affect the cost of back-end.

Pengalaman pengiriman BBN bekas di dunia ini telah sangat banyak, baik dengan menggunakan kereta api, melalui jalan raya maupun transportasi laut. Lebih dari 80.000 ton logam berat (heavy metal/HM) BBN bekas telah dikirim melalui lebih dari 7000 pengiriman, sebagian besar dikirim ke fasilitas pengolahan di Perancis dan Inggris, sebagian dengan kapal khusus dari Jepang ke Eropa.

There is extensive experience with the shipping of spent fuel, using rail, road and seairtransport. Over 80,000 tHM have been shipped in some 7,000 shipments, most of which to the reprocessing facilities in France and UK and some of which have been made carrying spent nuclear fuel with specially designed ships from Japan to Europe.

Sumber gambar/*Source of picture:*

<http://www.makcci.org/wp-content/uploads/2015/09/transportation-industry.jpg>

<http://www.wnti.co.uk/media/4334/42.jpeg>

http://www.wnti.co.uk/media/4278/Road%20transport%20of%20spent%20fuel%20in%20Japan_resized.jpg

http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/Nuclear_Fuel_Cycle/Transport/transvessel.jpg?n=6445

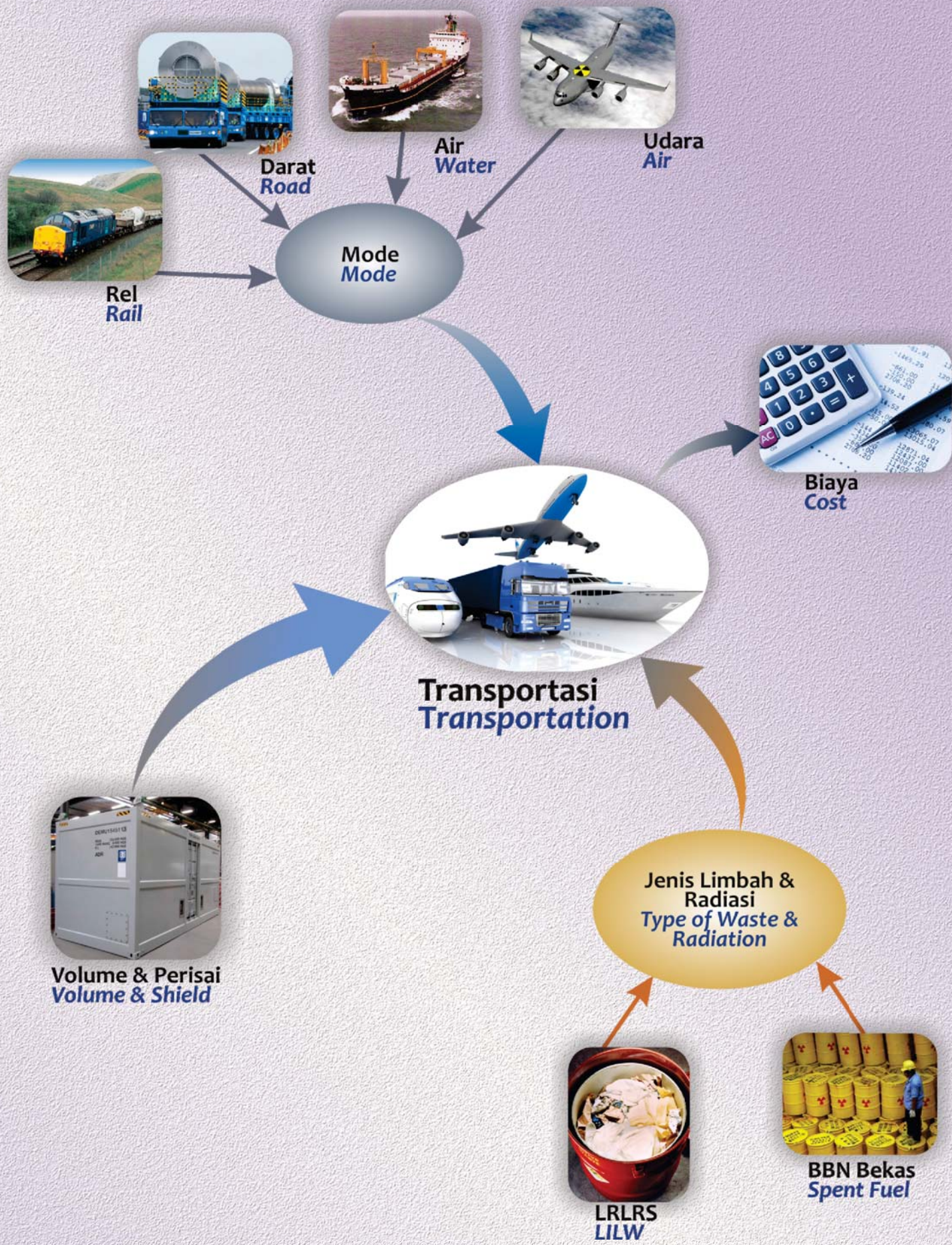
http://nuclearinfo.org/sites/default/files/styles/large/public/field/image/Globemaster%20radiation%20symbol_0.jpg?itok=QifiTWcb

<http://image.digitalinsightresearch.in/uploads/imagelibrary/Archive/nri/power/nuclear%20barrel.jpg>

<http://www.montair.nl/image/e411d41654a36e867d62ab4ff8670a2b7da8f2d6/default.jpg>

<https://62e528761d0685343e1c-f3d1b99a743ffa4142d9d7f1978d9686.ssl.cf2.rackcdn.com/files/117309/width926/image-20160404-27157-1necpao.jpg>

<http://www.tckpublishing.com/wp-content/uploads/2014/01/Book-Publishing-costs.jpg>





**Tanggung jawab
Liability**



**Izin
Licensing**



**Keamanan
Security**



**Keselamatan
Safety**



**Pemantauan
Monitoring**



**Legalitas dan Pengawasan
Legal and Regulatory**



**Perjanjian & Kesepakatan
Treaties & Agreements**



**Biaya
Cost**

Kerangka hukum di bidang nuklir diatur secara khusus. Peraturan yang mengikat secara hukum dibuat untuk mengatur perusahaan yang bergerak di kegiatan nuklir. Beberapa konsep dasar atau prinsip yang tercermin dalam kerangka hukum ini adalah: keselamatan, keamanan, tanggung jawab, izin, pengendalian terus menerus, kompensasi, pembangunan berkelanjutan, kepatuhan, independensi, transparansi, dan kerjasama internasional.

Legal frameworks in the nuclear field are sets of special, legally binding rules created to regulate the conduct of entities engaged in nuclear activities. Several fundamental concepts or principles are reflected in these legal frameworks: concepts such as safety, security, responsibility, permission, continuous control, compensation, sustainable development, compliance, independence, transparency and international co-operation.

Di tingkat nasional, kerangka hukum biasanya berupa undang-undang, sedangkan di tingkat internasional terdiri dari satu atau lebih instrumen internasional yang mengikat perjanjian, konvensi dan perjanjian. Kerangka hukum terkadang berbeda di sejumlah negara yang punya PLTN atau ketentuan hukum di sebagian negara yang memiliki fasilitas pengolahan ulang. Pada tingkat peraturan perundang-undangan, undang-undang (UU) pembuangan limbah radioaktif biasanya bersifat tertutup atau tercakup dalam UU ketenaganukliran secara umum.

At the national level, a legal framework is normally founded on legislation, while at the international level it is comprised of one or more legally binding international instruments such as treaties, conventions, and agreements. Legal frameworks in a number of countries with nuclear power and partly also reprocessing for legal provisions in particular for the back end of the fuel cycle can be quite different. At the level of statutory regulation, radioactive waste disposal is covered either in special statutes, or in general nuclear energy laws.

Contoh perbedaan peraturan adalah peraturan nuklir untuk pembuangan limbah di Inggris yang didasarkan pada tujuan yang telah ditetapkan, berbeda dengan di Amerika Serikat dan Perancis yang bersifat proyeksi. Kerangka hukum suatu negara berpengaruh terhadap biaya *back-end* dan bergantung pada seberapa dalam persyaratan yang harus dipenuhi dalam proses penanganan limbah.

For instance, the nuclear legislation/regulation regime for waste disposal in the United Kingdom is based on goal setting, in contrast to those in the United States and France, which are prescriptive. The legal framework of a country affects the cost of back-end depending on how the requirements to be met in the waste handling process.

Sumber gambar/Source of picture:

http://www.latinoamericanadebienesaices.com/images/sliders/servicios-juridicos/General-Law-Dollarphotoclub_591936081.jpg

<http://www.tckpublishing.com/wp-content/uploads/2014/01/Book-Publishing-costs.jpg>

http://static.republika.co.id/uploads/images/inpicture_slide/pekerja-membangun-dinding-pendingin-pltn-fukushima-daiichi-yang-rusak_150927135607-972.jpg

https://vid.alarabiya.net/images/2015/05/23/00d5a3f8-cbfc-43a8-9786-df3b23c29886/00d5a3f8-cbfc-43a8-9786-df3b23c29886_16x9_788x442.jpg

<http://images.mapsofindia.com/my-india/2015/02/nuclear-liability-law.jpg>

<https://jmf.com/wp-content/uploads/Licensing-Street-Sign.jpg>

https://physics.aps.org/assets/03ada0fc-a41b-448f-b057-9b952be2f531/e79_1.png

http://media.insidecounsel.com/insidecounsel/article/2014/02/04/020414_licensing_agreement52.jpg

Secara umum, keselamatan instalasi nuklir dapat dipahami sebagai kemampuan sistem dan personil untuk, pertama, mencegah terjadinya kecelakaan, dan, kedua, jika terjadi kecelakaan, untuk mengurangi konsekuensinya. Sistem dasar ini juga dikembangkan untuk keselamatan PLTN dan diterapkan untuk semua fasilitas nuklir termasuk dari ujung belakang siklus bahan bakar, terutama pemrosesan kembali, pengelolaan dan pembuangan limbah radioaktif.

In general terms, the safety of a nuclear installation can be understood as the ability of its systems and personnel to, first, prevent accidents from occurring, and, second, should an accident occur, to mitigate its consequences. This basic system, well developed for NPP safety, is also applied to all nuclear facilities including those of the back end of the fuel cycle, and notably reprocessing, waste management and disposal.

Sifat dan kondisi fasilitas dan proses yang diadopsi di fasilitas daur bahan bakar nuklir sangat berbeda dari mereka yang terlibat dalam reaktor nuklir. Dengan demikian, bahaya keamanan sekarang memiliki sifat dan tingkat yang berbeda. Bahan radioaktif yang harus ditangani terdapat di banyak bagian dari fasilitas siklus bahan bakar, tetapi umumnya dalam bentuk yang lebih sedikit daripada di PLTN.

The nature and conditions of plants and processes adopted in nuclear fuel cycle facilities (front and back-end) are very different from those involved in nuclear reactors and thus present safety hazards of different nature and degree. Radioactive materials to be handled are present in many parts of FC facilities but, generally, in a less concentrated form than in nuclear reactors.

Selanjutnya, fasilitas daur bahan bakar nuklir, termasuk instalasi olah-ulang, dioperasikan pada suhu dan tekanan yang relatif rendah dan dalam kondisi subkritis, sehingga mengandung energi potensial yang lebih tinggi. Pemanfaatan proses-proses dalam suatu sistem dan penanganan cairan dan serbuk radioaktif dan memiliki potensi bahaya. Berkaitan dengan keselamatan repositori geologi dalam, fungsi dan kondisi yang khas yang mencirikan fasilitas ini memerlukan penanganan bahaya tertentu dan penerapan fitur keamanan yang spesifik.

Furthermore, nuclear fuel cycle facilities, including reprocessing plants, are operated at relatively low temperatures and pressures and in subcritical conditions, thus holding a more contained potential energy content. The introduction of processes in a system and the handling of radioactive liquids and powders have the potential of posing added hazards. With regard to the safety of deep geological repositories, the distinctive functions and conditions characterizing these facilities require addressing certain hazards and implementing specific safety features.

Sumber gambar/Source of picture:

http://static.republika.co.id/uploads/images/inpicture_slide/pekerja-membangun-dinding-pendingin-pltn-fukushima-daiichi-yang-rusak-_150927135607-972.jpg
<http://www.tckpublishing.com/wp-content/uploads/2014/01/Book-Publishing-costs.jpg>
<https://www.dlupal.com/blog/wp-content/uploads/2013/03/Bild.png>
<http://www.abc.net.au/radionational/image/4561712-3x2-700x467.jpg>
<http://www.utilities-me.com/pictures/gallery/MCCB/300x200/Barakah%20NPP%20Unit%202.jpg>
<http://www.cpsisc.com.au/resources/BMA%20Images/HR.jpg>

Kualitas Pengungkung
Quality Confinement



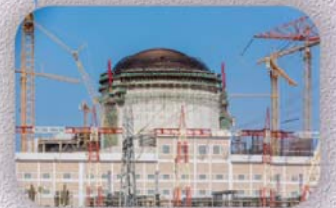
Biaya
Cost



Prosedur Penanganan
Handling Procedure



Keselamatan
Safety

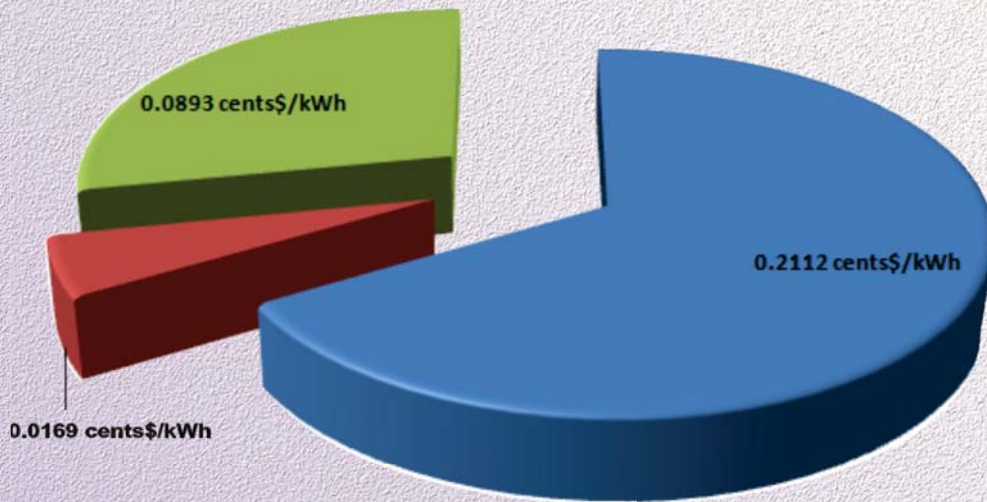


Fasilitas/ Bangunan
Facility/Building



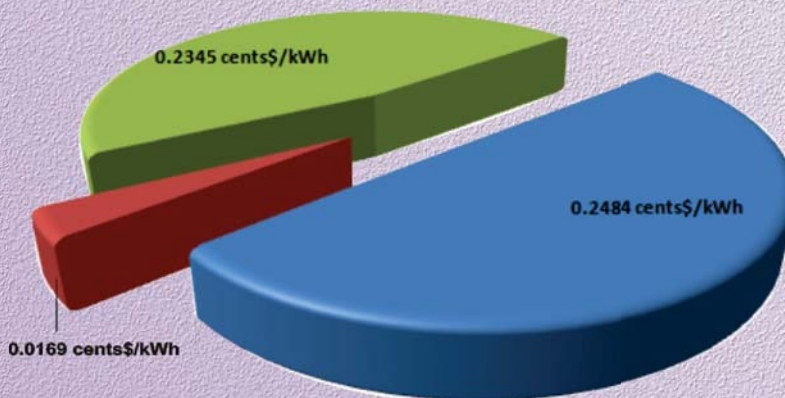
Kompetensi SDM
Human Resource
Competence

Biaya *Back-End* PLTN 1000 MWe/ *Back-End Cost PLTN 1000 MWe*



- **Pembuangan Bahan Bakar Nuklir/
*Nuclear Fuel Disposal***
- **Tempat sementara/Pembuangan Limbah
*Temporary on-site/Waste Disposal***
- **Biaya Dekomisioning/
*Decommissioning cost***

Biaya *Back-End* SMR 100 MWe/ *Back-End Cost SMR 100 MWe*



- **Pembuangan Bahan Bakar Nuklir/
*Nuclear Fuel Disposal***
- **Tempat sementara/Pembuangan Limbah
*Temporary on-site/Waste Disposal***
- **Biaya Dekomisioning/
*Decommissioning cost***

Biaya *life-cycle maintenance* meliputi biaya *back-end* dan biaya dekomisioning. Biaya dekomisioning diperlakukan sebagai biaya operasi dan perawatan melalui penyisihan sejumlah dana setiap tahun sejak awal operasi PLTN hingga akhir umur PLTN tersebut. Perlakuan yang sama juga dilakukan terhadap biaya *back-end*.

Life-cycle maintenance costs include the cost of back-end and cost of decommissioning. Decommissioning cost is treated as operating and maintenance cost by setting aside some funds each year since the beginning of the operation of nuclear power plant until the end of its life time. Similar procedure is carried out for the back-end cost.

Perkiraan biaya *back-end* sangat sulit, karena nilai *back-end cost* yang dilaporkan oleh negara-negara yang telah memiliki PLTN ternyata sangat bervariasi. Nilai biaya *back-end* rata-rata sebesar 1,554 US\$/MWh yang terdiri atas *disposal (nuclear fuel disposal)* sebesar 1,426 US\$/MWh dan *waste disposal (temporary on site storage)* sebesar 0,128 US\$/MWh yang berdasarkan harga estimasi tahun 2015. Beberapa negara Eropa dan Asia mempunyai biaya *back-end* rata-rata sebesar 2,03 US\$/MWh. Sedangkan di Amerika Serikat sebesar 1.09 US\$/MWh. Adanya dua jenis daur bahan bakar terbuka dan tertutup juga dapat mempersulit estimasi *back-end cost*. Biaya dekomisioning rata-rata sebesar 320 US\$/kWe berdasarkan estimasi tahun 2015.

Estimating the back-end cost is very difficult, because the back-end cost reported by the countries that already have operated nuclear power plants varies very much. The average back-end cost is 1,554 US\$/MWh consisting of nuclear fuel disposal cost of 1.426 US\$/MWh and waste disposal (temporary on-site storage) amounted to 0.128 US\$/MWh based on 2015's estimation. Some European and Asian countries have average back-end cost of 2.03 US\$/MWh, where as in the United States the back-end cost is 1.09 US\$/MWh. The presence of two types of fuel cycle, i.e. open and closed fuel cycle, might complicate the estimation of back-end cost. Decommissioning cost is 320 US\$/kWe in average based on 2015's estimation.

Life Cycle Maintenance Cost merupakan biaya yang dialokasikan untuk biaya penyimpanan bahan bakar bekas sementara (*on-site*), penyimpanan bahan bakar bekas lestari, dan biaya dekomisioning. Biaya dekomisioning dialokasikan setiap tahun selama masa operasi PLTN sampai batas umurnya.

Life cycle maintenance cost is the cost allocated for temporary spent fuel storage (on-site), spent fuel final disposal cost, and decommissioning costs. Decommissioning costs is allocated each year during the period of operation of nuclear power plant until its lifetime.



batan



BAB 5 / Chapter 5

Proyeksi Produksi Limbah PLTN Indonesia *Projection on Indonesia NPP Waste Production*

• Limbah Padat PLTN/ <i>NPP Solid Waste</i>	76
• Limbah Cair PLTN/ <i>NPP Liquid Waste</i>	79
• Limbah Gas PLTN/ <i>NPP Gasses Waste</i>	81
• Produksi Limbah LILW dari PLTN/ <i>LILW Production from NPP</i>	83
• Produksi BBN Bekas dari PLTN/ <i>Spent Fuel Production from NPP</i>	85
• Proyeksi Kapasitas Total PLTN/ <i>Projection of NPP Total Capacity</i>	86
• Proyeksi Limbah LILW/ <i>LILW Waste Projection</i>	89
• Proyeksi Limbah BBN Bekas/ <i>Spent Fuel Waste Projection</i>	90
• Proyeksi Biaya Back-End/ <i>Back-End Cost Projection</i>	93
• Rekomendasi Penyimpanan BBN Bekas/ <i>Recommendation for Disposal</i>	94

LIMBAH PADAT PLTN/ NPP SOLID WASTE

Limbah padat yang timbul dari PLTN cukup banyak. Berbagai macam limbah padat, seperti kain, kertas dan kotak/bungkusan kecil karbon aktif, kertas, cover sepatu, pakaian laboratorium, filter bekas dari sistem zat cair dan filter bekas dari sistem sirkulasi udara, dan lain-lain.

Solid waste arising from nuclear power plants is quite a lot. An assortment of solid waste include, for example, cloth, paper and box/small packets of activated carbon, paper, cover shoes, laboratory clothing, the used filter from liquid and filter system of the air circulation system, et cetera.

Limbah padat dibagi dalam limbah padat yang terbakar dan tidak terbakar, serta terkompaksi dan tidak terkompaksi. Limbah padat yang timbul ini lebih dari 90% termasuk dalam aktivitas sangat rendah dan hanya 10% yang mengandung nuklida aktif dengan paparan kontaknya lebih kecil 0,5 mGy/h.

Solid waste is divided into flammable and inflammable solid waste, and compacted and uncompact solid waste. The generated solid waste consists of 90% very low activity is very low and only 10% active radionuclide whose exposure is less than 0.5 m Gy/h.

Jumlah limbah radioaktif padat yang ditimbulkan tiap tahun dari operasi PLTN 1000 atau 900 MWe adalah sekitar 1.200 m³. Jumlah total limbah padat berkisar antara 300-400 drum/tahun dengan 10%-nya berisi tingkat sedang. Selain limbah padat tersebut di atas, ada limbah padat hasil pengolahan dari limbah gas dan limbah cair.

Tipe Limbah Type of Waste	Volume Tahunan Annual Volume (m ³)	Aktivitas Tahunan Annual Activity (Ci)
Endapan dari evaporator Sludge from evaporator	25 - 26	100 - 115
Resin bekas Spent resin	30 - 40	1000 - 6000
Endapan dari filter Sludge from filter	45 - 130	25 - 30

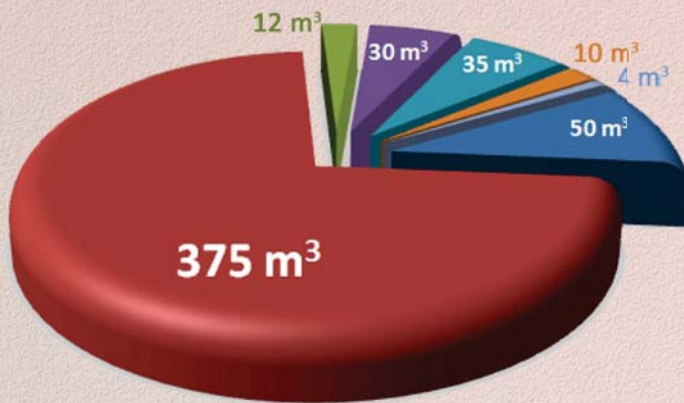
Radionuklida yang terdapat dalam limbah padat antara lain : Sr-90, Y-91, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Ru-106, Ag-110m, Te-129m, I-131, Cs-134, Cs-136, Cs-137, Ce-144, Cr-51, Mn-54 Fe-55, Fe-59, Co-58 dan Co-60.

The amount of solid radioactive waste generated each year by the operation of 1000 or 900 MWe nuclear power plants is about 1,200 m³. The total amount of solid waste ranges between 300-400 drums/year, 10% of which contains intermediate level. In addition to the above-mentioned solid waste, there is solid waste generated by gaseous and liquid waste reprocessing. Radionuclides contained in solid waste, among others, are Sr-90, Y-91, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Ru-106, Ag-110m, Te-129m, I-131, Cs-134, Cs-136, Cs-137, C-144, Cr-51, Mn-54, Fe-55, Fe-59, Co-58 and Co-60.

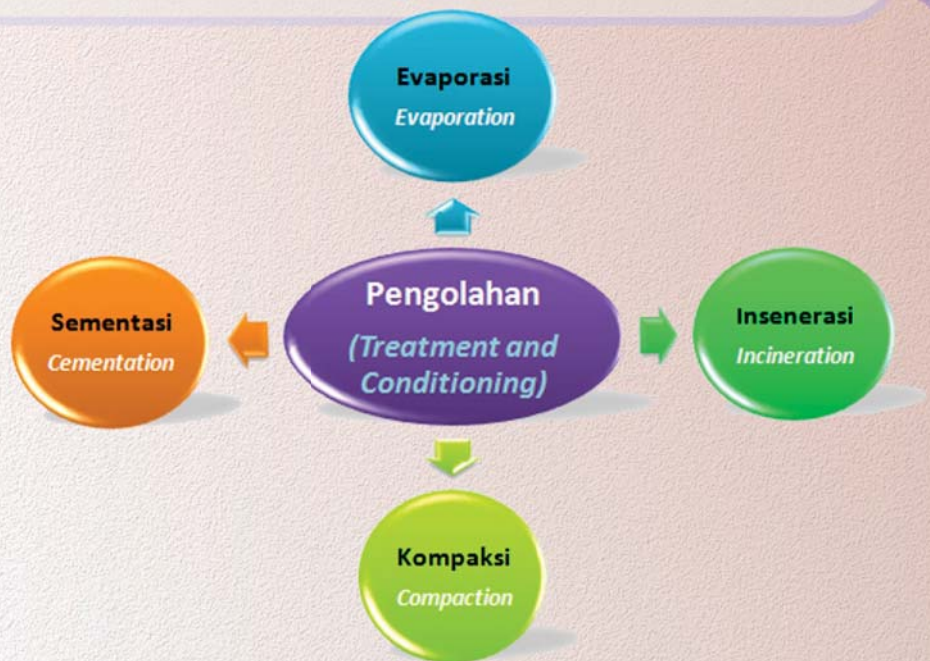
Produk fisi berumur panjang yang dominan adalah Cs-137 (30 tahun, gamma 0,6 Mev), sedangkan Fe-59 (45 hari, gamma 1,1 Mev) merupakan nuklida hasil aktivasi yang agak susah pengelolaannya untuk jangka pendek.

Predominant long-lived fission product is Cs-137 (30 years, gamma 0.6 Mev), while Fe-59 (45 days, gamma 1.1 Mev), whose short-term management is difficult, is resulted from nuclide activation.

Volume Limbah Sebelum Diolah per Tahun (m³)
The Annual Waste Volume Before Treatment (m³)



- Cair tersolidifikasi/Solidified liquid
- Kain mudah terbakar, plastik, kayu/Combusible rag, poly-sheet, wood
- Karet, arang bekas/Rubber, spent charcoal
- Resin bekas/Spent resin
- Filter udara tidak mudah terbakar/Incombustible air filter
- Filter cairan tidak mudah terbakar/Incombustible liquid filter
- Isolasi tidak mudah terbakar/Incombustible insulation



300-400 drum
200 Liter

Volume Akhir per Tahun
The Annual Final Volume

Limbah Cair <i>Liquid Waste</i>	PWR 1000 MWe (Bq/tahun)	BWR 1000 MWe (Bq/tahun)	PHWR 900 MWe (Bq/tahun)
Tritium <i>H-3</i>	$2,0 \times 10^{13}$	$2,2 \times 10^{12}$	$7,0 \times 10^{13}$
Total Nuklida Lain <i>Total Other Nuclides</i>	$2,7 \times 10^{10}$	$3,7 \times 10^9$	$5,0 \times 10^9$



Limbah Radioaktif Cair
Liquid Radioactive Waste



Limbah Radioaktif Semi Cair
Semi Liquid Radioactive Waste

Sumber gambar/*Source of picture:*
 Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN

Limbah radioaktif cair yang ditimbulkan dari PLTN secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu aktivitas rendah dan aktivitas sedang.

Liquid radioactive waste generated from nuclear power plants can generally be divided into two parts, namely a low activity and medium activity.

Limbah radioaktif cair ini kebanyakan berasal dari pendingin reaktor baik pendingin primer maupun pendingin sekunder, kebocoran-kebocoran pada katup, pompa-pompa, bocoran pada lantai, limbah cucian (*laundry*), limbah dekontaminasi, larutan regenerasi resin, personil dekontaminasi (*shower*) dan lain-lain.

Liquid radioactive waste is mostly derived from either the primary coolant of the reactor coolant and the secondary coolant, leaks in valves, pumps, leaks in floors, laundry waste, sewage decontamination, resin regeneration solution, personnel decontamination (shower), etcetera.

Jenis radionuklida yang terdapat dalam limbah radioaktif cair antara lain H-3, Na-24, Cr-51, Mn-54, Fe-55, Fe-59, Co-58, Co-60, Ni-63, Zn-65, Sr-89, Sr-90, Sr-91, Y-90, Zr-95, Mo-99, I-31, I-132, Cs-134, Cs-136, Cs-137 dan lain-lain. Radionuklida dalam limbah radioaktif cair tersebut berasal dari aktivasi air pendingin, produk fisi yang lolos dan larut dalam air pendingin, dan produk korosi yang teraktivasi.

Types of radionuclides contained in liquid radioactive waste, among others, are H-3, Na-24, Cr-51, Mn-54, Fe-55, Fe-59, Co-58, Co-60, Ni-63, Zn-65, Sr-89, Sr-90, Sr-91, Y-90, Zr-95, Mo-99, I-31, I-132, Cs-134, Cs-136, Cs-137, etcetera. Radionuclides in liquid radioactive waste are derived from the activation of the cooling water, fission product released and dissolved in cooling water, and activated corrosion products.

Limbah radioaktif cair yang timbul dari PLTN jumlahnya cukup besar, akan tetapi limbah radioaktif cair tersebut dapat diolah melalui reduksi volume limbah dengan berbagai cara seperti evaporasi, pengendapan, penggunaan membran, filter dan resin penukar ion. Setelah mengalami pengolahan, volume limbah akan tereduksi. Limbah cair selanjutnya di immobilisasi (pengungkungan) melalui proses pemadatan dengan semen/polimer.

Liquid radioactive waste arising from nuclear power plants is quite large, but the liquid radioactive waste can be processed through the reduction of waste volume by various means such as evaporation, precipitation, use of membranes, filters and ion exchange resins. After being reprocessed, the waste will experienced volume reduction. Liquid waste is then immobilized (confined) through the compaction process with cement/polymer.

Limbah Gas Gas Waste	PWR 1000 MWe (Bq/tahun)	BWR 1000 MWe (Bq/tahun)	PHWR 900 MWe (Bq/tahun)
Gas Mulia Noble Gas	$2,0 \times 10^{13}$	$1,9 \times 10^{14}$	$5,0 \times 10^{11}$
Iodin Iodine	$1,5 \times 10^8$	$3,7 \times 10^{11}$	$1,9 \times 10^8$
Karbon-14 C-14	$2,0 \times 10^{10}$	$3,4 \times 10^{11}$	$1,2 \times 10^{14}$
Tritium H-3	N.A	N.A	$1,2 \times 10^{14}$



Sumber gambar/*Source of picture:*
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN

Limbah radioaktif gas dari PLTN biasanya berupa produk fisi (hasil belah) yang timbul akibat reaksi fisi pada bahan bakar yang bisa lolos keluar dari kelongsong bahan bakar. Secara umum limbah gas yang timbul antara lain adalah:

- Gas mulia (noble gas),
- Iodine,
- Karbon-14, dan
- Tritium

Radioactive waste from nuclear power plants is usually in the form of gas fission products (fission product) resulting from fission reactions in the fuel that is released from the fuel cladding. In general, the generated gaseous waste includes:

- *The noble gases (noble gas),*
- *Iodine,*
- *Carbon-14, and*
- *Tritium*

Gas mulia terbentuk dari produk fisi dan biasanya terbawa dalam bentuk gas, antara lain Kr-85, Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-131m, Xe-133m, Xe-135m, Xe-135, dan Xe-138. Terbentuknya Karbon-14 di dalam sistem pendingin reaktor disebabkan oleh adanya aktivasi isotop Oksigen-17 dan Nitrogen-14 oleh neutron. Jumlah Karbon-14 terbesar yang terbentuk disebabkan oleh reaksi $O\ 17\ (n,\alpha)\ C\ 14$, sedangkan jumlah Karbon-14 yang terbentuk dari reaksi $N\ 14\ (n,\ p)\ C\ 14$ jauh lebih sedikit. Sementara itu, sumber utama timbulnya tritium ($1\ H\ 3$) didalam reaktor air tekan (PWR) adalah dari pembelahan rangkap tiga, reaksi tangkapan neutron oleh boron, deuterium, litium yang ada dalam air pendingin, dan dari *Control Element Assemblies (CEAs)*.

Noble gas that is formed from the fission products and is usually released in the form of gas, i.e. Kr-85, Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-131m, Xe-133m, Xe-135m, Xe-135, and Xe-138. The formation of carbon-14 in the reactor coolant system is caused by the activation of the isotope oxygen-17 and nitrogen-14 by neutrons. Carbon-14 is formed mostly due to the reaction of $O\ 17\ (n,\ \alpha)\ C\ 14$, while less amount of carbon-14 that is formed through the reaction of $14\ N\ (n,\ p)\ C\ 14$. Meanwhile, the main source of the emergence of tritium ($1\ H\ 3$) in the pressurized water reactor (PWR) is caused by triple splitting, neutron capture reaction by boron, deuterium, and lithium present in the cooling water, and by control element assemblies (CEAs).

Tipe Reaktor Reactor Type	Jumlah Reaktor Number of Reactor	Kapasitas Terpasang Installed Capacity (GWe)	Persentase Total Kapasitas Percentage of Total Capacity	Volume Volume (m ³)	Aktifitas Activity (TBq/y)
AHWR	2	2.6	0.75	1,300	1,300
AGR	14	8.4	2.4	5,450	5,030
BWR	89	77	22	38,400	38,400
FBR	3	1	0.3	520	520
GCR	20	3.4	1	17,000	3,400
LWGR (RBMK)	18	13.5	3.86	20,270	13,500
PHWR	31	16	4.55	3,130	1,600
PWR	206	196	56.3	49,100	20,000
WWER	49	31	8.86	18,550	18,560
TOTAL	432	349	100	349	100

Beberapa referensi memberikan perkiraan cukup konsisten dari jumlah limbah yang khas yang dihasilkan oleh jenis reaktor yang berbeda, sehingga penilaian jumlah LILW yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga nuklir dimungkinkan.

Several references give fairly consistent estimates of the typical waste amounts generated by the different reactor types, enabling the assessment of LILW amounts generated by nuclear power plants.

Untuk reaktor air ringan (LWR), tiga referensi dipertimbangkan: volume limbah PWR dan kegiatan jauh lebih rendah (hampir dengan faktor 3) dari nilai BWR terkait. Produksi limbah tahunan yang dilaporkan per Gwe adalah 513 m³ (dengan 549 TBQ) untuk BWR dan 177 m³ (dengan 112 TBQ) untuk PWR.

For light water reactors (LWRs), three references were considered: PWR waste volumes and activities are substantially lower (almost by a factor of 3) than the corresponding BWR values. Reported annual waste production per GWe is 513 m³ (with 549 TBq) for BWRs and 177 m³ (with 112 TBq) for PWRs.

PRODUKSI LIMBAH LILW DARI PLTN/ LILW PRODUCTION FROM NPP

Terdapat perbedaan yang serupa antara PWR dan BWR, tetapi dengan nilai-nilai yang agak lebih besar, yaitu 613 m³ dengan 1.180 TBQ untuk BWR dan 338 m³ dengan 27 TBQ untuk PWR.

There is a similar variance between PWRs and BWRs, but with somewhat larger values, i.e. 613 m³ with 1180 TBq for BWRs and 338 m³ with 27 TBq for PWRs.

Sebuah laporan ketiga [13] memberikan perkiraan yang sama untuk volume LILW yang dihasilkan oleh LWR dengan 600 dan 200 m³ masing-masing untuk BWR dan PWR. Mengenai aktivitas limbah, nilai yang diperkirakan memiliki kisaran yang lebar, yaitu 2,24–224 TBQ dan 0,74–74 TBQ masing-masing untuk BWR dan PWR; yang menunjukkan ketidakpastian yang besar dalam perkiraan ini.

A third report [13] gives similar estimates for the volumes of LILW generated by LWRs with 600 m³ and 200 m³, respectively for BWRs and PWRs. Regarding the activity of the waste, the estimated values have a wide range, i.e. 2.24 to 224 TBq and 0.74 to 74 TBq for BWRs and PWRs, respectively, which indicates the large uncertainty in these estimates.

Akibatnya jumlah LILW tahunan yang dihasilkan dari LWR diasumsikan sebesar 500 m³ dengan 550 TBQ untuk BWR dan 200 m³ dengan 100 TBQ untuk PWR. Beberapa jenis reaktor lain memiliki nilai yang berbeda tergantung pada karakteristik reaktornya.

Consequently, the assumed annual generation of LILW for LWRs is 500 m³ with 550 TBq for BWRs and 200 m³ with 100 TBq for PWRs. Some other reactor types have different values depending on the characteristics of the reactors.

Tipe Reaktor Reactor Type	Volume Volume (m ³)	Aktivitas Activity (TBq)
AHWR	500*	500*
AGR	650	600*
BWR	500	500
FBR	500*	500*
GCR	5000	1000*
LWGR (RBMK)	1500	1000*
PHWR	200	100*
PWR	250	100
WWER	600	600

***Nilai yang ditandai dengan tanda bintang, tidak diambil dari referensi, dan merupakan perkiraan, menunggu ketersediaan informasi yang dapat dipercaya**
***Values marked with an asterisk, were not taken from references, and are estimates, pending the availability of reliable information**

Negara Country	Lokasi Site	Pembangkit Plant	Tipe Bahan Bakar Fuel Type				TOTAL
			GCR	LWR	FBR	MOX	
Belgia Belgium	Mol	Eurochemic ^a	19 ^b	86			105
Perancis France	Marcoule	Up1	18,000 ^c				18,000
	La Hague	UP2/UP3		18,000	10	9.6	18,020
German Germany	Karlsruhe	WAK ^a		180			180
India India	Marcoule	pp					5,030
	La Hague	Prefe-1					38,400
Jepang Japan	Mol	TRP		1,000	18 ^d		1,018
Rusia Russian Fed.	La Hague	RT-1	3500				3,500
Inggris UK	Karlsruhe	B205	40,000 ^e				40,000
	Karlsruhe	Thorp		3,800 ^f			3,800
	Karlsruhe	UKAEA RP			14		14
Total Total			58,019	26,760	33	9.6	84,822

^aFasilitas Tutup/*Closed Facility*

^bCANDU, GCR, dan lainnya/*CANDU, GCR and other*

^cUNGG/UNGG

^dBahan Bakar Bekas dari Fugen/*Spent Fuel from Fugen*

^eMAGNOX/MAGNOX

^fLWR/AGR/LWR/AGR

Bahan bakar bekas dan HLW mengandung aktivitas terbesar dari zat radioaktif yang dihasilkan oleh fisi nuklir. HLW cair umumnya disimpan dalam tangki, sebelum pematatan (vitrifikasi). Karena konsentrasi yang sangat tinggi dari radionuklida dan laju pembangkitan panas yang tinggi, bahan bakar bekas dan HLW perlu dikelola dengan sangat hati-hati.

Spent fuel and HLW contain by far the largest activity of the radioactive substances produced by nuclear fission. Liquid HLW is generally stored in tanks, prior to eventual solidification (vitrification). Due to their very high concentrations of radionuclides and high heat generation rate, spent fuel and HLW require to be managed with the greatest care.

Biasanya, dari satu tahun operasi LWR 1 GWe, elemen bakar nuklir bekas yang mengandung sekitar 30 sampai 50 metrik ton logam berat (MTHM) dihasilkan, dengan aktivitas awal sekitar 5,0-8,3 E6 TBQ.

Typically, from one year of operation of 1 GWe LWR, spent fuel assemblies containing around 30 to 50 metric tons of heavy metal (MTHM) are generated, with a corresponding initial activity of around 5.0 to 8.3 E6 TBq.

Prosedur pengolahan saat ini akan mengkonversi bahan bakar bekas menjadi 15 m³ HLW er vitrifikasi (reduksi enam kali lipat atas dua dekade terakhir). Dengan menggunakan perkiraan pembangkitan HLW ter vitrifikasi sebesar 400 liter per MTHM dari bahan bakar

PRODUKSI BBN BEKAS DARI PLTN/ SPENT FUEL PRODUCTION FROM NPP

bekas, produksi HLW sedunia mencapai sekitar 34000 m³. Aktivitas HLW, dengan asumsi bahwa BBN bekas yang diolah-ulang tiga tahun setelah keluar dari reactor dan bahwa vitrifikasi HLW berlangsung setelah satu tahun berikutnya (dengan mengabaikan peluruhan radioaktifnya), dapat diperkirakan sebesar 4,2 E7 TBQ.

Current reprocessing procedures would convert such an annual arising of spent fuel into 15m³ of vitrified HLW (a six fold reduction over the past two decades). Using the estimated generation of vitrified HLW of 400 litres per MTHM of spent fuel, the global production of about 34,000 m³ of HLW is obtained. The corresponding activity of HLW, assuming that spent fuel is reprocessed three years after being discharged from the reactor and that vitrification of HLW takes place after one additional year (ignoring subsequent radioactive decay), can be estimated as 4.2 E7 TBq.

Laporan database terpadu Amerika Serikat menunjukkan rasio massa bahan bakar bekas (MTHM) terhadap volume (m³) menjadi 2,5 untuk LWR, yang memungkinkan volume bahan bakar bekas yang terkumpul ditaksir.

The American integrated data base report [7] shows the ratio of spent fuel mass (MTHM) to volume (m³) to be 2.5 for LWRs, which allows the volume of accumulated spent fuel to be assessed.

Pihak-pihak yang terlibat dalam persetujuan bersama yang memiliki PLTN Contracting Parties to the Joint Convention that have NPP's	Jumlah Perakitan Number of Assembly	Masa/Ton Logam Berat Mass/Heavy Metal Ton
Argentina/Argentina		3,234
Belgia/Belgium	2,668	4300
Brazil/Brazil	943	113 ^{note 1}
Bulgaria/Bulgaria	6,341	943
Kanada/Canada	1,793,168	33,858
Cina/China ^{note 2}		
Ceko/Czech	7,555	882
Finlandia/Finland	9,019	1,377
Perancis/France		10,920
Jerman/Germany		4,738
Hongaria/Hungary	6,355	743 ^{note 3}
Itali/Italy	2,058	237
Jepang/Japan		13,000
Korea/Rep. of Korea		7,286
Lituania/Lithuania	16,087	1,318 ^{note 4}
Belanda/Netherlands		0.43
Romania/Romania	40,312	762 ^{note 5}
Rusia/Russia		18,500
Slovakia/Slovakia	10,609	1,263 ^{note 6}
Slovenia/Slovenia	732	285
Afrika Selatan/South Africa ^{note 7}		
Spanyol/Spain	9,676	3,196
Swedia/Sweden	24,129	4,957
Swiss/Switzerland	3,728	737
Inggris/UK		9,585
Ukraina/Ukraine ^{note 8}		
Amerika/USA		49,335 ²
Total/Total		176,419

Catatan 1

Note 1

Catatan 2

Note 2

Catatan 3

Note 3

Catatan 4

Note 4

Catatan 5

Note 5

Catatan 6

Note 6

Catatan 7

Note 7

Catatan 8

Note 8

Brazil : Berat dihitung dengan asumsi 120 kg per perakitan

Brazil : Weight was calculated assuming 120 kg per assembly

Cina menjadi pihak yang terlibat setelah pertemuan tinjauan kedua

China became Contracting Party after the Second Review Meeting

Hongaria : Berat dihitung dengan asumsi 117 kg per perakitan

Hungary : Weight was calculated assuming 117 kg per assembly

Lituania : Berat dihitung dengan asumsi 113 kg per perakitan

Lithuania : Weight was calculated assuming 113 kg per assembly

Romania : Berat dihitung dengan asumsi 18,9 kg per bundel CANDU

Romania : Weight was calculated assuming 18.9 kg per CANDU bundle

Slovakia : Berat dihitung dengan asumsi 119 kg per perakitan

Slovakia : Weight was calculated assuming 119 kg per assembly

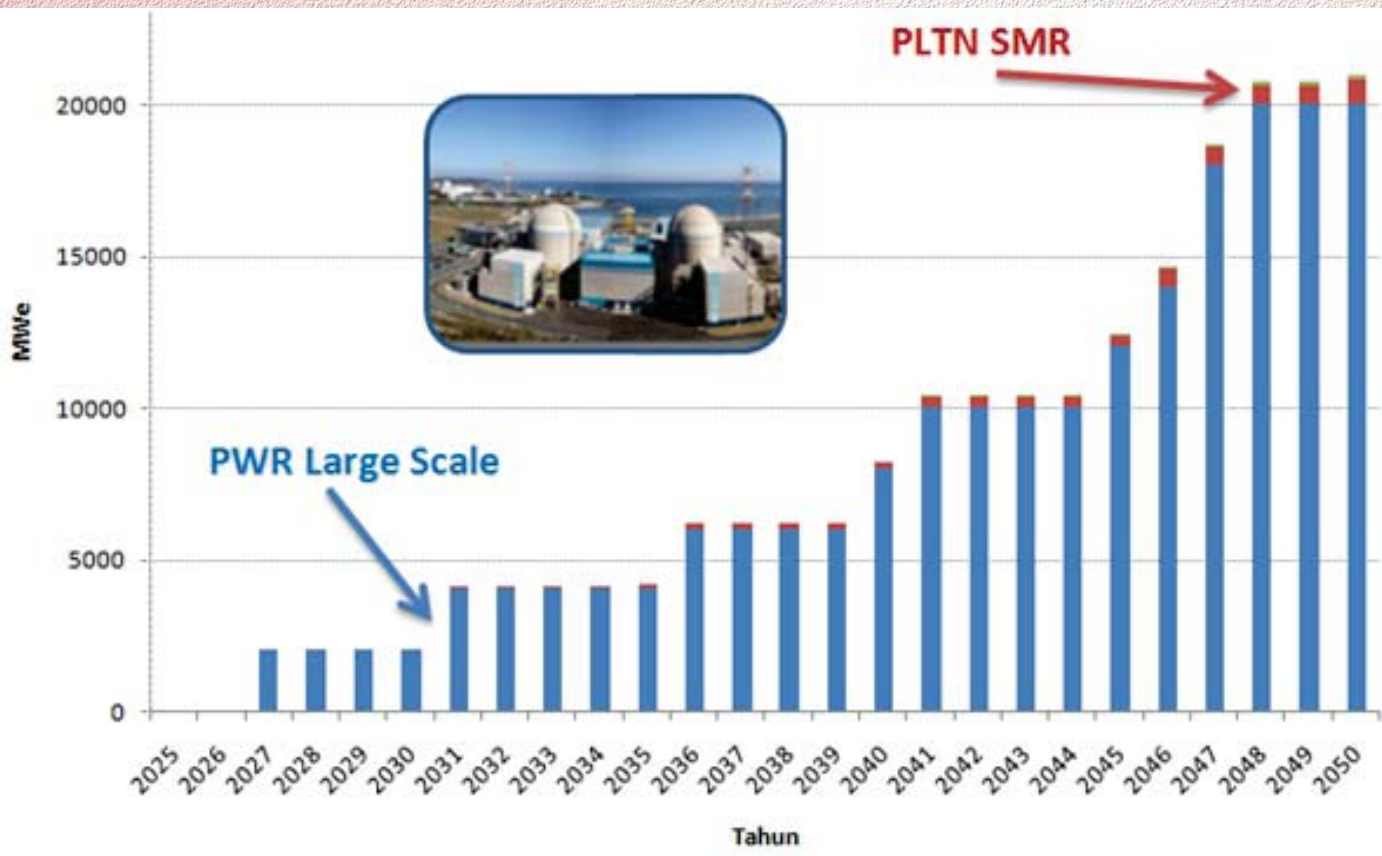
Afrika Selatan menjadi pihak yang terlibat setelah pertemuan tinjauan kedua

South Africa became Contracting Party after the Second Review Meeting

Ukraina belum membuat Laporan Nasional yang tersedia untuk umum

Ukraine has not made the National Report publicly available

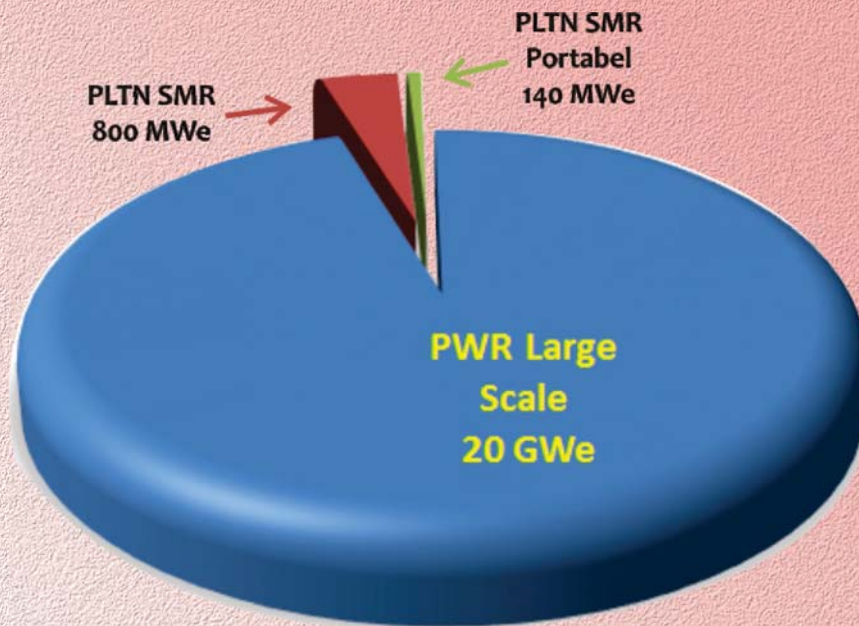
PROYEKSI KAPASITAS TOTAL PLTN/ PROJECTION OF NPP TOTAL CAPACITY



PLTN diproyeksikan mulai beroperasi pada tahun 2027 dengan kapasitas 2×1000 MWe, dimana kedua unit berada dalam satu lokasi. Kapasitas PLTN diperkirakan akan mencapai 4,1GWe pada tahun 2035 dan mencapai sekitar 21 GWe pada tahun 2050. Jumlah PLTN pada tahun 2050 diperkirakan mencapai 28 unit dengan komposisi 20 unit berkapasitas 1000 MWe, 5 unit berkapasitas 100 MWe dan 200 MWe, serta 3 unit dengan kapasitas 35 MWe dan 75 MWe.

NPP is projected to start operating in 2027 with a capacity of 2×1000 MWe, where both units are in one location. The capacity of nuclear power is expected to reach 4.1 GWe by 2035 and reaches about 21 GWe in 2050. The number of units of nuclear power plants by 2050 is estimated to amount to 28 units: 20 units with a capacity of 1000 MWe, 5 units with a capacity of 100 MWe and 200 MWe, as well as 3 units with a capacity of 35 MWe and 75 MWe.

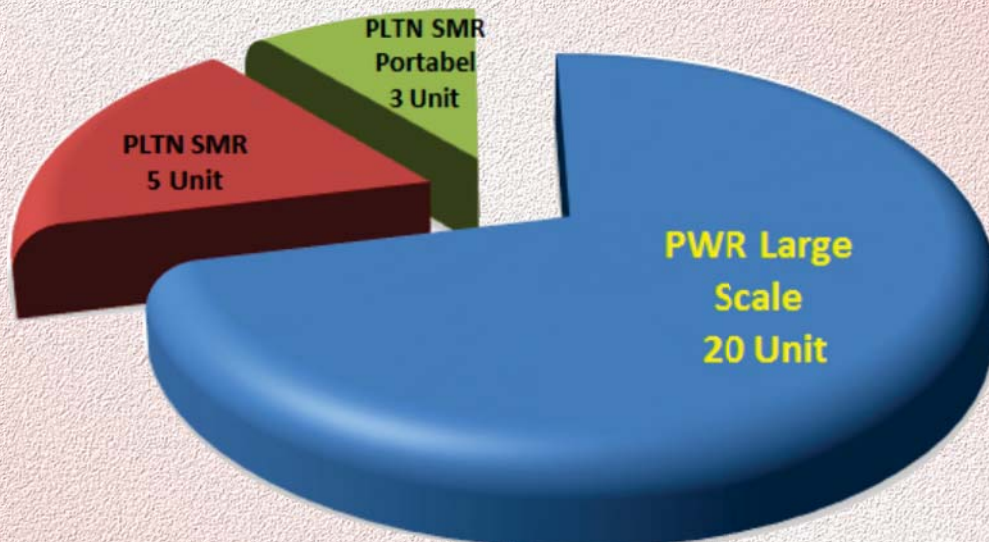
PLTN kapasitas besar dipersiapkan untuk wilayah Jawa dan Sumatra, karena beban yang cukup besar dan jaringan transmisi yang memadai. PLTN untuk Jawa diproyeksikan akan beroperasi pada tahun 2027, 2036, 2041, 2046, 2047 dan 2048. PLTN untuk Sumatra diproyeksikan beroperasi pada tahun 2031, 2035, 2041, 2045 dan 2047. PLTN SMR untuk Kalimantan diproyeksikan beroperasi tahun 2031, 2035, 2041, 2046 dan 2050. PLTN mini dengan ukuran 35 MWe dan 70 MWe dimanfaatkan untuk pulau lainnya dan diproyeksikan mulai tahun 2041, 2046 dan 2049.

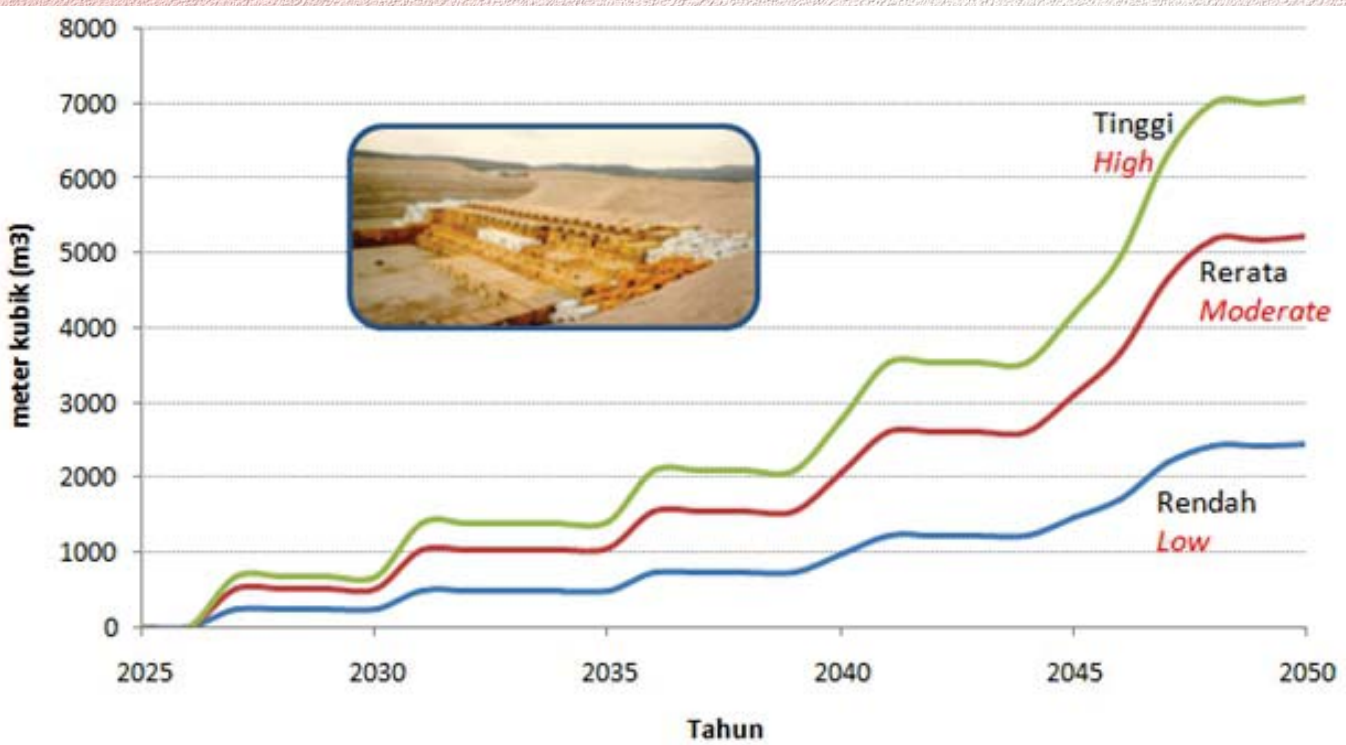


NPPs large capacity are prepared for Java and Sumatra, because of the substantial load and adequate grid transmission network. NPPs for Java are projected to be operational in 2027, 2036, 2041, 2046, 2047 and 2048. NPPs for Sumatra are projected to operate in 2031, 2035, 2041, 2045 and 2047. SMR NPPs for Kalimantan are projected in operation in 2031, 2035, 2041, 2046, and 2050. Mini nuclear power plant with a size of 35 MWe and 70 MWe is provided for other islands and is projected to start in 2041, 2046, and 2049.

PLTN SMR portabel dapat dimanfaatkan untuk daerah terisolasi karena Indonesia berbentuk kepulauan, atau untuk keperluan non-komersil militer, karena PLTN ini dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik barak untuk tentara, radar, landasan udara dan fasilitas militer lainnya.

Portable SMR NPP can be deployed for isolated are as in Indonesian archipelago, or for non-commercial military purposes, because this NPP can be used to meet the electricity needs for the army barracks, radar, military runways, and other military facilities.





Produksi limbah LILW diproyeksikan dengan tiga skenario berdasarkan pengalaman negara-negara pemilik PLTN yang dilaporkan secara resmi ke IAEA. Skenario tersebut mencakup skenario produksi tinggi, produksi rerata dan produksi rendah. Ketiga skenario digunakan dalam *outlook* energi nuklir Indonesia untuk memproyeksikan rentang angka produksi limbah LILW sehingga kebijakan dalam penanganan limbah LILW ini dapat diputuskan dengan tepat.

LILW waste production is projected by three scenarios based on the experience of countries with nuclear power plants, which were officially reported to the IAEA. Such scenarios include high production scenario, the average production and lower production. All three scenarios are used in Indonesia's nuclear energy outlook to estimate the production range of LILW waste so that policies on this LILW waste management can be decided appropriately.

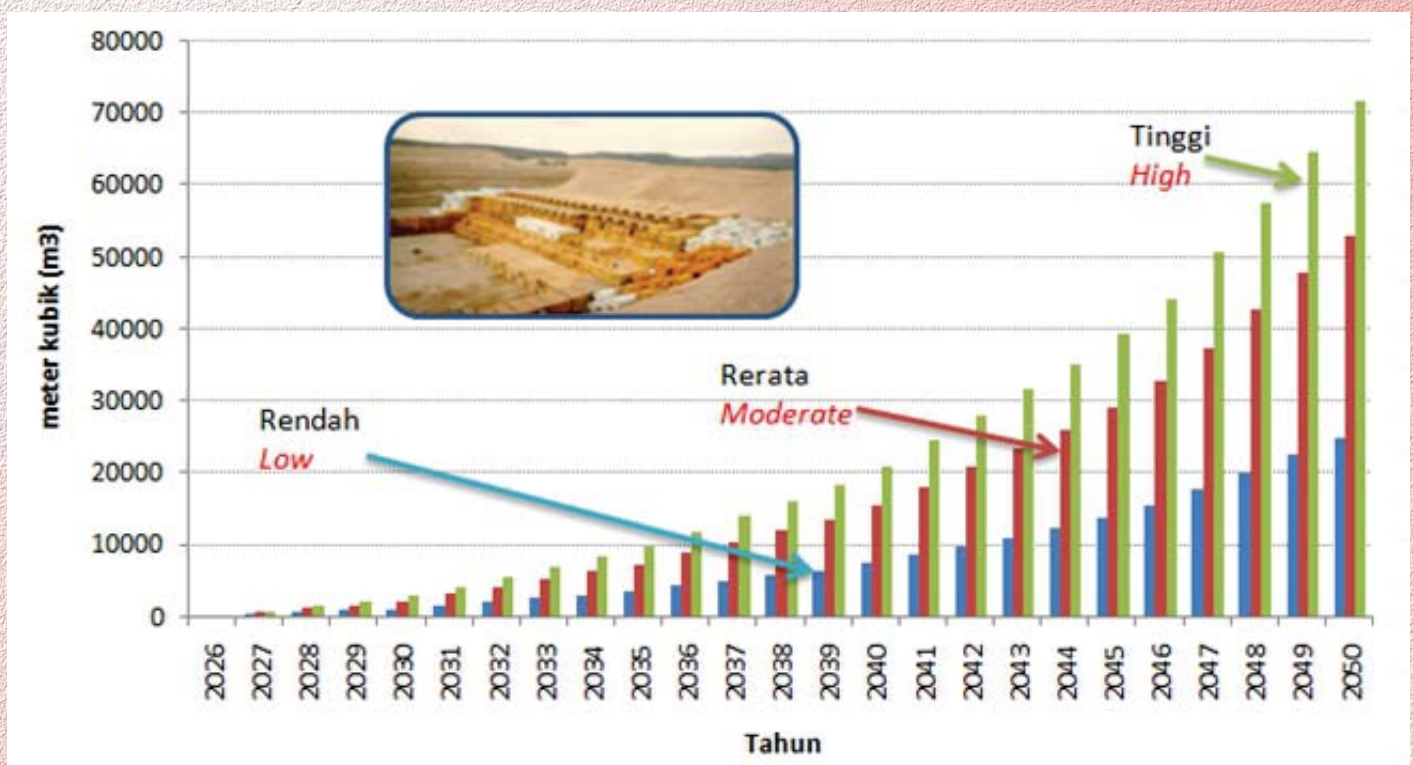
Produksi limbah LILW akan diproyeksikan pada tahun 2027 sebesar 234 m³/tahun untuk skenario rendah, 500 m³/tahun untuk skenario rerata dan 676 m³/tahun untuk skenario tinggi. Produksi limbah ini di tahun 2035 diproyeksikan akan mencapai 491 m³/tahun untuk skenario rendah, 1050 m³/tahun untuk skenario rerata dan 1420 m³/tahun untuk skenario tinggi. Produksi limbah pada tahun 2050 diproyeksikan mencapai 2450 m³/tahun untuk skenario rendah, 5235 m³/tahun untuk skenario rerata, dan 7078 m³/tahun untuk skenario tinggi.

PROYEKSI LIMBAH LILW/ LILW WASTE PROJECTION

The projected LILW generation in 2027 is amounted to 234 m³/year for the low scenario, 500 m³/year for the average scenario, and 676 m³/year for the high scenario. The waste production in 2035 is projected to reach 491 m³/year for the low scenario, 1,050 m³/year for the average scenario, and 1420 m³/year for the high scenario. Waste production in 2050 is projected to reach 2450 m³/year for the low scenario, 5235 m³/year for the average scenario, and 7078 m³/year for the high scenario.

Total akumulasi limbah LILW hingga tahun 2050 diproyeksikan mencapai 24.750 m³ untuk skenario rendah, 52.885 m³ untuk skenario rerata dan 71.500 m³ untuk skenario tinggi. Proyeksi nilai ini dapat digunakan sebagai acuan penyediaan fasilitas penyimpanan limbah LILW oleh BATAN sebagai lembaga yang berwenang.

The total accumulation of LILW by 2050 is projected to reach 24,750 m³ for the low scenario, 52,885 m³ for the average scenario, and 71,500 m³ for the high scenario. These projected figures can be used as a reference for the provision of LILW storage facilities by BATAN as the authorized institution.

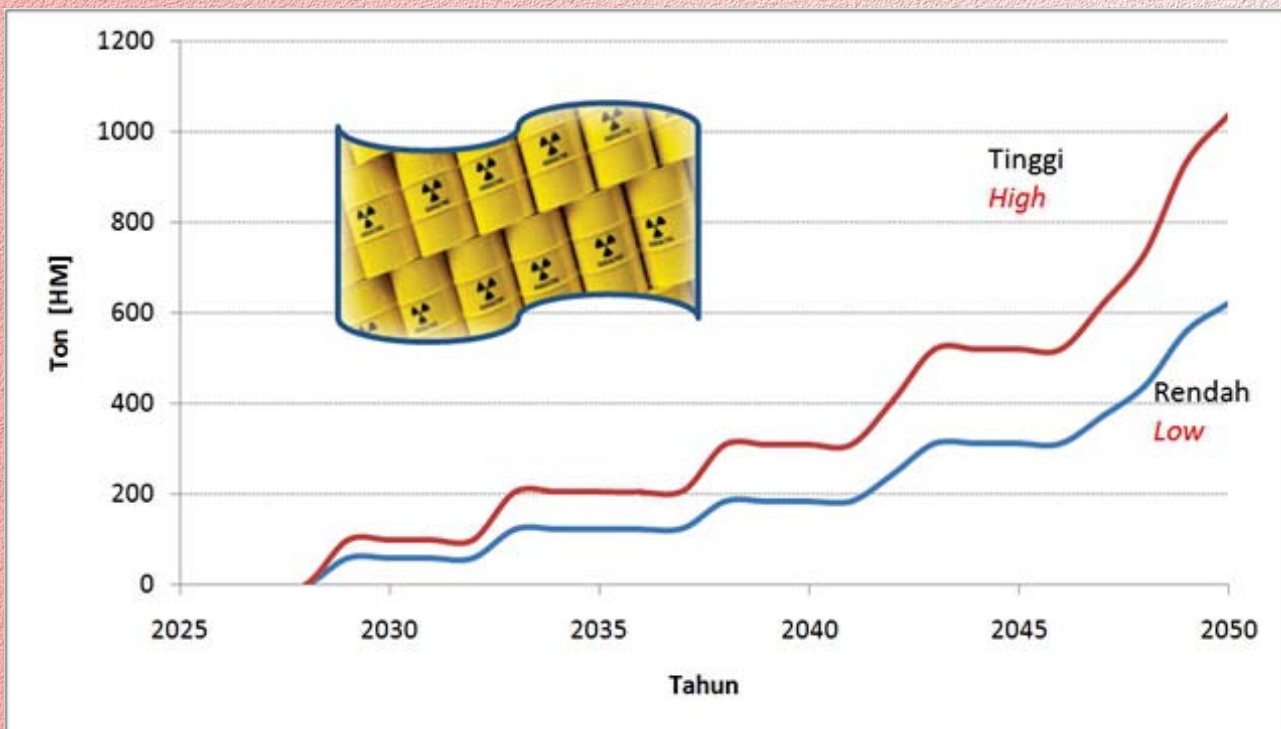


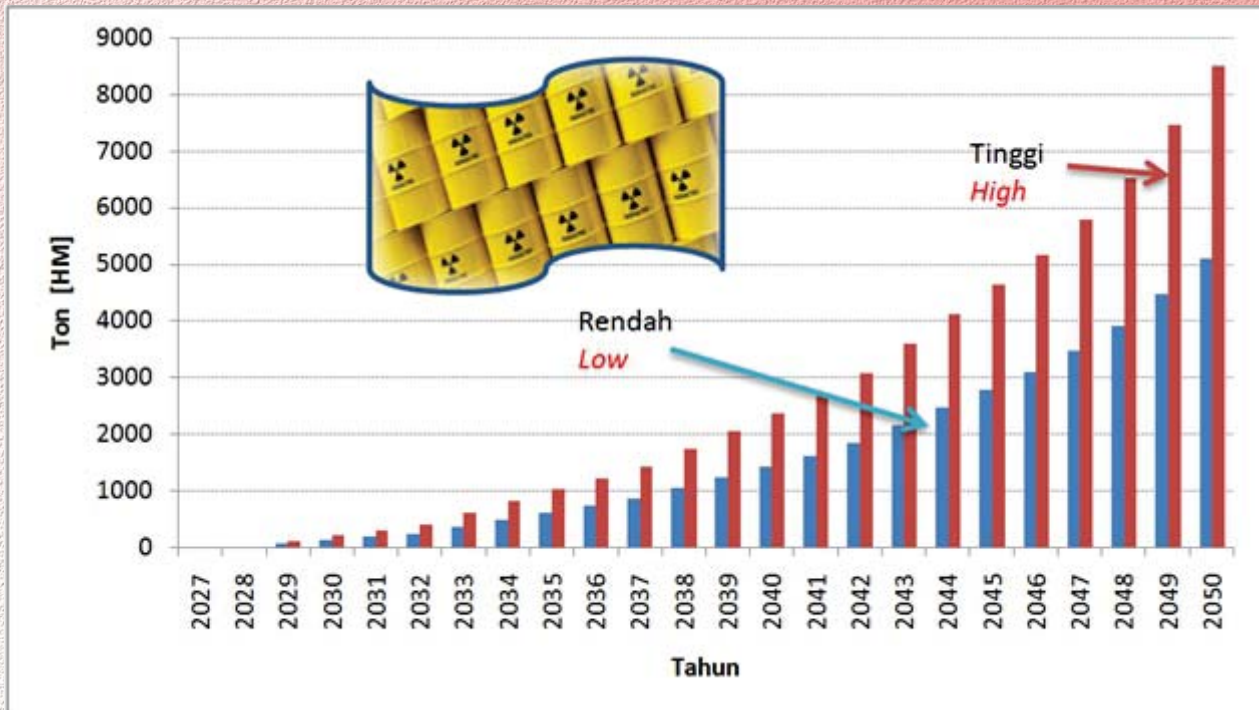
PROYEKSI LIMBAH BBN BEKAS/ SPENT FUEL WASTE PROJECTION

Produksi limbah BBN bekas diproyeksikan dengan dua skenario yaitu skenario rendah dan tinggi. Skenario ini berdasarkan pada berbagai laporan yang dikirimkan ke IAEA oleh negara-negara yang mengoperasikan PLTN. *Burn-up* bahan bakar yang menjadi acuan dalam skenario perhitungan produksi BBN bekas ini berkisar antara 45 GWd/ton hingga 60 GWd/ton.

The production of nuclear spent fuel is projected in two scenarios, i.e. low and high scenario. This scenario is based on various reports submitted to the IAEA by NPP operating states. Fuel burn-up fuel that is used as reference in the calculation of spent fuel generation ranges from 45 GWd/ton to 60 GWd/ton.

Produksi BBN bekas diproyeksikan mulai tahun 2029 dengan asumsi BBN telah mengalami satu siklus pembakaran selama 2 tahun sejak BBN mulai digunakan di PLTN. Pada tahun 2029 produksi BBN bekas diproyeksikan sebesar 60 ton HM/tahun untuk skenario rendah, dan sebesar 100 ton HM/tahun untuk skenario tinggi. Pada tahun 2035 diproyeksikan produksi BBN bekas mencapai 123 ton HM/tahun untuk skenario rendah, dan mencapai 205 ton HM/tahun untuk skenario tinggi. Pada tahun 2050 diproyeksikan produksi BBN bekas mencapai 622 ton HM/tahun untuk skenario rendah, dan mencapai 1037 ton HM/tahun untuk skenario tinggi.





Spent nuclear fuel generation is projected for the year 2029 by assuming that the nuclear fuel will have been experiencing one cycle in reactor for 2 years operation of NPP. By 2029, the projected nuclear spent fuel reaches 60 tonnes HM/year for the low scenario and 100 tonnes HM/year for the high scenario. By 2035, it is projected that the generation of nuclear spent fuel is amounted to 123 tons HM/year and 205 tons HM/year for the low scenario and high scenario, respectively the projected nuclear spent fuel generation in 2050 reaches 622 tons HM/year for the low scenario, and 1037 tons HM/year for the high scenario.

Akumulasi produksi BBN bekas diproyeksikan mulai tahun 2029 sebesar 60 ton HM untuk skenario rendah, dan sebesar 100 ton HM untuk skenario tinggi. Akumulasi untuk tahun 2050 diproyeksikan akan mencapai 5096 ton HM untuk skenario rendah, dan mencapai 8493 ton HM untuk skenario tinggi.

The accumulated spent fuel generation by 2029 is amounted to 60 tons HM for the low scenario, and around 100 tons HM for the high scenario. Meanwhile, the accumulated figure for the year 2050 is projected to reach 5,096 tons HM for the low scenario and 8,493 tons HM for the high scenario.

Biaya Back-End (Juta US\$)



Biaya *back-end* diproyeksikan mulai dari tahun 2029 rata-rata sebesar US\$ 0,06 juta/tahun dengan skenario rendah sekitar US\$ 0,05 juta/tahun dan skenario tinggi sekitar US\$ 0,07/tahun. Biaya *back-end* tahun 2035 diproyeksikan mencapai nilai rata-rata sebesar US\$ 0,12/tahun dengan skenario rendah mencapai US\$ 0,11/tahun dan skenario tinggi mencapai US\$ 0,15/tahun. Biaya *back-end* tahun 2050 diproyeksikan mencapai nilai rata-rata sebesar US\$ 0,63 juta/tahun dengan skenario rendah mencapai US\$ 0,56 juta/tahun dan skenario tinggi mencapai US\$ 0,75 juta/tahun. Kenaikan biaya *back-end* sekitar 13,7%.

The 2029's back-end cost is projected to reach US\$ 0.06 million per year in average, and US\$ 0.05 and US\$ 0.07 per year for low and high scenario, respectively. The back-end cost in 2035 will be amounted to US\$ 0.12 million per year in average, US\$ 0.11 million per year for low scenario, and US\$ 0.15 million per year for high scenario. Meanwhile, it is projected for year 2050 that the average back-end cost will be US\$ 0.63 million per year and it will be US\$ 0.56 million and US\$ 0.75 million per year for low and high scenario, respectively. The average back-end cost increase is about 13.7%.

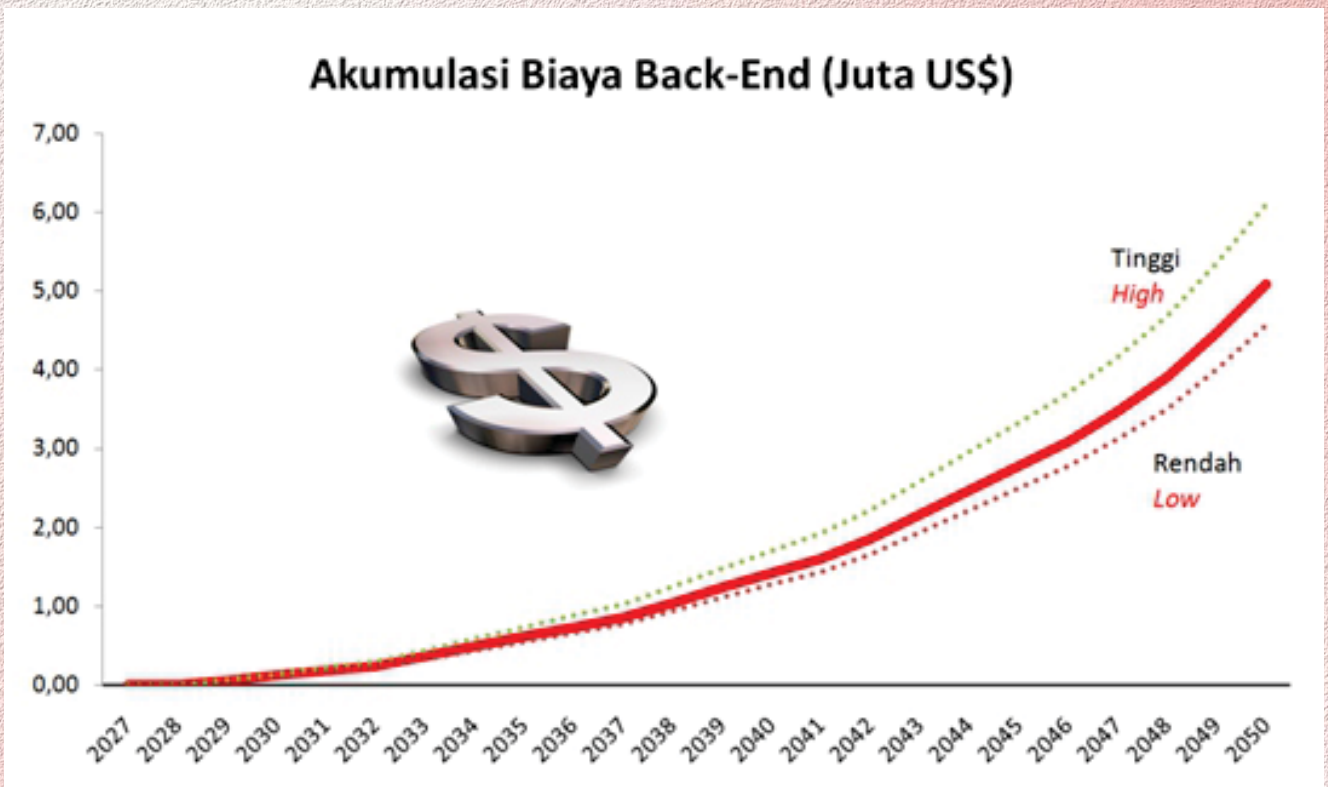
PROYEKSI BIAYA BACK-END/ BACK-END COST PROJECTION

Akumulasi biaya *back-end* diproyeksikan tahun 2029 rata-rata sebesar US\$ 0,06 juta dengan skenario rendah sekitar US\$ 0,05 juta dan skenario tinggi sekitar US\$ 0,07 juta. Akumulasi biaya *back-end* tahun 2035 diproyeksikan mencapai nilai rata-rata sebesar US\$ 0,61 juta dengan skenario rendah mencapai US\$ 0,55 juta dan skenario tinggi mencapai US\$ 0,73 juta. Akumulasi biaya *back-end* tahun 2050 diproyeksikan sebesar US\$ 5,08 juta dengan skenario rendah mencapai US\$ 4,57 juta dan skenario tinggi mencapai US\$ 6,09 juta. Pertumbuhan rata-rata kenaikan sebesar 24,7%.

The accumulated back-end cost for 2029's projection is US\$ 0.06 million in average and US\$ 0.05 million for low scenario and US\$ 0.07 million for high scenario. The 2035's accumulated back-end cost is projected to reach US\$ 0.61 million in average and US\$ 0.55 million and US\$ 0.73 million for low and high scenario, respectively. Meanwhile, for 2050, the accumulated back-end cost will be US\$ 5.08 million in average, US\$ 4.57 million for low scenario, and US\$ 6.09 million for high scenario. The average increase is 24.7%.

Besarnya biaya *back-end* memiliki potensi ekonomi bagi BATAN yang berwenang dalam pengelolaan limbah nuklir sesuai dengan peraturan dan undang-undang yang ada.

The back-end cost has economic potential for BATAN that has authority in nuclear waste management pursuant to the existing acts and regulation.

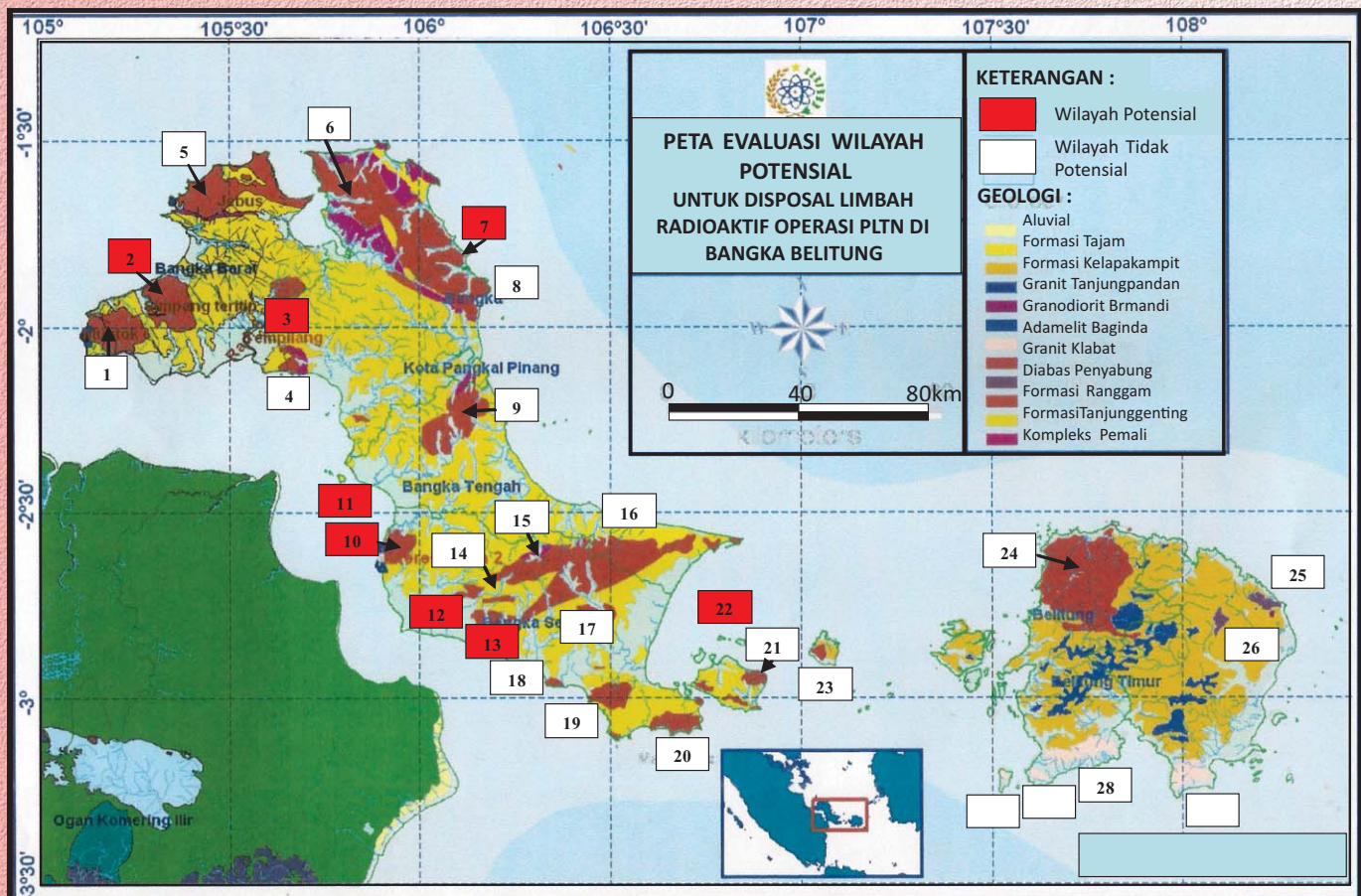


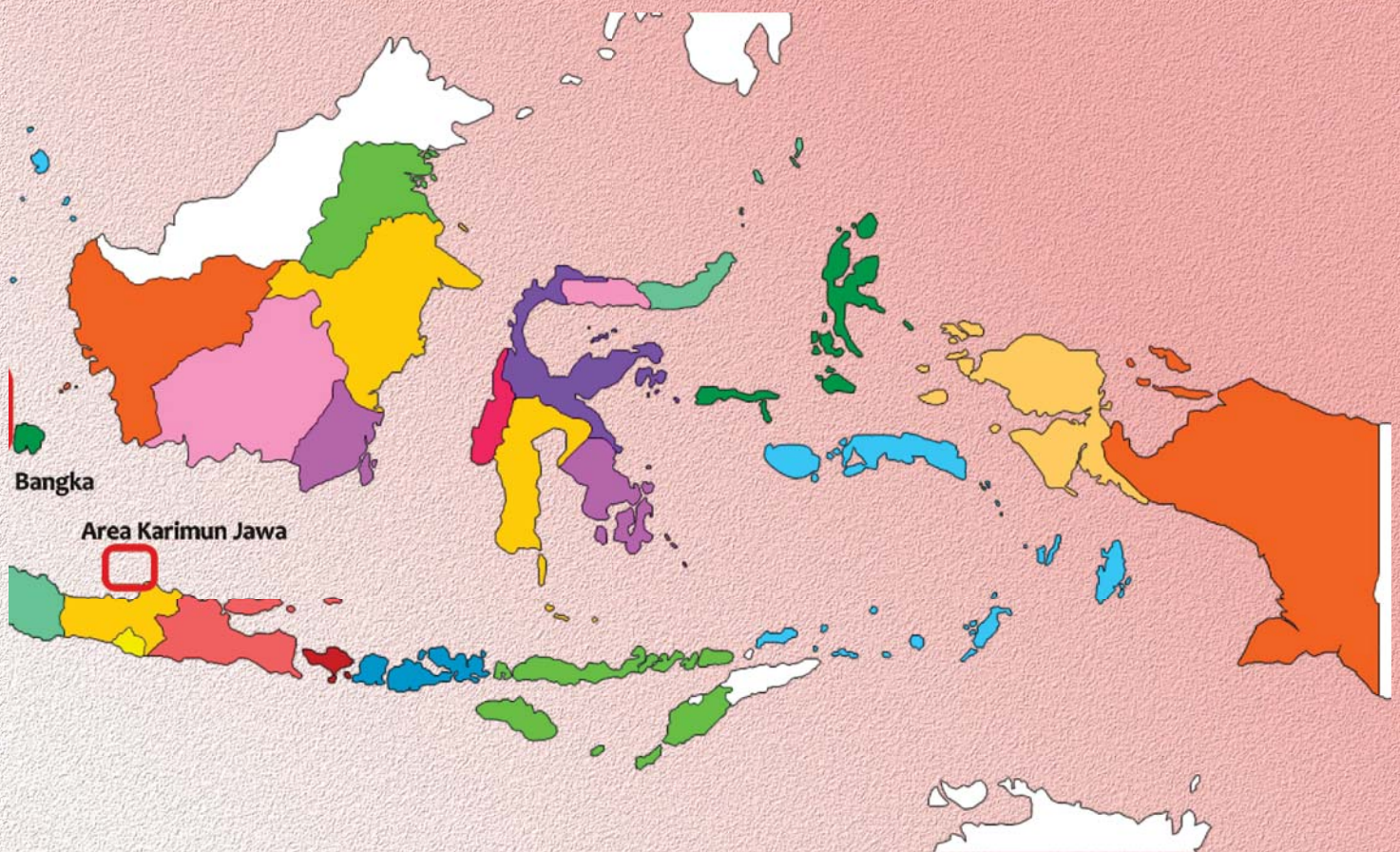
REKOMENDASI PENYIMPANAN BBN BEKAS/ RECOMMENDATION FOR DISPOSAL

Saat ini BATAN sedang melaksanakan kajian pra-kelayakan tapak PLTN di sepanjang pantai wilayah Kalimantan, sepanjang pantai Barat Daya untuk Kalimantan Barat, pantai Selatan untuk Kalimantan Tengah dan Selatan, serta sepanjang pantai Timur untuk Kalimantan Timur dan Utara. Tahap awal pra-kelayakan tapak ini fokus pada aspek kegempaan, kegunungpian, banjir pantai, hidrologi dan hidrogeologi, serta meteorologi.

Recently BATAN has been conducting a pre-feasibility study on the nuclear power plant site along the coast of Kalimantan, along the Southwestern coast of West Kalimantan, the Southern coast of Central and South Kalimantan, and along the Eastern coast of East and North Kalimantan. The initial stage of site pre-feasibility focuses on the following aspects: seismic, volcanics, coastal flooding, hydrology and hydrogeology, as well as meteorology.

Studi pra-kelayakan ini adalah untuk mempersiapkan tapak potensial PLTN SMR, sehingga akan mempercepat tahap persiapan jika pembangunan SMR akan direalisasikan kedepannya. Adapun wilayah di pulau-pulau lainnya seperti Sulawesi dan lainnya BATAN belum melaksanakan studi pra-kelayakan tapak PLTN SMR, karena belum ada indikasi perlunya PLTN SMR di wilayah tersebut, kecuali untuk keperluan non-komersil, misalnya SMR terapung atau portabel untuk memenuhi kebutuhan listrik markas militer yang terisolasi di suatu pulau.





This pre-feasibility study is to prepare a potential site for SMR nuclear power plant, which will accelerate the preparation stage if the development of SMR will be realized in the future. As for the regions in other islands, such as Sulawesi and other areas, BATAN has not performed any pre-feasibility study for SMR nuclear power plant site, because there is no indication of the need for SMR nuclear power plants SMR in the region, except for non-commercial purposes, such as floating or portable SMR to supply electricity to military base in an isolated island.

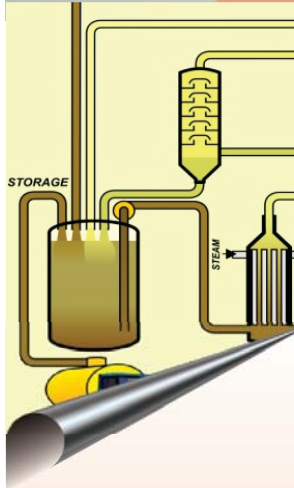
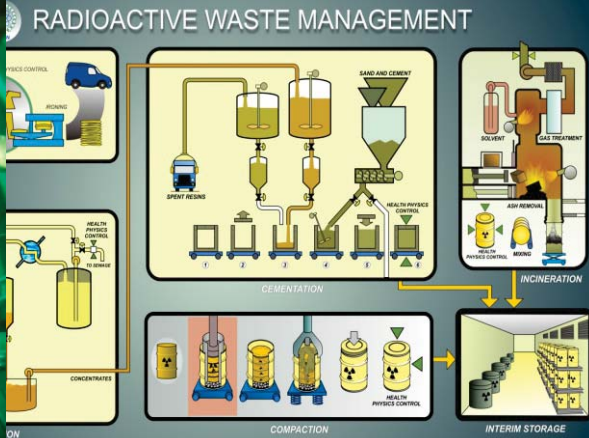
SMR terapung atau portabel akan mampu memenuhi kebutuhan markas militer seperti barak tentara, landasan udara, radar dan instalasi lainnya. Siklus pengisian bahan bakar yang bisa mencapai 3 tahunan akan menjadikan SMR memiliki kelebihan tersendiri jika dibandingkan pembangkit listrik portabel lainnya seperti pembangkit listrik diesel yang menggunakan bahan bakar HSD.

Floating or portable SMR will be able to meet the needs of military bases such as army barracks, runways, radar and other installations. Refueling cycle which is three years will make SMR has its own advantages when compared to other portable power generators such as diesel power plant that uses fuel HSD.

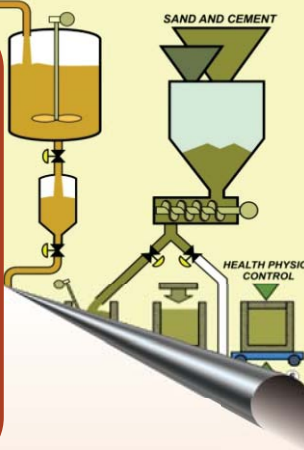
Sumber gambar/*Source of picture:*
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN
<http://beta.sonora-network.com/assets/images/map-indonesia.png>



batan



BAB 6 / Chapter 6
Fasilitas dan Litbang Limbah di BATAN
BATAN Waste Facilities and R&D



- **Evaporator/Evaporator** 98
- **Kompaktor/Compactor** 98
- **Pengolahan Kimia/Chemical Treatment** 100
- **Insenerator/Incinerator** 100
- **Kondisioning/Conditioning** 100
- **Sementasi/Cementation** 102
- **Penyimpanan/Storage** 102
- **Dekontaminasi/Decontamination** 104
- **Litbang Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif/Radioactive Waste Processing Technology Research and Development** 104
- **Litbang Dekontaminasi dan Dekomisioning/Research Decontamination and Decommissioning** 104
- **Litbang Pemilihan Lokasi Disposasi Limbah Radioaktif/Research Radioactive Waste Disposal Site Selection** 105
- **Standar Pelayanan/Service Standard** 105
- **Sistem Manajemen Mutu/Quality Management System** 106

Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dan fasilitas pendukung lainnya merupakan sarana dan prasarana untuk layanan pengelolaan limbah radioaktif padat dan cair yang berasal dari fasilitas internal BATAN maupun dari institusi/fasilitas eksternal seperti industri, rumah sakit, lembaga penelitian, dan lain-lain.

Radioactive Waste Treatment Plant (IPLR) and other supporting facilities are facilities and infrastructure for service management of solid and liquid radioactive waste originating from the BATAN's internal facilities and external institution/facilities, such as industry, hospitals, research institutions, and others.

EVAPORATOR/ EVAPORATOR

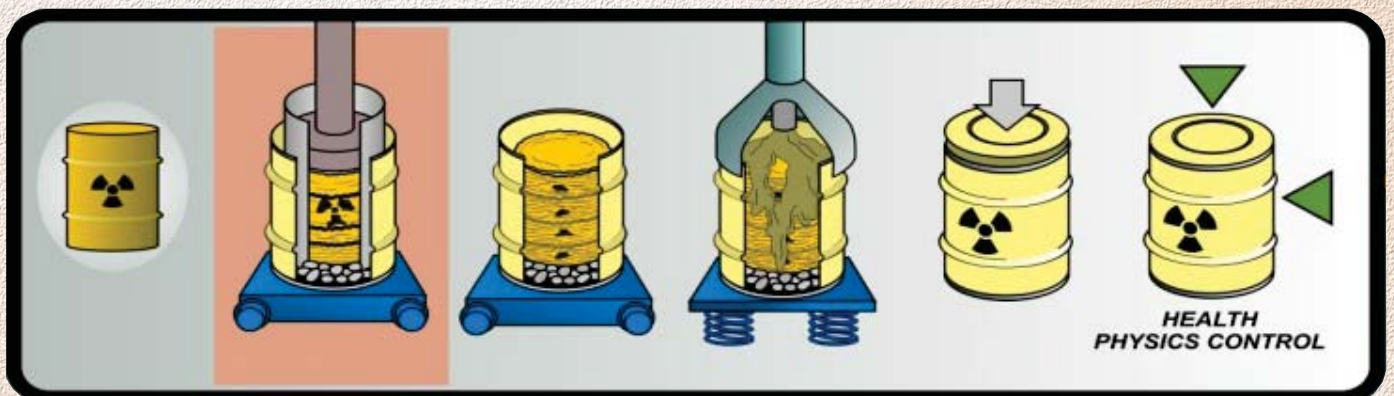
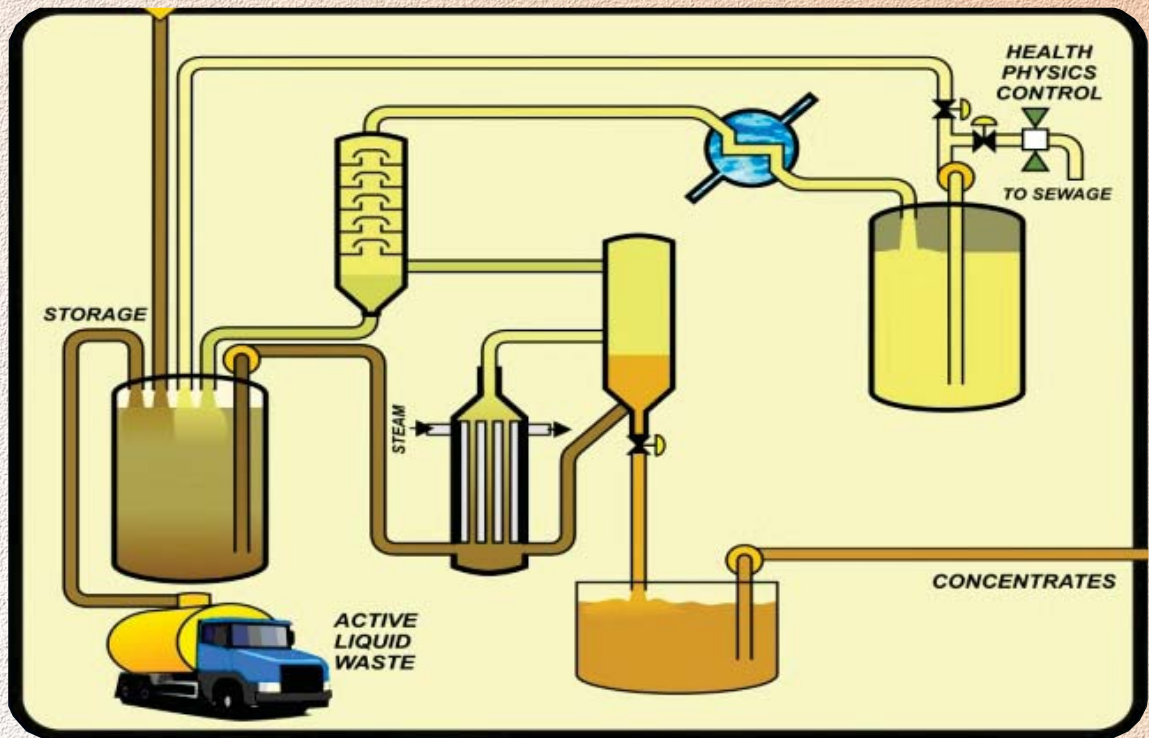
BATAN memiliki fasilitas instalasi evaporator. Fungsi instalasi tersebut adalah untuk mengolah limbah cair anorganik aktivitas rendah dan sedang dengan cara penguapan pada temperatur 100°C. Kapasitas tampung limbah radioaktif cair anorganik pra olah sebanyak 0,75 m³/jam. Hasil olahan berupa konsentrat limbah radioaktif dan destilat. Konsentrat selanjutnya diimobilisasi dengan matriks semen, sedangkan destilat dapat dibuang ke lingkungan.

BATAN has evaporator installation facility. Its function is to process the inorganic liquid waste of low and intermediate activity by evaporation at a temperature of 100°C. The capacity of pre-processed inorganic liquid radioactive waste is as much as 0.75 m³/h. The processed product is radioactive waste concentrate and distillate. This concentrate is then immobilized with cement matrix, while the distillate can be discharged into the environment.

KOMPAKTOR/ COMPACTOR

BATAN memiliki fasilitas instalasi kompaktor. Instalasi tersebut berfungsi untuk mengompaksi limbah padat aktivitas rendah dan sedang dengan gaya 600 KN. Hasil proses kompaksi dikapsulasi di dalam matriks semen. Kapasitas optimum proses unit kompaksi per minggu adalah 14 drum berukuran 100 liter dengan hasil terkompaksi sebanyak 2 drum berukuran 200 liter.

BATAN has a compactor installation facility. The installation serves to compact solid waste of low and intermediate activity with force of 600 KN. The compacted waste is encapsulated in cement matrix. The optimum capacity of the compacting unit per week is 14 drums of 100 liters per week with the compacted product is as many as 2 drums of 200 liters.



Sumber gambar/Source of picture:
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN

PENGOLAHAN KIMIA/ CHEMICAL TREATMENT

BATAN memiliki fasilitas instalasi pengolahan limbah kimia. Instalasi memiliki fungsi mengolah limbah cair korosif aktivitas rendah sampai sedang dengan cara kimia (presipitasi, koagulasi, dan flokulasi). Kapasitas optimum dari unit *chemical treatment* adalah 0,5 m³/hari dengan *reactor batch* berpengaduk. Produk berupa lumpur aktif (*sludge*) diimobilisasi dengan matriks semen di dalam wadah shell beton berukuran 950 liter.

BATAN has a chemical waste processing installation facilities. This installation has a function to process corrosive liquid waste having low to intermediate activity by chemical technique (precipitation, coagulation, and flocculation). The optimum capacity of the chemical treatment unit is 0.5 m³/day with a stirred batch reactor. The product, which is in the form of activated sludge (sludge), is immobilized with cement matrix cement in the concrete shell containers of 950 liters.

INSENERATOR/ INCINERATOR

BATAN memiliki fasilitas instalasi insenerator. Instalasi tersebut memiliki fungsi untuk membakar sempurna limbah organik cair dan limbah padat terbakar dengan temperature sampai dengan 1100°C. Kapasitas pembakaran adalah 50 kg/jam. Abu hasil pembakaran diimobilisasi dengan matriks semen di dalam wadah drum berukuran 100 liter.

BATAN has an incinerator installation facility. The installation has a function to burn completely organic liquid waste and flammable solid waste at temperature of up to 1100°C. The combustion capacity is 50 kg/hour. The resulting ash is immobilized with cement matrix in a 100 liter drum.

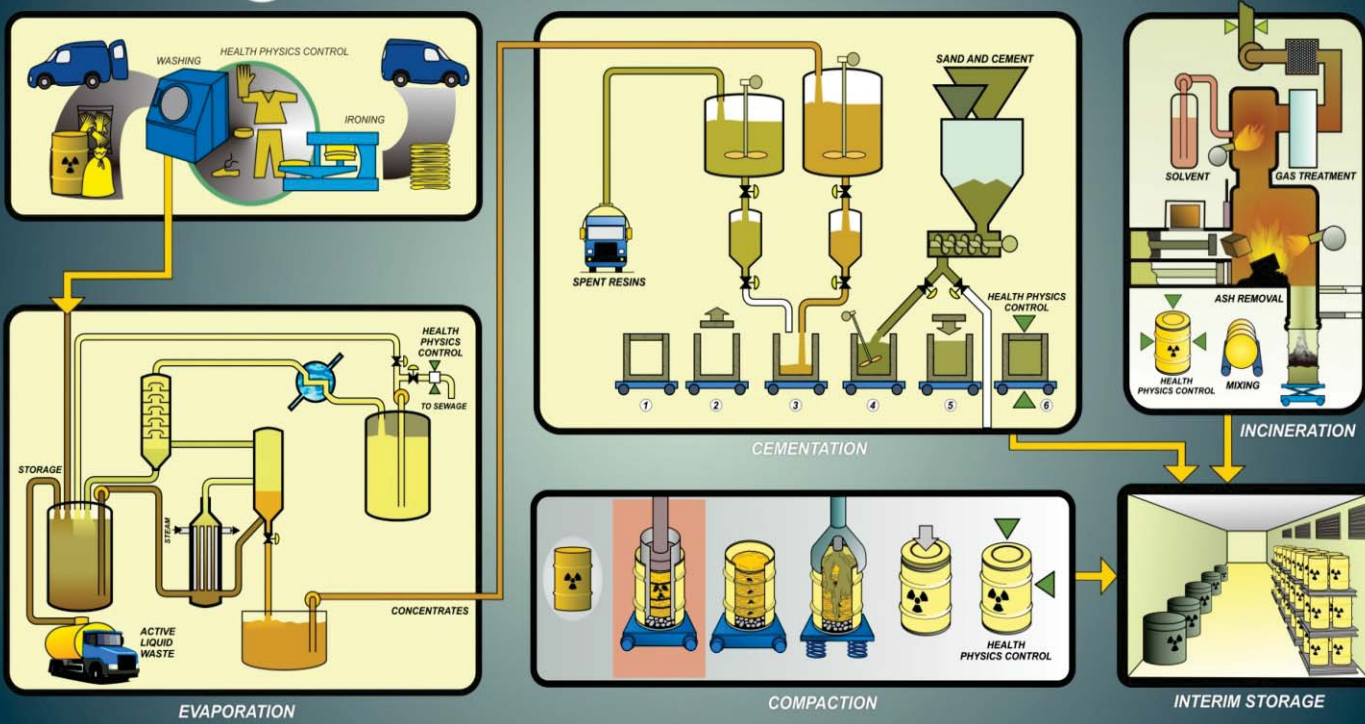
PENINGKONDISIAN/ CONDITIONING

BATAN memiliki fasilitas instalasi *Conditioning*. Instalasi tersebut memiliki fungsi untuk menangani sumber bekas. Sumber bekas berasal dari rumah sakit, industri maupun dari lembaga penelitian. Sumber bekas tersebut perlu dikelola dengan seksama untuk menjamin keselamatan manusia dan lingkungannya. Cara pengkondisian terhadap sumber bekas disesuaikan dengan sifat radionuklidanya.

BATAN has conditioning installation facility. The installation has a function to manage used sources. Used sources are obtained from hospitals, industries and research institutes. These used sources need to be managed carefully to ensure the safety of human and the environment. Conditioning techniques applied to the used sources are in accordance with the natural characteristics of their radionuclides.



RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT



Sumber gambar/Source of picture:
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN

SEMENTASI/ CEMENTATION

BATAN memiliki fasilitas instalasi sementasi. Instalasi tersebut berfungsi untuk mengimobilisasi konsentrat evaporasi dan limbah semi cair (resin bekas) dengan matriks semen di dalam wadah limbah shell beton 950 liter. Kemampuan optimal unit sementasi adalah 2 shell beton per minggu.

BATAN has installation facility of cementation. This installation serves to immobilize evaporation concentrate and semi-liquid waste (spent resin) with cement matrix in concrete shell container of 950 liters. The optimum capacity of this cementation unit is two concrete shells per week.

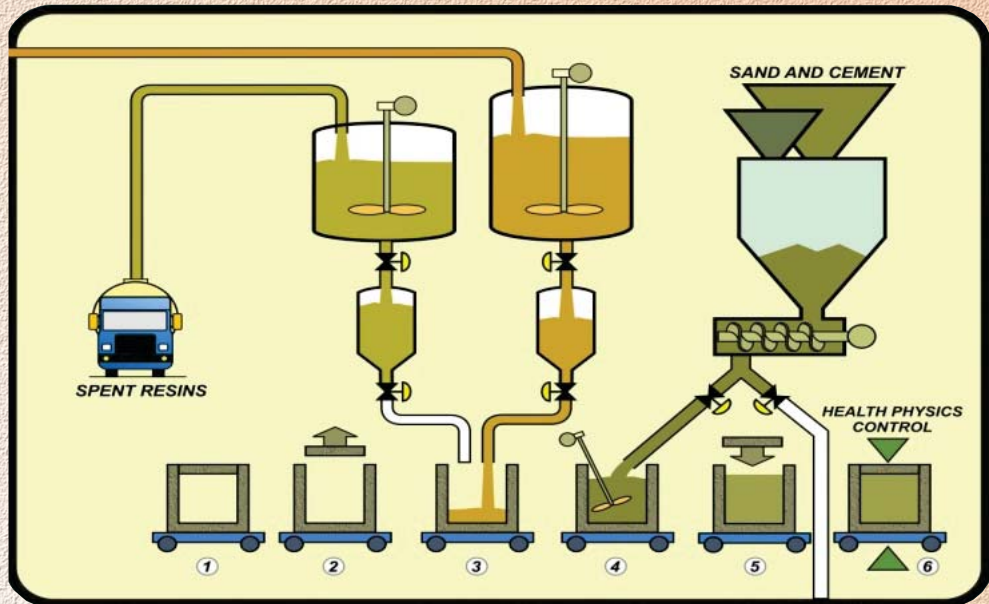
PENYIMPANAN/ STORAGE

BATAN memiliki fasilitas instalasi penyimpanan sementara limbah radioaktif. Instalasi tersebut terdiri dari :

- Penyimpanan Sementara Limbah Radioaktif (*Interim Storage IS 1 dan IS 2*):
Fasilitas penyimpanan hasil immobilisasi limbah radioaktif dan hasil kondisioning sumber bekas.
- Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KH-IPSB3):
Fasilitas penyimpanan bahan bakar nuklir bekas reaktor riset tipe basah.
- Penyimpanan Sementara Limbah Aktivitas Tinggi (PSLAT):
Fasilitas penyimpanan limbah radioaktif dengan pancaran radiasi tinggi $<962 \text{ TBq/m}^3$ (limbah ditampung dalam drum stainless steel 60/100 liter dan disimpan di dalam sumur fasilitas PSLAT).

BATAN has interim storage facility of radioactive waste. This installation consists of:

- *Radioactive waste interim storage (IS 1 and IS 2):*
Storage facility for the products of radioactive waste immobilization and used source conditioning
- *Transfer Channel of Spent Nuclear Fuel Interim Storage Installation (KH-IPSB3):*
Wet-type storage facility for research reactor spent fuel
- *High level waste interim storage:*
Storage facility of radioactive waste with high radiation exposure $<962 \text{ TBq/m}^3$ (the waste is collected in stainless steel drum of 60/100 liters and stored in facility's well.



Sumber gambar/Source of picture:
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN

DEKONTAMINASI/ DECONTAMINATION

BATAN memiliki fasilitas dekontaminasi. Fasilitas dekontaminasi memberikan layanan dekontaminasi pakaian kerja, *shoes cover*, peralatan-peralatan keselamatan kerja kecil maupun peralatan-peralatan di instalasi nuklir yang relatif besar, misalnya pompa, katup, motor, rumah filter, *ducting*, blower, dan lain-lain. Unit dekontaminasi yang tersedia di PTLR adalah laundry, bak perendam, ultrasonic, *sand blasting* dan *water jetting*.

BATAN has a decontamination facility. This decontamination facility serves to decontaminate work clothes, cover shoes, small safety equipment and relatively large nuclear equipment such as pumps, valves, motors, home filters, ducting, blowers, and others. The decontamination units available in PTLR include laundry, soaking tub, ultrasonic, sand blasting and water jetting.

PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN (LITBANG) TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF/ RADIOACTIVE WASTE PROCESSING TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT

Penelitian dan pengembangan tersebut meliputi litbang teknologi proses pengelolaan limbah aktivitas rendah, sedang dan tinggi, baik untuk mendukung proses Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif yang sudah ada agar lebih berhasil guna dan berdaya guna untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berhubungan dengan limbah radioaktif dari industri, maupun untuk mendukung beroperasinya PLTN dimasa mendatang.

The research and development (R&D) includes the R&D of treatment technology on low, intermediate, and high level waste in order to support the existing radioactive waste treatment installation, so that it is beneficial and useful for resolving any problems to radioactive waste generated from industries and to support the NPP operation in the future.

LITBANG DEKONTAMINASI DAN DEKOMISIONING/ RESEARCH DECONTAMINATION AND DECOMMISSIONING

Litbang tersebut meliputi litbang teknologi dekontaminasi pada sistem dan peralatan reaktor riset, fasilitas nuklir lainnya, maupun PLTN, baik pada saat operasi, perawatan dan dekomisioning.

This R&D includes R&D of decontamination technology on system and equipment of research reactor and other nuclear facilities, including NPP, during operation, maintenance, and decommissioning.

LITBANG PEMILIHAN LOKASI DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF/ *RESEARCH RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE SELECTION*

Topik litbang tersebut meliputi litbang pencarian lokasi disposal, desain disposal, dan manajemen teknik disposal limbah radioaktif.

The topics of this R&D include site selection, disposal design, and management of radioactive waste disposal techniques.

STANDAR PELAYANAN (1)/ *SERVICE STANDARDS (1)*

Penyusunan Standar Layanan PTLR BATAN mengacu pada Peraturan Menteri PAN & RB Nomor 36 Tahun 2012 tentang Petunjuk Teknis Penyusunan, Penetapan dan Penerapan Standar Pelayanan dengan sistem penerapannya dilaksanakan melalui Sistem Manajemen Mutu Terintegrasi yang ditetapkan oleh PTLR BATAN.

The preparation of Service Standard of PTLR BATAN refers the Regulation of Minister of PAN & RB No. 36 Year 2012 on Technical Guidelines for the Preparation, Establishment, and Implementation of Service Standards and its implementation through through the Integrated Quality Management System established by PTLR BATAN.

Standar Pelayanan PTLR BATAN meliputi Standar Pelayanan untuk :

- Pengelolaan Limbah Radioaktif Cair
- Pengelolaan Limbah Radioaktif Semi Cair
- Pengelolaan Limbah Radioaktif Padat
- Pengelolaan Limbah Radioaktif Bekas
- Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas

Service Standard of PTLR BATAN includes service standard for:

- *Liquid Radioactive Waste Management*
- *Semi Liquid Radioactive Waste Management*
- *Solid Radioactive Waste Management*
- *Former Radioactive Waste Management*
- *Management of Used Nuclear Fuel*

Standar Pelayanan tersebut diterapkan untuk melayani proses pengelolaan limbah radioaktif dan/atau Bahan Bakar Nuklir Bekas, baik yang berasal dari internal BATAN maupun penghasil limbah dari luar BATAN (Industri, Rumah Sakit, dll).

The Service Standards are applied to serve the process of radioactive waste management and/or spent nuclear fuel, generated both by BATAN's facilities and by other institutions other than BATAN (Industry, Hospitals, etc.).

STANDAR PELAYANAN (2)/ SERVICE STANDARDS (2)

Penerapan Standar Pelayanan ditujukan untuk memastikan kesesuaian pelaksanaan kegiatan layanan yang diberikan PTLR BATAN dengan peraturan perundangan serta persyaratan yang berlaku dan untuk menjamin keselamatan dan keamanan manusia dan lingkungan serta mencapai kepuasan pelanggan.

The implementation of this Service Standard is intended to ensure the suitability of the implementation of the services provided by PTLR BATAN with the regulation and acts in effect and to ensure public and environment safety and security, as well as to achieve customer satisfaction.

SISTEM MANAJEMEN MUTU/ QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

PTLR menerapkan Sistem Manajemen Mutu Terintegrasi yaitu dengan mengintegrasikan beberapa persyaratan yang diatur oleh Standar baik Standar Internasional (ISO), Standar Nasional Indonesia (SNI) maupun standar BATAN (SB).

PTLR implements the Integrated Quality Management System by integrating some requirements set by both the International Standards (ISO), the Indonesian National Standard (SNI), and BATAN's standard (SB).

Standar yang digunakan dalam penerapan SMMT PTLR antara lain adalah :

- ISO 9001:2008/SNI 9001: 2012/SB001 tentang Sistem Manajemen Mutu-Persyaratan
- ISO/IEC 17025:2008/SNI ISO IEC 17025:2008/SB 77-0003-80-2007 tentang Pedoman Tentang Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi
- OHSAS 18001:2007/SB 006-OHSAS 18001:2008 tentang Pedoman Tentang Persyaratan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja
- SB 006-1 BATAN 2012 tentang Pedoman Tentang Penilaian Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) BATAN

The standards used in the application of SMMT PTLR include:

- *ISO 9001: 2008 / ISO 9001: 2012 / SB001 on Quality Management Systems*
- *ISO / IEC 17025: 2008 / ISO IEC 17025: 2008 / SB 77-0003-80-2007 on Guidelines for General Requirements of Testing and Calibration Laboratory Competence*
- *OHSAS 18001: 2007 / SB 006-OHSAS 18001: 2008 on Guidelines for Requirements of Occupational Health and Safety Management System*
- *SB 006-1 BATAN 2012 on Guidelines for Risk Assessment of BATAN's Occupational Health and Safety (K3)*

Keseluruhan persyaratan yang ditetapkan di dalam standar tersebut dirangkum menjadi Pedoman Penjamin Mutu Terintegrasi PTLR yang pelaksanaannya diatur melalui Standar Operasional Prosedur (SOP) yang berlaku di PTLR.

The overall requirements specified in this standard are summarized into PTLR's Integrated Quality Assurance Guidelines whose implementation is regulated through the Standard Operating Procedure (SOP) applicable in PTLR.



batan

DAFTAR ISTILAH/ GLOSSARY

B

- Bahan Bakar Nuklir** : bahan yang dapat menghasilkan proses transformasi inti berantai.
- Biaya *Back-end*** : Biaya yang berkaitan dengan proses daur bahan bakar setelah bahan bakar diradiasi di dalam reaktor.
- Borosilicate Glass*** : gelas silikat yang terdiri dari setidaknya lima persen oksida dari boron dan digunakan terutama dalam gela tahan panas.
- Burn-up*** : derajat-bakar : Ukuran konsumsi bahan bakar reaktor. Dapat dinyatakan dalam persentase atom yang mengalami fisi, dan banyaknya energi yang dihasilkan per satuan berat bahan bakar dalam reaktor.

D

- Disposal** : penyimpanan : Penempatan limbah radioaktif di tempat khusus dengan rancangan yang memenuhi kriteria keselamatan.

F

- Fisil** : bahan yang dapat mengalami fisi ketika menyerap neutron termal (atau lambat), contohnya uranium-235 dan plutonium-239.
- Flexblue** : reaktor modular berdaya kecil dan berpendingin air ringan.

I

- Isotop** : nuklida yang memiliki nomor atom sama tetapi mempunyai nomor massa yang berbeda. Isotop-isotop yang berbeda dari unsur yang sama memiliki sifat kimia yang sama, akan tetapi memiliki sifat fisika yang berbeda.

J

- Jaringan Transmisi** : media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari Generator Station/Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada konsumen pengguna listrik.

L

- Limbah Radioaktif** : benda yang mengandung dan atau terkontaminasi radionuklida pada konsentrasi atau tingkat radioaktivitas yang melampaui ambang batas keselamatan yang ditetapkan oleh lembaga yang berwenang.

Low Enriched Uranium : Uranium yang berisi isotop Uranium 235 dalam konsentrasi kurang dari 20% dan lebih besar dari 0,7%. Bahan bakar reaktor yang paling komersial Uranium diperkaya sampai 5% atau kurang.

N

Neutron : partikel elementer tidak bermuatan, memiliki massa yang sedikit lebih besar dari proton, terdapat di dalam inti atom semua unsur kecuali atom hidrogen (H-2). Neutron merupakan mata rantai dari reaksi berantai di dalam reaktor nuklir.

P

Plutonium : unsur logam berat radioaktif buatan. Isotopnya yang paling penting adalah plutonium-239 yang fisil. Isotop ini dihasilkan dari iradiasi uranium-238 dengan neutron. Plutonium-239 dapat digunakan sebagai bahan bakar reaktor nuklir maupun sebagai bahan peledak senjata nuklir.

R

Reaktor : suatu alat proses tempat di mana terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau nuklir dan bukan secara fisika.

Reaktor Nuklir : tempat dimana reaksi fisi berantai dapat dimulai, dipertahankan dan dikendalikan. Komponen utamanya terdiri dari bahan bakar, pendingin, moderator, reflektor, dan pengendali. Umumnya dikelilingi oleh struktur beton (perisai biologi) yang berfungsi untuk menyerap neutron dan emisi gamma.

Radioaktivitas : kemampuan beberapa nuklida (isotop tidak stabil) untuk memancarkan partikel-partikel, sinar gamma atau sinar-x, selama proses peluruhan spontan menjadi nuklida lain yang spontan.

Reaktor Air Mendidih : Reaktor tipe ini menggunakan air (H₂O) sebagai pendingin dan moderator.

Reaktor RBMK : PLTN yang menggunakan air sebagai pendingin, grafit sebagai moderator dan sebagai bahan bakarnya digunakan uranium dioksida dengan pengayaan rendah

Reaktor Air Ringan : reaktor nuklir dengan bahan moderator dan pendingin berupa air ringan (H₂O) atau air biasa.

U

- Uranium : unsur radioaktif dengan nomor atom 92 dan nomor massa 238. Terdiri atas dua jenis isotop fisil (uranium-235 dan uranium-233) dan dua isotop fertil (uranium-238 dan uranium-234). Uranium adalah bahan dasar energi nuklir.
- Uranium Diperkaya : uranium yang kandungan isotop fisil uranium-235 nya telah ditingkatkan menjadi lebih dari 0,71% (alam). Agar dapat digunakan sebagai bahan bakar reaktor, biasanya kandungan uranium-235 harus ditingkatkan hingga 20-40%. Sedangkan untuk reaktor pembiak cepat (fast breeding reactor) diperlukan bahan bakar berupa high enriched uranium yang mengandung lebih dari 90% uranium-235. Pengkayaan hingga 90% juga berpotensi untuk digunakan sebagai senjata nuklir.

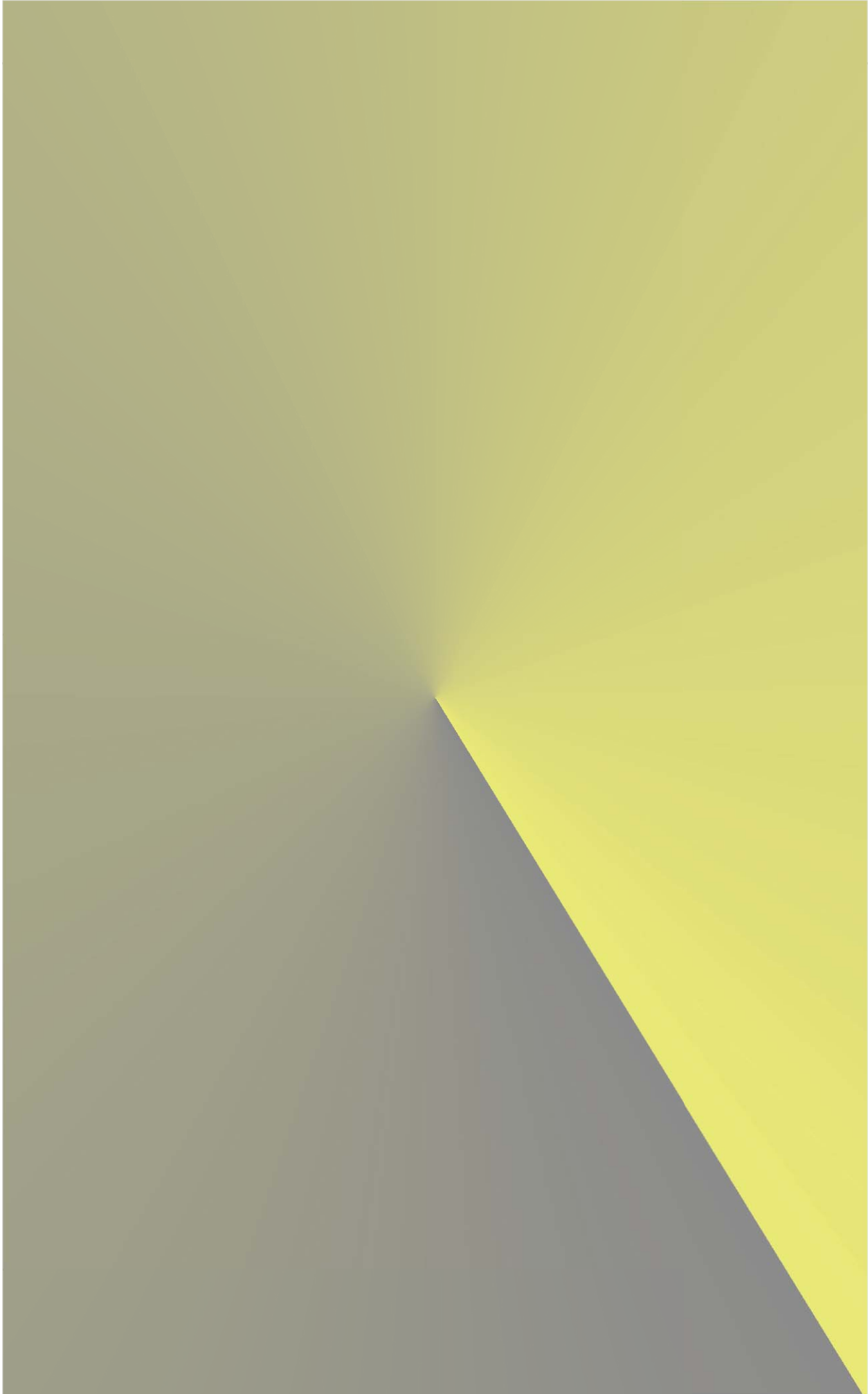
DAFTAR PUSTAKA/ *REFERENCE*

- BPPT, "Outlook Energi Indonesia", Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2015
- PLN, "Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik,"Perusahaan Listrik Negara, 2015
- NEA-OECD, "The Economic of The Back End of The Nuclear Fuel Cycle", 2013
- IAEA, "Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050" , 2015
- IAEA, "Radio active Waste Management Glossary", IAEA, 2013
- IAEA, "NUCLEAR TECHNOLOGY REVIEW", IAEA, 2015
- IAEA, "Estimation of Global Inventories of Radioactive Waste and Other Radioactive Materials", IAEA 2007
- NFCL, www.iaea.org
- Pusdatin, Handbook of Statistic Energy Economic of Indonesia, Kementerian ESDM, 2011.
- Direktorat Jenderal EBTKE, "Statistik EBTKE", Ditjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Maret, 2011. Gerry Runte Worthington Sawtelle LLC, "Probabilistic Assessment of Global Nuclear Power Plant Construction Through 2030", November 2013.
- World Nuclear Association, "The Economics of Nuclear Power", Vienna, February, 2014.
- PLN, "Final Report Feasibility Study for Bangka Nuclear Power Plant Project - Non Site Aspect", 2013.
- The University of Chicago EPIC, "Small Modular Reactors – Key to Future Nuclear Power Generation in the U.S.", November 2011.
- Grant Harris, Phil Heptonstall, Robert Gross & David Handley, 2012, "Cost Estimates for Nuclear Power in the UK", ICEPT Working Paper, Ref: ICEPT/WP/2012/014, Imperial College, London, 2014.
- World Nuclear Association (WNA), "Ensuring Security of Supply in the International Nuclear Fuel Cycle", August 2012.
- BPPT, "Outlook Energi Indonesia 2014", Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2014.
- Andrii Gritsevskiy, "Global Trends in Nuclear Energy Policies and Technology Post Fukushima", International Conference on Nuclear Governance Post- Fukushima, Singapore, October 2013.
- <https://www.iaea.org/sites/default/files/ntr2015.pdf>
- <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/>
- Red Book IAEA-NEA "Uranium 2014 :Resources, Production and Demand"
- Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN

- <http://www.uxc.com/review/uxcPrices.aspx>
- http://www.uranium.info/nuclear_market_review.php
- <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2014/>
- http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/Nuclear_Fuel_Cycle/Nuclear_Wastes/Thorpstorage.jpg
- <http://www.elp.com/content/dam/elp/online-articles/2014/05/nuclear%20waste.png>
- <http://www.alphabetic.info/international/wp-content/uploads/2011/12/capsule-for-nuclear-waste.jpg>
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/NTS_-_Low-level_radioactive_waste_storage_pit.jpg
- <http://affordablewatertreatmentofmaine.com/products/low-ph-acid-water-conditions/>
- <http://www.cmigroupe.com/en/p/liquid-effluent-treatment-solutions-and-services>
- <http://ramp.labworks.org/GALE/>
- <http://npre.illinois.edu/sites/default/files/spentnuclearfuel.jpg>
- http://www.tes.bam.de/de/_pic_u_film/castor_abladen.bmp
- http://www.areva.com/activities/liblocal/images/fr/activites/aval/monde/activite-recyclage-monde/areva-la-hague/activites-site/Activit%C3%A9_LH_T1.jpg
- http://e-vestnik.bg/imgs/bulgaria/AEZ_shema_gorivo.jpg
- http://s4.standaardcdn.be/Assets/Images_Upload/2014/12/26/9000cbaa-8d0d-11e4-b168-206740a38e9c_original.jpg?maxheight=416&maxwidth=568
- http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/Nuclear_Fuel_Cycle/Nuclear_Wastes/Appendicies/cement.jpg
- <http://www.irsn.fr/dechets/dechets-radioactifs/PublishingImages/dechets-vitrifies.jpg>
- http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/Nuclear_Fuel_Cycle/Nuclear_Wastes/Appendicies/compaction.jpg
- <http://www.stormsmith.nl/Resources/kbs3v2kopie.jpeg>
- <http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/PWR%20fuel%20assembly.jpg>
- <https://www.iaea.org/technicalcooperation/images/Logos/IAEA.jpg>
- <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/64/b6/7c/64b67ceabcb952bf0ce2a8853454cc99.jpg>
- http://www.nuclearweaponsfree.org/wp-content/uploads/2015/12/nuclear_weapons.jpg
- http://www.htmldrive.net/edit_media/2010/201011/20101103/cssimagemaps/images/map.png
- <http://cdn9.staztic.com/app/a/2740/2740519/rosatom-vver1200-18-1-s-307x512.jpg>
- http://www.thehindubusinessline.com/multimedia/dynamic/01434/kudan_jpg_1434528f.jpg
- <http://1.bp.blogspot.com/-ipDJntuq5tY/UE0PSSeQXfl/AAAAAAB94/W8VNvLWJsJuM/s1600/Ulchin.jpg>
- <http://beta.sonora-network.com/assets/images/map-indonesia.png>
- <http://www.makcci.org/wp-content/uploads/2015/09/transportation-industry.jpg>
- http://www.latinamericanadebienesraices.com/images/sliders/servicios-juridicos/General-Law-Dollarphotoclub_591936081.jpg
- <http://eksplorasi.id/wp-content/uploads/2016/03/Ilustrasi-Listrik-Subsidi.jpg>
- http://www.globalenterprises.com.br/2013/images/frente_global.jpg
- <http://www.businesskorea.co.kr/sites/default/files/field/image/APR1400.jpg>
- http://www.htmldrive.net/edit_media/2010/201011/20101103/cssimagemaps/images/map.png
- http://www.atominform.ru/news/air5294_1.jpg
- http://www.htmldrive.net/edit_media/2010/201011/20101103/cssimagemaps/images/map.png
- https://www.uxc.com/smr/uxc_SMRDetail.aspx?key=ACP100
- <http://las-ans.org.br/Papers%202013/5%20Calzetta.pdf>

- http://u.smedata.sk/blogidnes/article/8/48/480358/480358_article_photo_fXClimc0_600x.jpeg?r=05e
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fd/Floating_Nclear_Power_Plant_model.jpg/300px-Floating_Nclear_Power_Plant_model.jpg
- <https://img1.steemit.com/0x0/http://i.imgur.com/l2Pux1E.jpg>
- <http://www.mdpi.com/2071-1050/4/8/1806/htm>
- https://www.researchgate.net/profile/Mirco_Di_Giuli/publication/277707370/figure/fig1/AS:333548734173184@1456535623243/Fig-2-IRIS-reactor-configuration.jpg
- http://www.htmldrive.net/edit_media/2010/201011/20101103/cssimagemaps/images/map.png
- http://www.nuscalepower.com/images/aboutus/nuscale-plant-site-a-aerial-view-oct2015_banner.jpg
- http://www.efn-uk.org/nuclear/reactors/index_files/stacks_image_1322.jpg
- <http://cdn.newsapi.com.au/image/v1/bddfcd680137ae7713b9c5111eb070bd?width=650>
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/59/Supercritical-Water-Cooled_Reactor.svg/2000px-Supercritical-Water-Cooled_Reactor.svg.png
- <https://www.uxc.com/smr/images/SMART.jpg>
- <http://www.bechtel.com/getmedia/0b096bc6-6b6d-444a-8971-5128cfca05bb/152182-bechtel-watts-bar-2-power-plant-aerial-2013/?width=975&height=650&ext=.jpg>
- <http://www.nextbigfuture.com/2015/05/us-startup-x-energy-developing.html>
- <http://www.pngall.com/environment-png>
- <http://www.freeiconspng.com/uploads/performance-png-3.png>
- <http://www.clipartkid.com/images/617/grass-page-17-1001freedownloads-com-gEVYh-clipart.png>
- https://rovicky.files.wordpress.com/2008/05/transmisi_listrik.jpg
- http://images.clipartpanda.com/uniqueness-clipart-mine_with_coal_cart.png
- https://pixabay.com/static/uploads/photo/2012/04/01/19/09/nuclear-24092_640.png
- <http://www.clipartkid.com/images/25/sign-clip-art-no-background-clipart-panda-free-clipart-images-2Wzr0Q-clipart.png>
- https://image.freepik.com/free-vector/colorful-people-communicating-with-speech-bubbles_23-2147491696.jpg
- <http://eksplorasi.id/wp-content/uploads/2016/03/Ilustrasi-Listrik-Subsidi.jpg>
- <http://3.bp.blogspot.com/-lLwZcBvIHHE/VYu5bqh8ptI/AAAAAAAAAIIs/Sn-7MFnc/s1600/Pengaruh%2BManusia%2BTerhadap%2BLingkungannya.jpg>
- http://static.republika.co.id/uploads/images/inpicture_slide/pekerja-membangun-dinding-pendingin-pltn-fukushima-daiichi-yang-rusak-_150927135607-972.jpg
- <https://www.etftrends.com/wp-content/uploads/2012/02/Top-Business-Stories-2011-global-market.jpg>
- <http://octopustranslations.com/blog/wp-content/uploads/2014/05/Service-Quality.png>
- http://kozakgayer.com/wp-content/uploads/2011/06/Financing_Tax-Exempt.jpg
- http://cdn1.spiegel.de/images/image-194548-860_panofree-ynff-194548.jpg
- <http://www.tckpublishing.com/wp-content/uploads/2014/01/Book-Publishing-costs.jpg>
- <http://s.hswstatic.com/gif/nuclearplant1.jpg>
- <http://www.swissinfo.ch/image/31029240/3x2/640/426/8d6773c83cb92d175d9c66be02a06fda/Cd/113173220-31029246.jpg>
- <http://www.makcci.org/wp-content/uploads/2015/09/transportation-industry.jpg>
- http://www.wnti.co.uk/media/4334/42.jpeghttp://www.wnti.co.uk/media/4278/Road%20transport%20of%20spent%20fuel%20in%20Japan_resized.jpg
- http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/Nuclear_Fuel_Cycle/Transport/transvessel.jpg?n=6445

- http://nuclearinfo.org/sites/default/files/styles/large/public/field/image/Globemaster%20radiation%20symbol_0.jpg?itok=QifitWcb
- <http://image.digitalinsightresearch.in/uploads/imagelibrary/Archive/nri/power/nuclear%20barrel.jpg>
- <http://www.montair.nl/image/e411d41654a36e867d62ab4ff8670a2b7da8f2d6/default.jpg>
- <https://62e528761d0685343e1c-f3d1b99a743ffa4142d9d7f1978d9686.ssl.cf2.rackcdn.com/files/117309/width926/image-20160404-27157-1necpao.jpg>
- <http://www.tckpublishing.com/wp-content/uploads/2014/01/Book-Publishing-costs.jpg>
- <http://www.makcci.org/wp-content/uploads/2015/09/transportation-industry.jpg>
- <http://www.wnti.co.uk/media/4334/42.jpeg>
- http://www.wnti.co.uk/media/4278/Road%20transport%20of%20spent%20fuel%20in%20Japan_resized.jpg
- http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/Nuclear_Fuel_Cycle/Transport/transvessel.jpg?n=6445
- http://nuclearinfo.org/sites/default/files/styles/large/public/field/image/Globemaster%20radiation%20symbol_0.jpg?itok=QifitWcb
- <http://image.digitalinsightresearch.in/uploads/imagelibrary/Archive/nri/power/nuclear%20barrel.jpg>
- <http://www.montair.nl/image/e411d41654a36e867d62ab4ff8670a2b7da8f2d6/default.jpg>
- <https://62e528761d0685343e1c-f3d1b99a743ffa4142d9d7f1978d9686.ssl.cf2.rackcdn.com/files/117309/width926/image-20160404-27157-1necpao.jpg>
- <http://www.tckpublishing.com/wp-content/uploads/2014/01/Book-Publishing-costs.jpg>
- http://www.latinoamericanadebienesraices.com/images/sliders/servicios-juridicos/General-Law-Dollarphotoclub_591936081.jpg
- <http://www.tckpublishing.com/wp-content/uploads/2014/01/Book-Publishing-costs.jpg>
- http://static.republika.co.id/uploads/images/inpicture_slide/pekerja-membangun-dinding-pendingin-pltn-fukushima-daiichi-yang-rusak-_150927135607-972.jpg
- https://vid.alarabiya.net/images/2015/05/23/00d5a3f8-cbfc-43a8-9786-df3b23c29886/00d5a3f8-cbfc-43a8-9786-df3b23c29886_16x9_788x442.jpg
- <http://images.mapsofindia.com/my-india/2015/02/nuclear-liability-law.jpg>
- <https://jmf.com/wp-content/uploads/Licensing-Street-Sign.jpg>
- https://physics.aps.org/assets/03ada0fc-a41b-448f-b057-9b952be2f531/e79_1.png
- http://media.insidecounsel.com/insidecounsel/article/2014/02/04/020414_licensing_agreement52.jpg





batan



**PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**