

KAJIAN IMPLEMENTASI FLEXBLUE DI INDONESIA

Sahala Maruli Lumbanraja

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir-BATAN

Jl. Kuningan Barat-Jakarta Selatan

e-mail: sahalal@batan.go.id

Diterima	Deterima dalam bentuk revisi	Disetujui
25 Agustus 2014	16 Oktober 2014	29 Oktober 2014

ABSTRAK

KAJIAN IMPLEMENTASI FLEXBLUE DI INDONESIA. Flexblue merupakan reaktor modular berdaya kecil dan berpendingin air ringan. Tapak reaktor ini berada di dasar permukaan laut (off shore) dan ruang kendali utama berada di darat. Hull yang berisi komponen utama reaktor ditempatkan pada kedalaman 60-100 m di dasar permukaan laut sehingga sistem keselamatan dan keamanannya cukup tinggi. PLTN ini dikembangkan oleh DCNS-Perancis untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dunia. Tujuan dari kajian ini adalah untuk mempelajari pra-kelayakan implementasi Flexblue di Indonesia ditinjau dari faktor teknologi, kondisi laut dan regulasi. Metodologi yang digunakan adalah mempelajari berbagai pustaka tentang teknologi PLTN Flexblue, kondisi laut, dan sistem regulasi di Indonesia. Pada kajian awal ini, lokasi tapak potensial terletak di pesisir pantai timur pulau Sumatra, pantai utara Jawa, pantai pulau Kalimantan, dan sekitar pesisir pulau-pulau yang berada di antara timur pulau Sumatera, utara Jawa dan Kalimantan, tetapi dari segi regulasi, teknologi ini tidak dapat diimplementasikan.

Kata kunci: Flexblue, hull, off shore, tapak, regulasi

ABSTRACT

THE ASSESMENT OF FLEXBLUE IMIMPLEMENTATION IN INDONESIA. Flexblue is a small power modular and light water cooled reactor. The reactor site is located at the bottom of the sea surface (off shore) and main control room on the ground. Hull that contains of the main reactor components is placed at a depth of 60-100 m in the bottom of the sea surface so that the safety and security system is quite high. NPP was developed by the DCNS-France to meet the electrical energy needs of the world. The purpose of this study was to study the pre-feasibility of Flexblue implementation in Indonesia based on technological factors, sea geographical conditions and regulatory. The methodology used is to study a variety of literature study on NPP Flexblue technology, geographic conditions, and regulatory systems in Indonesia. In this study, location of potensial sites are on the east coast of the island of Sumatra, Java's northern coast, the coast of the Borneo island and surrounding coastal islands between the east of the Sumatra island, northern Java and Borneo, however in terms of regulation, this technology could not be implemented.

Keywords: Flexblue, hull, off shore, site, regulations

1. PENDAHULUAN

Salah satu opsi yang dipertimbangkan oleh pemerintah Indonesia untuk memenuhi kebutuhan energi adalah energi nuklir yang tertuang dalam Undang-undang No. 17 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional Tahun 2005-2019 yang menyatakan bahwa energi nuklir akan menjadi bagian dari bauran energi nasional, dan Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang menyatakan bahwa nuklir, biomassa, tenaga air, energi matahari dan angin akan menyediakan lebih dari 5% dari energi primer pada tahun 2025^[1,2]. Indonesia berada di daerah cincin api (*ring of fire*) sehingga lokasi tapak untuk PLTN cukup terbatas jika akan dibangun di darat. Faktor lain yang membatasi lokasi tapak adalah faktor demografi yang cukup padat dan izin alih fungsi lahan. Oleh karena itu, lokasi tapak PLTN perlu diarahkan ke daerah laut (*off shore*) sebagai alternatif.

Flexblue merupakan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) berdaya kecil jenis air tekan yang dikembangkan oleh DCNS (*Direction des Constructions Navales Services*)-Perancis. PLTN ini dirancang berdasarkan teknologi pembangkit daya (propulsi) kapal selam yang dioperasikan oleh angkatan laut Perancis. Rancangan teknologi ini cukup unik karena tapak reaktor berada di dasar permukaan laut sedangkan ruang kendali utama (RKU) berada di darat. Komponen-komponen utama reaktor yang berada di dalam *hull* dikendalikan dari RKU yang ada di darat, dan kedua sistem ini dihubungkan dengan kabel. Sistem keselamatan yang digunakan adalah sistem keselamatan aktif, sistem keselamatan pasif dan inheren. Reaktor ini dirancang dengan daya listrik 50-250 MWe^[3-6]. Tapak reaktor yang memenuhi syarat berada pada kedalaman laut 60 hingga 100 m^[4-7].

Tujuan studi ini adalah untuk mengkaji pra-kelayakan kemungkinan implementasi Flexblue di Indonesia baik dari segi teknologi, pra-kelayakan tapak, maupun dari segi regulasi. Metode yang dilakukan dalam studi ini adalah kajian, yaitu mempelajari berbagai pustaka tentang PLTN Flexblue, kondisi geografis laut Indonesia, dan sistem regulasi di Indonesia. Dari segi teknologi dan kondisi geografis Indonesia, PLTN ini layak diimplementasikan khusus di sekitar pesisir pantai timur pulau Sumatra, pantai utara Jawa, pantai pulau Kalimantan, dan sekitar pesisir pulau-pulau yang berada di antara timur pulau Sumatera, utara Jawa dan Kalimantan, tetapi dari segi regulasi, teknologi ini tidak dapat diimplementasikan karena bertentangan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, dimana pada pasal 1 ayat 2 disebutkan bahwa tapak adalah lokasi di daratan yang dipergunakan untuk konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning, satu atau lebih instalasi nuklir beserta sistem terkait lainnya^[8].

2. TEORI

Beberapa kecelakaan PLTN yang terjadi selama ini menginspirasi beberapa negara untuk mengembangkan PLTN yang berlokasi di dasar laut. Keuntungan dari jenis PLTN ini adalah mudah diangkut, relatif bebas dari keterbatasan tapak dan tak terlihat, sedangkan kekurangannya adalah membutuhkan struktur pengungkung yang mampu menahan tekanan tinggi, sulit untuk mengendalikan dan merawat sistem, membutuhkan kabel yang relatif panjang dan mahal, serta kapasitas daya relatif kecil per modul. Prototipe reaktor ini akan diluncurkan pada tahun 2016 di pantai Flamanville Perancis^[9].

2.1. Konsep PLTN Flexblue

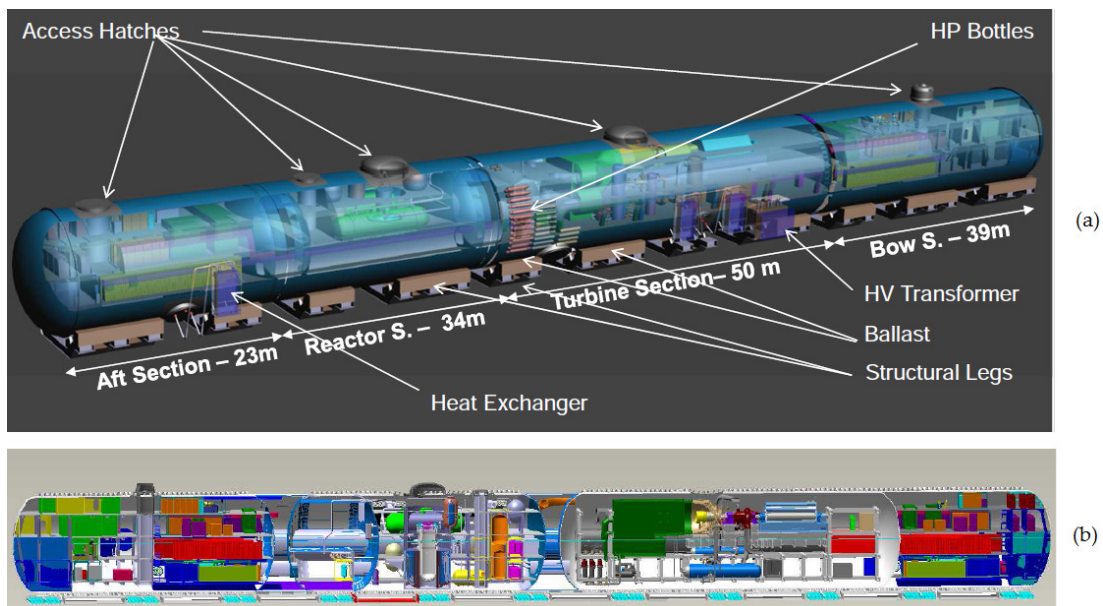
Flexblue dirancang dan dikembangkan oleh DCNS Perancis dengan konsep modular^[10]. PLTN ini diadopsi dari pembangkit daya (propulsi) nuklir kapal selam militer

yang dioperasikan negara Perancis. Propulsi nuklir ini digunakan untuk menggerakkan kapal selam, dan mensuplai energi listrik yang dibutuhkan selama operasionalnya. Dari pengalaman operasi kapal selam ini menunjukkan bahwa keandalan propulsi nuklir ini sangat memuaskan karena tidak pernah ada laporan kecelakaan nuklir terjadi. Karakteristik Flexblue ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Reaktor Flexblue 160 MWe^[10]

Tipe reaktor	PWR
Pendingin	Air
Umur Operasi	60 tahun
Berat Hull	20.000 ton
Daya termal	530 MWt
Daya listrik	160 MWe
Teras reaktor	77 fuel assemblies
Fuel assemblies	17 x 17
Panjang aktif	2,15 m
Pengkayaan	<5%
Kerapatan daya rerata	70 kW/l
Siklus bahan bakar	40 bulan
Tekanan pendingin	15,5 MPa
Tekanan steam generator	6,2 MPa

Konstruksi bangunan pengungkung (*hull*) Flexblue berbentuk silinder. Panjang dan diameter silinder disesuaikan dengan daya Flexblue. Ada beberapa tipe rancang bangun Flexblue yang ditawarkan, yaitu daya 50-250 MWe. Silinder pengungkung (*hull*) untuk daya 160 MWe mempunyai panjang 146 m, diameter 14 m, dan berat 20.000 ton^[5,10]. Semua komponen utama reaktor (teras reaktor, turbin, generator, kondenser) berada di dalam *hull*, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. a. Tampang lintang hull & komponen utama^[5,7,11], dan b. Tata letak komponen-komponen utama reaktor Flexblue^[5,7].

Konsep tapak PLTN ini berbeda dengan konsep tapak PLTN yang ada saat ini, dimana *hull* yang berisi komponen utama reaktor ditempatkan di dasar laut, sedangkan ruang kendali dan *swichyard* ditempatkan di darat. Satu ruang kendali utama dapat digunakan untuk mengendalikan beberapa reaktor yang ditempatkan di dasar laut. Reaktor dan ruang kendali dihubungkan dengan jaringan kabel bawah laut. Demikian halnya dengan listrik yang dihasilkan juga disalurkan melalui kabel bawah laut yang tersambung dengan *swichyard*.

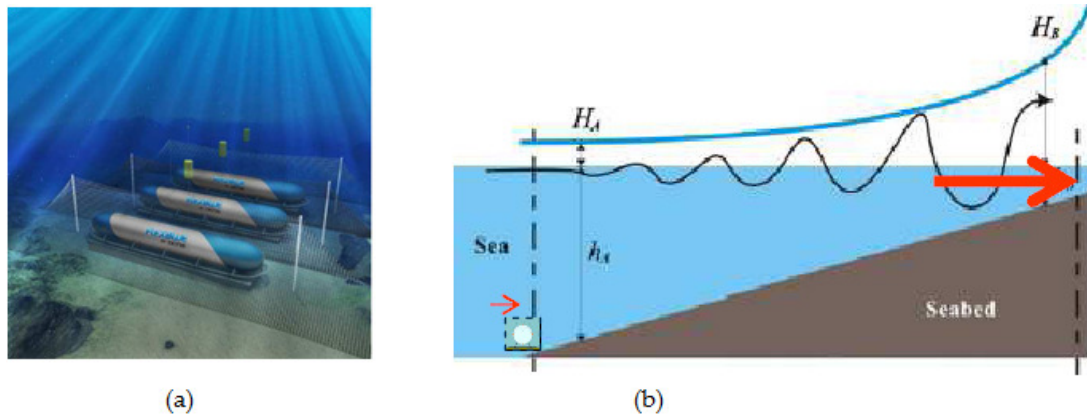
2.2. Tapak Reaktor

Umumnya tapak PLTN konvensional yang beroperasi saat ini berada di darat (*in land*) dan banyak mendapat penolakan di negara-negara tertentu, khususnya bagi negara-negara yang baru akan mengimplementasikannya. Untuk meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap PLTN, beberapa skenario dilakukan, seperti peningkatan sistem keselamatan PLTN, sosialisasi berkelanjutan, dan lain-lain. Pasca kecelakaan PLTN Fukushima Daiichi, satu solusi potensial untuk meningkatkan keselamatan PLTN adalah dengan memindahkan tapak PLTN dari darat (*in land*) ke laut (*off shore*). Ada 3 jenis konsep atau ide teknologi tapak yang dikembangkan di laut, yaitu jenis mengambang (*floating type*), jenis GBS (*gravity base system type*), dan jenis tenggelam (*sub merged type*)^[12].

Konsep teknologi PLTN dengan tapak mengambang (*floating*) dikembangkan oleh Rusia. Desain teknologi PLTN Rusia dinamai KLT-40. Konsep teknologi *gravity based-structure* (GBS) dikembangkan oleh Korea Selatan, sedangkan konsep teknologi *sub merged* dikembangkan oleh DCNS Perancis dengan nama dagang *Flexblue*. Pilihan DCNS terhadap konsep lokasi tapak di dasar permukaan laut didasarkan pada:

- Jumlah lokasi tapak potensial sangat banyak.
- Ramah lingkungan.
- Proteksi alamiah dari kejadian eksternal, seperti puting beliung, tsunami, gempa bumi dan lain-lain).
- Aksi sabotase lebih kecil (akses terbatas, alat monitoring, intervensi).

Lokasi tapak di dasar permukaan laut (*offshore*) harus mempertimbangkan kondisi permukaan dasar laut, seperti fenomena kekeruhan arus laut (*turbidity current*), *freak current* (arus laut yang berubah setiap saat), daerah patahan, kegempaan (tektonik), ketidakstabilan permukaan dasar laut dan lain-lain. Menurut analisis DCNS, pada kedalaman 60 hingga 100 m, arus di permukaan dasar laut pada kondisi relatif stabil^[7]. Oleh karena itu *hull* ditenggelamkan dan ditambatkan di dasar laut pada kedalaman antara 60 hingga 100 m, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Air laut yang mengelilingi *hull* juga berfungsi sebagai sistem keselamatan pasif dan inheren karena secara tidak langsung berfungsi sebagai pendingin.



Gambar 2. a. Tapak Flexblue^[3,7], b. Kondisi arus laut pada kedalaman 60-100 m^[12-14].

2.3. Sistem Keselamatan

Sistem keselamatan reaktor ini mengadopsi sistem keselamatan PLTN generasi III+, yaitu menggunakan sistem keselamatan aktif, sistem keselamatan pasif, serta sistem keselamatan inheren. Rancangan sistem keselamatan ini sesuai dengan regulasi Perancis yang dibuat pasca kecelakaan PLTN Fukushima Daiichi^[9,15,16]. Sistem keselamatan aktif difungsikan ketika reaktor beroperasi secara normal atau pada level kecelakaan kecil (*incident*), sedangkan sistem keselamatan pasif difungsikan ketika terjadi kecelakaan parah (*accident*) sesuai dengan level INIS. Sistem keselamatan inheren merupakan keselamatan melekat yang diterapkan *by design* pada seluruh komponen reaktor sesuai konsep keselamatan berlapis IAEA (INSAG 10), seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsep pertahanan berlapis dari sistem keselamatan flexblue^[5]

Level	Konsep	Keuntungan
Level 1. Pencegahan operasi abnormal dan kegagalan operasi	<ul style="list-style-type: none"> - Pabrikasi penuh dilakukan di pabrik dan diangkut via kapal (<i>shipyard</i>) - tenggelam (<i>Immersion</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Produk kualitas tinggi, standar dan teruji - Eliminasi ancaman utama dari luar
Level 2. Pengendalian operasi abnormal dan deteksi kegagalan		Otomatis penuh (<i>full aotomated</i>)
Level 3. Pengendalian kecelakaan dengan basis rancang bangun	<ul style="list-style-type: none"> - Sistem keselamatan pasif - <i>Infinite heat sink</i> - Pendingin teras eksternal 	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak membutuhkan operator - kemungkinan leleh teras diminimalisir
Level 4. Pengendalian kecelakaan parah, pencegahan kecelakaan progresif	<ul style="list-style-type: none"> - Pendingin teras eksternal - Kemampuan membanjiri <i>hull</i> 	Tidak ada pelepasan radionuklida
Level 5. Mitigasi konsekuensi radiologis dari pelepasan radionuklida	<ul style="list-style-type: none"> - Sumber radiasi diminimalisir - Pelepasan radiasi dapat dihindari secara signifikan - Pembangkit dapat diangkut secara umum 	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak ada pelepasan langsung ke atmosfer - Tidak ada evakuasi - Recovery lebih mudah di tapak

2.4. Regulasi PLTN

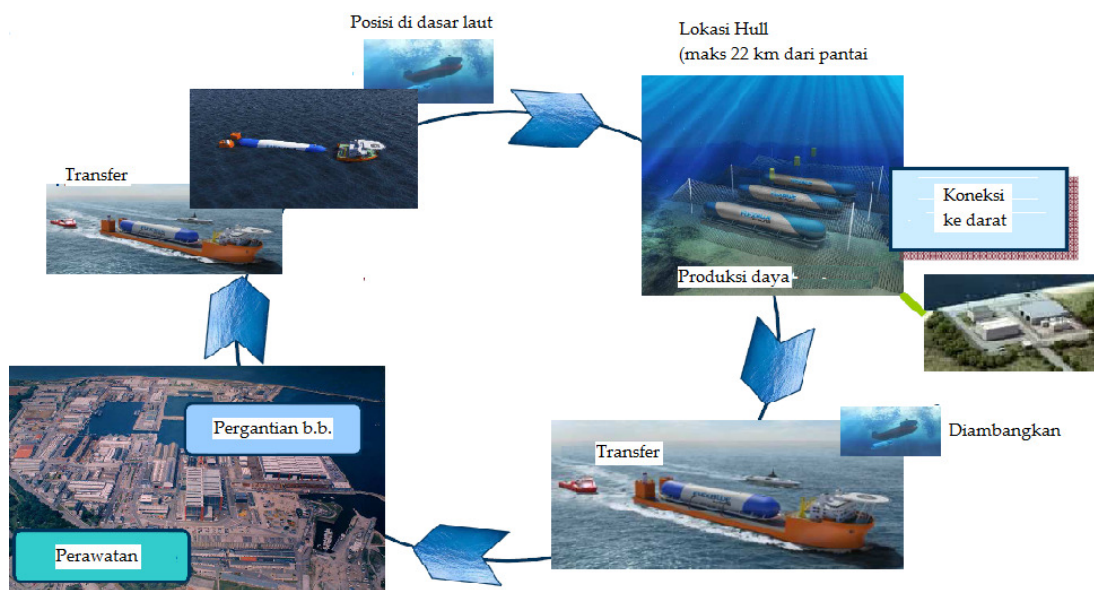
Untuk mengimplementasikan PLTN di Indonesia, pemerintah menerbitkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir yang mengatur mulai dari penentuan tapak hingga dekomisioning. Pada pasal 1 ayat 2 menyebutkan bahwa tapak adalah lokasi di daratan yang dipergunakan untuk konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning, satu atau lebih instalasi nuklir beserta sistem terkait lainnya, sedangkan desain dan konstruksi diatur pada pasal 9 hingga 13.

3. PEMBAHASAN

Perubahan iklim yang semakin drastis menyadarkan masyarakat akan pentingnya penyelamatan lingkungan dari dampak pencemaran pemanfaatan energi fosil, khususnya dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Sesuai persyaratan IAEA dan masyarakat pengguna, PLTN sebagai sumber energi alternatif harus dirancang kompetitif, selamat, aman, ramah lingkungan, dan andal. Flexblue dirancang oleh DCNS untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pasar global sesuai persyaratan IAEA dan pasar pengguna, yaitu^[17]:

- i. Kompetitif
 - Pekerjaan sipil lebih sedikit
 - Luas tapak lebih sedikit
- ii. Selamat
 - Ketersediaan air laut secara permanen
 - Pendingin tak terbatas
 - Teknologi terstandar (*full fabrication*)
 - Berada 60 hingga 100 m di bawah permukaan laut
- iii. Ramah lingkungan
 - Luas tapak lebih sedikit,
 - Pekerjaan sipil lebih sedikit
 - *Decomisioning* dan *dismantling* lebih mudah
- iv. Andal
 - Teknologi teruji
 - Isain sederhana
 - Konstruksi modular
 - Teknologi terstandar (*full fabrication*)
- v. Aman
 - Berada 60 hingga 100 m di bawah permukaan laut

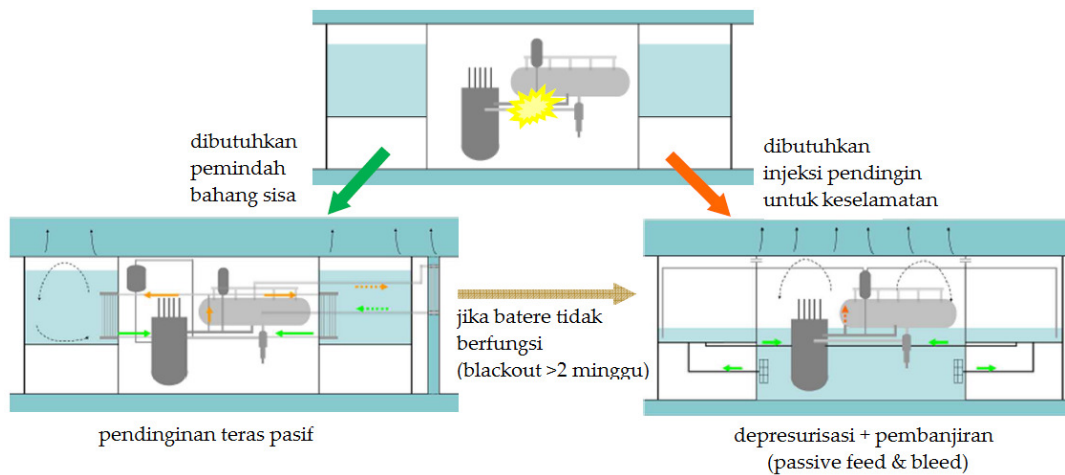
Perawatan dan perbaikan minor dilakukan di dalam *hull* dimana jumlah personil yang dapat masuk ke dalam *hull* maksimal 20 orang^[15]. Personil yang akan masuk ke dalam *hull* dilakukan dengan cara menyelam. Sedangkan siklus pergantian bahan bakar dan perawatan rutin dilakukan dengan mengangkat dan membawa *hull* ke bangunan khusus yang berada di darat seperti ditunjukkan Gambar 3. Pergantian bahan bakar dilakukan setelah beroperasi selama 40 bulan. Penyelam dibutuhkan untuk melepaskan *hull* dari tambatnya, juga untuk memperbaiki/mengganti jika ada kerusakan komponen di luar *hull* seperti saringan air, dan jaringan listrik yang berada di dasar laut.



Gambar 3. Siklus pergantian bahan bakar dan perawatan Flexblue^[5, 7,10,11,17].

Flexblue menggunakan sistem keselamatan aktif ketika beroperasi normal dan kejadian level rendah (*incident*), tetapi memanfaatkan keselamatan pasif ketika terjadi kecelekaan level tinggi (*accident*). Reaktor ini juga dirancang dengan sistem keselamatan melekat, dimana seluruh komponen reaktor dirancang dan dipabrikasi sesuai dengan persyaratan keselamatan yang telah ditentukan. Jika terjadi kecelekaan level tinggi, sistem keselamatan pasif akan bekerja secara otomatis untuk membanjiri dan mengurangi tekanan di dalam teras reaktor, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Reaktor ini juga mempunyai sistem keselamatan tambahan, yaitu air laut akan mendinginkan reaktor secara tak terbatas. Hal ini akan mencegah kemungkinan kecelekaan terparah seperti yang terjadi pada PLTN yang berada di darat (*in land*).

Lokasi tapak Flexblue harus mempertimbangkan jarak dari garis pantai, kedalaman laut, tinggi gelombang laut, ketinggian tsunami, laju arus laut, pusat gempa, dan jalur pelayaran. Dari hasil analisis yang dilakukan DCNS, lokasi tapak yang ideal untuk Flexblue berada di permukaan dasar laut dengan kedalaman 60-100 m karena pengaruh gelombang laut, tsunami, dan arus laut sangat kecil. Jarak tapak dari garis pantai harus sedekat mungkin dengan kedalaman minimal 60 m agar biaya pembangunan jaringan bawah laut lebih minim. Laju arus laut sekecil mungkin agar biaya tambat lebih minim. Hal ini akan mempengaruhi biaya pembangkitan secara langsung. Keuntungan dari tapak di permukaan dasar laut adalah lokasi tapak tersedia cukup banyak, penguasaan lahan lebih mudah, persyaratan tapak lebih sederhana, dan sistem keselamatan lebih tinggi. Sedangkan kelemahannya adalah pengawasan, pengamanan, dan perawatan lebih rumit.



Gambar 4. Sistem kerja dari sistem keselamatan Flexblue^[7].

Indonesia mempunyai garis pantai yang sangat panjang karena terdiri dari beribu pulau. Hal ini menjadi keuntungan bagi Indonesia karena lokasi tapak untuk jenis PLTN ini tersedia sangat banyak. Secara umum, pesisir pantai pulau Sumatera bagian timur, Jawa bagian utara, seluruh pesisir pantai pulau Kalimantan, dan garis pantai antara Sumatera, Jawa dan Kalimantan merupakan lokasi tapak potensial untuk dimanfaatkan karena jauh dari ancaman patahan dan gunung api, tetapi faktor ancaman lainnya seperti aktivitas jalur pelayaran, aktivitas industri migas, kecepatan arus laut, dan lain-lain yang mungkin mempengaruhi keselamatan dan keamanan pembangkit juga harus dipertimbangkan. Pesisir pantai barat pulau Sumatera, pantai selatan pulau Jawa, pantai di Indonesia Timur kurang layak sebagai calon tapak PLTN karena umumnya beresiko dilalui jalur patahan. Tetapi studi kelayakan tapak yang lebih teknis dan spesifik pada daerah pesisir yang layak digunakan sebagai tapak perlu dilakukan lebih detail

Frekuensi lalu lintas pelayaran di perairan laut Indonesia cukup tinggi, khususnya lalu lintas kapal nelayan, kapal penumpang, kapal kargo, dan jenis kapal-kapal lainnya merupakan faktor yang perlu diperhatikan dengan teliti karena hal dapat menjadi ancaman potensial terhadap pembangkit (flexblue). Ancaman eksternal yang mungkin terjadi pada pembangkit adalah kapal selam, kapal super tanker yang kedalaman lunas kapalnya mencapai lebih dari 40 m, jangkar kapal dan terorisme. Jangkar kapal dapat merusak/memutuskan kabel bawa laut yang menghubungkan *hull* dengan ruang kendali utama dan *swichyard*. Demikian juga ancaman sabotase yang mungkin terjadi dari teroris atau pihak yang tidak bertanggung jawab yang dapat menyusup lebih mudah karena tidak ada tembok pembatas seperti pada PLTN di darat.

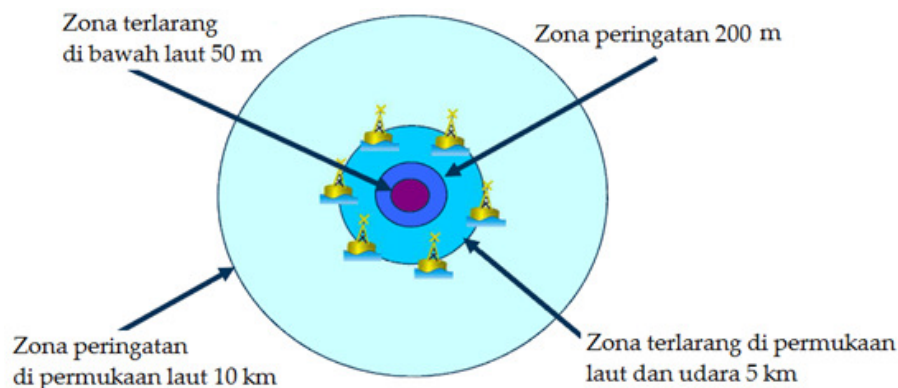
Pertahanan berlapis (*defence in depth*) juga diterapkan dengan sistem keamanan dan proteksi. Sistem ini terbagi atas tiga (3) zona, yaitu zona vital, zona terlarang, dan zona peringatan baik di laut maupun di udara sehingga meminimalisir ancaman terhadap keberadaan Flexblue, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Zonanisasi dilakukan dengan tanda yang telah dikenal dalam dunia pelayaran dan dunia penerbangan, baik dalam bentuk sonar maupun suar (lampu). Selain zonanisasi, perlu ditambah peralatan deteksi dini dan peringatan dini terhadap kapal maupun pesawat yang akan mendekati dan/atau melintas di sekitar tapak Flexblue. Sistem pengamanan tambahan berupa jaring perlu dipasang di sekitar lokasi tapak. Seluruh sistem pengaman ini dibutuhkan untuk menghindari kemungkinan sabotase/terorisme, dan gangguan lainnya yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan dan kecelakaan terhadap seluruh fasilitas pembangkit. Kemungkinan ancaman sabotase dapat dilakukan oleh orang-orang yang tidak bertanggung

jawab dengan penyelaman maupun menggunakan kapal selam. Gangguan lain yang mungkin terjadi berasal dari makhluk hidup yang ada di laut.

PLTN ini merupakan reaktor modular dimana komponen-komponen utama berada dalam sebuah *hull* dan telah dipabrikasi secara utuh di negara pembuat. Hal ini akan mengurangi tingkat partisipasi nasional bagi negara yang akan mengimplementasikannya. Umumnya tingkat partisipasi nasional yang paling besar adalah di sektor konstruksi (sumber daya manusia, dan bahan-bahan konstruksi bangunan).

Flexblue tidak mungkin diimplementasikan di Indonesia karena tidak memenuhi regulasi yaitu Peraturan Presiden Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir pada pasal 1 ayat 2. dimana tapak instalasi nuklir harus berada di darat (*in land*), tetapi dari sisi teknologi, reaktor ini layak diimplementasikan karena:

- Lokasi tapak sangat tersedia di sepanjang garis pantai pulau-pulau yang berada di antara Sumatera bagian Timur, Jawa bagian Utara, dan Kalimantan
- Sistem keselamatan tinggi
- Sistem keamanan tinggi (kemungkinan gangguan dan sabotase kecil)
- Pembebasan lahan tapak lebih mudah.



Gambar 5. Zonanisasi keamanan dan proteksi flexblue^[11].

Oleh karena itu, untuk memaksimalkan ketersediaan tapak di kemudian hari disebabkan keterbatasan tapak di darat (*in land*), maka regulasi yang melarang pemanfaatan tapak di laut (*off shore*) sesuai PP No. 54 Tahun 2012 perlu dipertimbangkan untuk direvisi. Pengangkutan reaktor ini dari negara pembuat hingga negara pengguna akan melintasi beberapa negara sehingga harus mendapatkan izin dari negara yang dilalui sesuai dengan regulasi pengangkutan bahan radioaktif Negara yang bersangkutan. Regulasi setiap negara akan mempersulit implementasi teknologi ini. Oleh karena itu, implementasi PLTN ini membutuhkan izin dari negara yang jalur pelayarannya dilalui.

4. KESIMPULAN

Flexblue merupakan PLTN modular dengan tingkat keselamatan dan keamanan tinggi karena *hull* yang berisi komponen utama reaktor berada di dasar permukaan laut dan jauh dari gangguan aktifitas manusia. PLTN ini memanfaatkan sistem keselamatan aktif, sistem keselamatan pasif, dan inheren. Dari segi teknologi PLTN ini layak untuk diimplementasikan di Indonesia tetapi dari segi regulasi tidak memungkinkan karena terbentur pada Peraturan Presiden Nomor 54 Tahun 2012. Tapak potensial berada di pesisir pantai timur Sumatera, pantai utara Jawa, Kalimantan dan pesisir pulau antara Sumatera,

Jawa dan Kalimantan karena jauh dari jalur cincin api (*ring of fire*), dan keamanan laut lebih tinggi. Pembatasan implementasi PLTN pada Peraturan Presiden Nomor 54 Tahun 2012 perlu direvisi agar calon lokasi tapak PLTN baik di darat (*in land*) maupun di laut (*off shore*) dapat dimanfaatkan secara maksimal sesuai kebutuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. "_____", "Undang-undang No. 17 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional Tahun 2005-2019", Jakarta 2007.
- [2]. "_____", "Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional", Jakarta 2006.
- [3]. DCNS, "Flexblue: An Innovative Response to Global Energy Challenges", <http://www.uxc.com/smr/Library%5CDesign%20Specific/Flexblue/Other%20Documents/Brochure.pdf>.
- [4]. BRIGETTE BORNEMANN, Flexblue : DCNS, AREVA et EDF Passent Accord avec le CEA sur un Projet de Centrale Nucléaire Sous-marine, Les Enyeres de la Mer Renouvelables, 24-11-2011, <http://energiesdelamer.blogspot.com/2011/01/flexblue-dcns-areva-et-edf-passent-un.html>.
- [5]. YVES ARMAND, "Flexblue Features & Industrial Aspects", SMRs Assessment & Near Term Deployment IAEA – Technical Meeting, 12 Sept 2013.
- [6]. "-----", KIMO International and Greenpeace International, "Concerns on Floating and Submerged Nuclear Power Plants", OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic Meeting of the Radioactive Substances Committee (RSC).
- [7]. DCNS, "Flexblue: A Subsea Reactor Project Considerations for its Licensing", 6th INPRO Dialogue Forum, July 2013, http://www.iaea.org/INPRO/6th_Dialogue_Forum/session-2/2-france.pdf.
- [8]. "_____", "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir", Jakarta 2012.
- [9]. "-----", "Small Nuclear Power Reactors", 22 August 2014, <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Power-Reactors/Small-Nuclear-Power-Reactors/>.
- [10]. DCNS, "Main Module Features Flexblue", BATAN-DCNS Flexblue Joint Technical Meeting, Jakarta, September 2014.
- [11]. "_____", "Flexblue, Innovative Power", AMGroupes.fr, http://www.amgroupes.fr/admin/compte_rendus/666_compte_rendu.pdf.
- [12]. KIHWAN LEE, et.al, "A New Design Concept For Offshore Nuclear Power Plants With Enhanced safety Features", Nuclear Engineering and Design 254 (2013) 129–141, http://pustaka.ristek.go.id/webproxy/nphnnsd.pustaka/en/00/http/ac.els-cdn.com/S002954931200492X/1-s2.0-S002954931200492X_main.pdf?3f_tid=3d6503b02a-4a0a-11e4-96830000aacb362=26acdnat=3d1412237103_b2eed7efb1fdede16eb28c367a22be10.
- [13]. DCNS, "Security and Protection", BATAN-DCNS Flexblue Joint Technical Meeting, Jakarta, September 2014.
- [14]. DCNS, "DCNS Dévoile Un Étonnant Concept De Centrale Nucléaire Sous-Marine", Mer et Marine 19-01-2011 <http://www.meretmarine.com/fr/content/dcns-devoile-un-etonnant-concept-de-centrale-nucleaire-sous-marine>, diunduh 24 September 2014.
- [15]. IAEA, "Status of Small and Medium Sized Reactor Designs a Supplement to the IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)", <http://aris.iaea.org>.
- [16]. DCNS, "Hazards and Environments Flexblue", BATAN-DCNS Flexblue Joint Technical Meeting, Jakarta, September 2014.

- [17]. DCNS, "Flexblue Lifecycle and Operations", BATAN-DCNS Flexblue Joint Technical Meeting, Jakarta, September 2014.
- [18]. DCNS, "Flexblue:Une Réponse Innovante Aux Défis Énergétiques Mondiaux", http://fr.dcnsgroup.com/wpcontent/uploads/2012/07/0907_DCNS_1207072_FLEXBLUE_FR.pdf.
- [19]. THOMAS FOLEY, "Nucleaire, L'energetique du Futur", Altitude Le Magazine des Sciences et des Technologies d'Altran, Juin 2012, http://www.altran.com/fileadmin/medias/1.altran.com/files/Altitude_FR/altitude_issu_e_21_FR_Group/files/docs/all.pdf, diunduh 12 Agustus 2014.