

## **SISTEM mPower DAN PROSPEK PEMANFAATANNYA DI INDONESIA**

**Sudi Ariyanto**

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) – BATAN  
Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710  
Telp/Fax: (021) 5204243 Email: asudi@batan.go.id

Masuk : 9 Agustus 2012

Direvisi: 13 September 2012

Diterima: 12 Oktober 2012

### **ABSTRAK**

**SISTEM mPower DAN PROSPEK PEMANFAATANNYA DI INDONESIA.** *Salah satu SMR yang masuk dalam kategori near-term deployment adalah mPower yang didesain oleh Babcock and Wilcox, Amerika Serikat. Reaktor mPower merupakan sebuah reaktor air tekan integral yaitu teras reaktor, pembangkit uap dan pressurizer berada dalam satu bejana tekan, begitu juga perangkat penggerak batang kendali dan pompa pendingin reaktor. Reaktor mPower menggunakan sistem keselamatan pasif, pengungkung bawah tanah, dan siklus operasi 4 tahun. Sistem mPower dengan reaktor integral menghilangkan sistem perpipaan yang biasanya ada di sistem PWR selama ini, dan ini sangat meminimalkan kemungkinan terjadinya LOCA dan juga memiliki potensi penghematan. Sistem modular memungkinkan pembangunan secara paralel antara bejana reaktor dan gedung fasilitas lain. Desain gedung nuclear island di bawah tanah mengurangi potensi bahaya eksternal, bahaya seismik, dan mengurangi kemungkinan lepasan bahan radioaktif ke lingkungan udara. Sistem keselamatan melekat dan penggunaan sistem pasif serta besarnya volume pendingin menghindarkan mPower dari kemungkinan kecelakaan seperti yang terjadi di Fukusima. Reaktor mPower memiliki potensi untuk dibangun di Kalimantan, Sumatra dan Jawa-Madura-Bali pada rentang tahun 2020-2025.*

**Kata kunci:** *mPower, reaktor integral, kungkungan bawah tanah*

### **ABSTRACT**

**SYSTEM OF mPower AND ITS UTILIZATION PROSPECT IN INDONESIA.** *One of SMR in near deployment status is mPower, designed by Babcock and Wilcox, USA. Reactor mPower is a type of integral pressurized reactor with reactor core, steam generation, pressurizer, control rod drive mechanism and coolant pumps in a pressure vessel. It uses a passive safety system, underground containment system and refuelling cycle of 4 years. It also minimizes piping system of conventional PWR resulted in minimal potential of LOCA occurrence, and it is good in economic term. Construction of building can be done in parallel with construction of reactor vessel. Underground building make the design robust in term of seismic hazard, external hazard, and radioactivity emission to the air. Passive safety system, larger volume of coolant system may hinder accident such as occurred in Fukushima Dai 2. Reactor mPower has a potential to be constructed in Kalimantan, Sumatra and Jawa-Madura-Bali systems in a period of 2020-2025.*

**Keywords:** *mPower, integral reactor, underground containment,*

## 1. PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu faktor penting dalam penciptaan kemakmuran, dan sebab itulah Indonesia terus berusaha untuk meningkatkan ketersediaan energi untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin tinggi dalam rangka meningkatkan taraf hidup bangsa Indonesia.

Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut dibutuhkan suatu bauran energi yang optimum berdasarkan ketersediaan semua sumber energi. Salah satu permasalahan yang dihadapi Indonesia adalah semakin berkurangnya ketersediaan sumber daya fosil. Berdasarkan pemikiran semacam ini, maka secara teknis energi nuklir menjadi salah satu opsi sebagai bagian dalam bauran energi yang optimum untuk menghasilkan listrik.

Dilihat dari kebutuhan listrik dan kapasitas jaringan, Indonesia terdiri atas wilayah dengan kebutuhan listrik dan kapasitas jaringan yang besar yaitu sistem kelistrikan Jawa-Madura-Bali (Jamali) dan sistem Sumatra; dan wilayah dengan kebutuhan listrik dan kapasitas jaringan yang kecil yaitu sistem kelistrikan di pulau lainnya. Oleh sebab itu PLTN berdaya besar sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan listrik di sistem Jamali dan sistem Sumatra. Konsekuensinya, jika memenuhi semua persyaratan untuk pembangunan dan pengoperasian PLTN, maka PLTN berdaya kecil bisa dibangun di pulau lainnya. Salah satu kendala yang dihadapi saat ini adalah masih belum adanya unit PLTN berdaya kecil inovatif yang telah diperasikan. Beberapa reaktor berdaya kecil dan menengah (SMR) telah dioperasikan di beberapa negara, namun semuanya masih menggunakan teknologi tahun 70-80-an.

Salah satu SMR yang masuk dalam kategori *near-term deployment* adalah mPower yang didesain oleh Babcock and Wilcox, Amerika Serikat. Reaktor mPower merupakan sebuah reaktor air tekan integral (*Integral Pressurized Water Reactor*)<sup>[1]</sup>. Arti dari pengaturan integral adalah bahwa teras reaktor, pembangkit uap dan pressurizer berada dalam satu bejana tekan, begitu juga perangkat penggerak batang kendali (CRDM=control rod drive mechanisms) dan pompa pendingin reaktor. Reaktor mPower menggunakan sistem keselamatan pasif, pengungkung bawah tanah, dan siklus operasi 4 tahun<sup>[2]</sup>.

Makalah ini akan membahas desain mPower dan prospek pemanfaatannya di Indonesia.

## 2. DESKRIPSI UMUM

Desain reaktor mPower dikembangkan dari reaktor Otto-Hahn yang digunakan untuk menggerakkan kapal dagang. Reaktor mPower menggunakan sistem modular dan setiap modul memiliki daya listrik 125 MW. Modul bisa ditambahkan untuk menambahkan daya listrik sampai kapasitas yang diinginkan. Umur desain reaktor adalah 60 tahun, dan dirancang untuk memiliki siklus pengisian bahan bakar 4 tahun.

### Tata Letak

Gambar 1 menunjukkan tata letak kompleks PLTN tipe mPower<sup>[3]</sup>. Tata letak yang ditunjukkan pada Gambar 1 ini adalah untuk 2 modul reaktor. Luas area untuk dua modul reaktor sekitar 17.000m<sup>2</sup><sup>[4]</sup>. Berbeda dengan PWR yang biasanya, desain mPower meletakkan semua reaktor dan gedung pengungkung reaktor di bawah tanah, dan bagian lainnya di atas tanah. Penempatan reaktor dan gedung pengungkung reaktor memiliki keuntungan yaitu hilangnya potensi bahaya eksternal, dan juga ketahanan seismik.

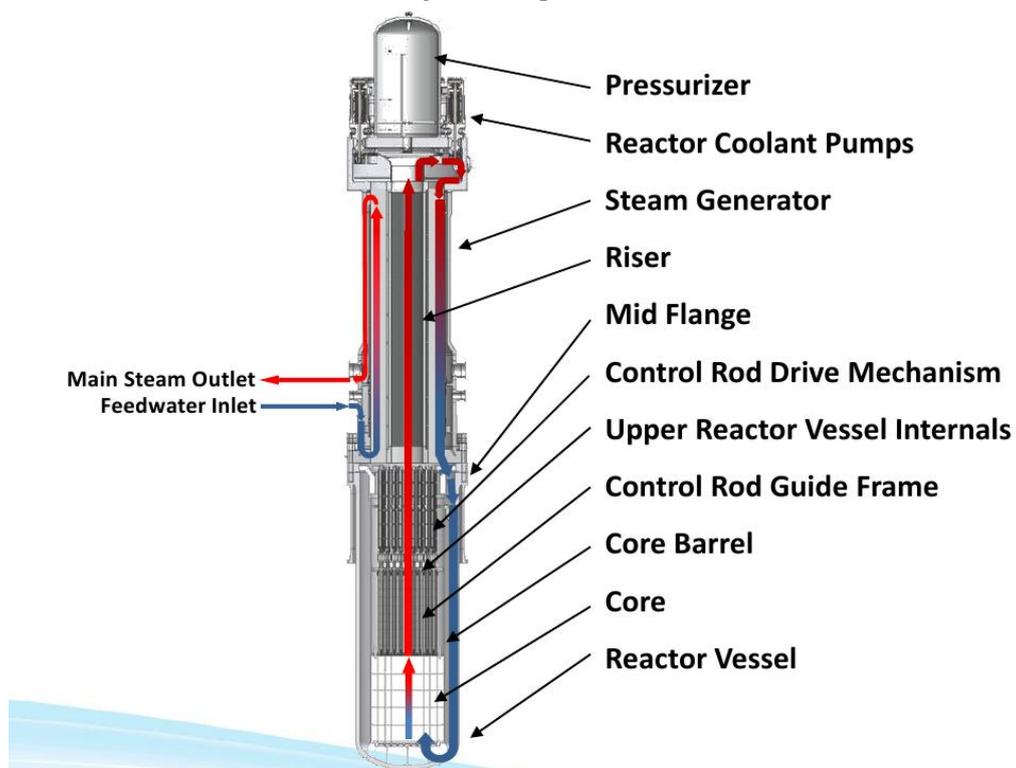


Gambar 1. Tata Letak mPower untuk 2 Unit

### Reaktor Integral

Desain mPower memiliki ciri penggunaan reaktor integral, yaitu penempatan pompa pendingin, pembangkit uap, pressurizer, teras reaktor di dalam bejana tekan reaktor. Gambar 3 menunjukkan skema reaktor integral untuk kapasitas 160MWe<sup>[5]</sup>. Gambar 5 juga menunjukkan arah aliran pendingin dan uap.

Berdasarkan desain reaktor integral ini dapat dikatakan mPower memiliki ciri:



Gambar 2. Skema Reaktor Integral<sup>[5]</sup>

1. Komponen sistem suplai uap utama (NSSS), baik sistem pendingin primer maupun sekunder berada di dalam bejana tekan.
2. Menggunakan satu pembangkit uap sistem sekali-lewat. Sistem pendingin primer melewati bagian tengah dalam pembangkit uap, dan sistem sekunder di luarnya.
3. Teras reaktor berada di bagian bawah bejana tekan untuk memudahkan isi ulang bahan bakar. Air pendingin masuk melalui bagian bawah reaktor.

Salah satu perbedaan antara mPower dengan PWR konvensional ada pada konfigurasi unit pembangkit uap. Pada PWR konvensional, pendingin primer mengalir di dalam tabung, sedangkan pendingin sekunder mengalir di luar tabung. Pada mPower pendingin primer mengalir di luar tabung, sedangkan pendingin sekunder mengalir di dalam tabung<sup>[4]</sup>.

Terdapat sedikit perbedaan posisi pompa pendingin dalam bejana tekan reaktor untuk kapasitas 160 Mwe dengan kapasitas 125MWe. Posisi pompa pendingin untuk kapasitas 125MWe berada di posisi tengah secara aksial <sup>[6]</sup>.

Desain reaktor integral ini tidak memiliki sistem perpipaan antara pipa dengan pembangkit uap seperti sistem PWR saat ini. Selain itu juga tidak terdapat sistem perpipaan antara sistem pendingin primer dan sekunder. Parameter utama terkait desain reaktor dapat dilihat pada Tabel 1.

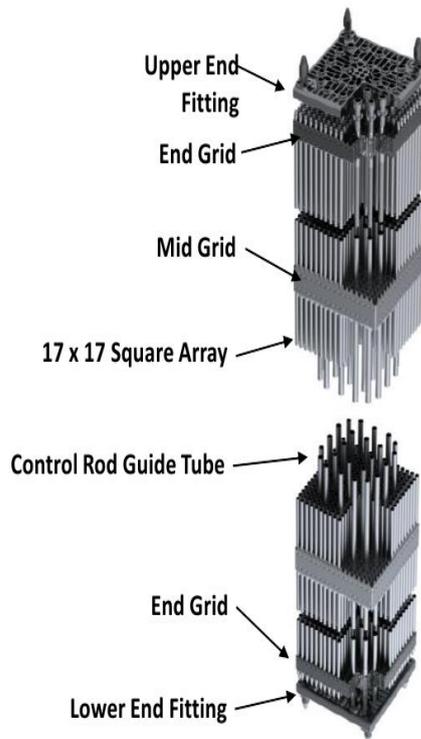
**Tabel 1. Parameter utama desain reactor mPower**

Feature	B&W 177	Typical Gen 3 PWR	B&W mPower	B & W mPower
Rated Core power (MW <sub>th</sub> )	2568	3415	425	500
Core average linear heat rate (KW <sub>th</sub> /m)	18.7	18.7	11.5	11.5
Average flow velocity through the core (m/s)	4.8	4.8	2.5	3.1
RCS volume (m <sup>3</sup> )	325	272	91	92
RCS volume to power ratio (m <sup>3</sup> /MW <sub>th</sub> )	0.14	0.08	0.21	0.18
Maximum LOCA area (m <sup>2</sup> ) *	1.3	1.0	0.009	0.0067
RCS volume/LOCA area ratio (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	250	270	10,000	13,700

### Desain Teras

Teras reaktor berisi 69 perangkat bahan bakar dengan tipe seperti PWR namun lebih pendek. Bahan bakar adalah UO<sub>2</sub> dengan pengayaan di bawah 5%. Tidak ada botton-terlarut (soluble boron) untuk pengendalian reaktivitas. Terdapat racun dapat bakar yang memiliki variasi secara aksial. Juga terdapat batang berisi Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Batang kendali dengan bahan AIC dan B4C. Konfigurasi teras adalah 17x17 seperti PWR. Gambar 5 menunjukkan perangkat bahan bakar yang digunakan mPower.

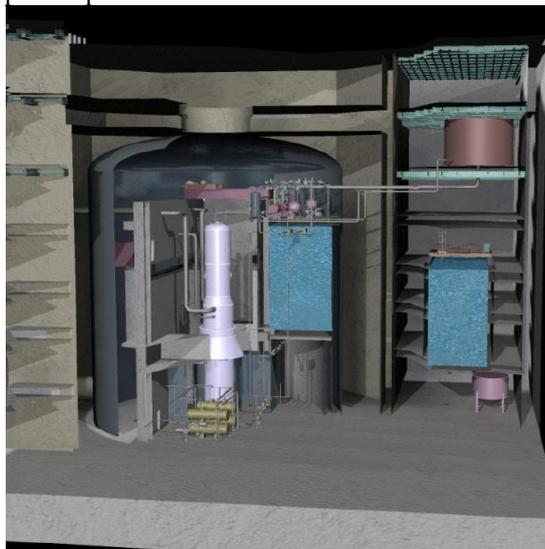
Di tiap perangkat bahan bakar terdapat satu batang kendali<sup>[4]</sup>. Setiap perangkat bahan bakar bisa digunakan selama 4 tahun atau lebih, lebih lama dibandingkan dengan PWR konvensional yang dibakar selama 3 tahun. Untuk itu bahan bakar harus memiliki reaktivitas lebih besar daripada tipe PWR. Pada masa akhir pemakaian bahan bakar, seluruh bahan bakar dalam teras reaktor dikeluarkan dan dilakukan pengisian ulang. Waktu yang diperlukan untuk pengisian ulang sekitar 1 minggu. Bahan bakar bekas disimpan di kolam penyimpanan bahan bakar bekas dengan kapasitas mampu menampung 12 kali jumlah bahan bakar dalam satu teras<sup>[4]</sup>. Artinya, kolam dapat menampung bahan bakar bekas selama 60 tahun operasi.



**Gambar 5. Perangkat bahan bakar**

### **Pengungkung** <sup>[5]</sup>

Reaktor dan bangunan reaktor atau bangunan pengungkung seluruhnya berada di bawah tanah seperti terlihat pada Gambar 5. Selain itu penyimpanan bahan bakar dan ultimate heat sink juga di bawah tanah. Bejana pengungkung terbuat dari logam. Pada saat bersamaan dapat dilakukan pengisian ulang bahan bakar dan pemeriksaan atau pemeliharaan sistem suplai uap.



**Gambar 5. Sistem Pengungkung**

### Ciri Keselamatan Melekat <sup>[5]</sup>

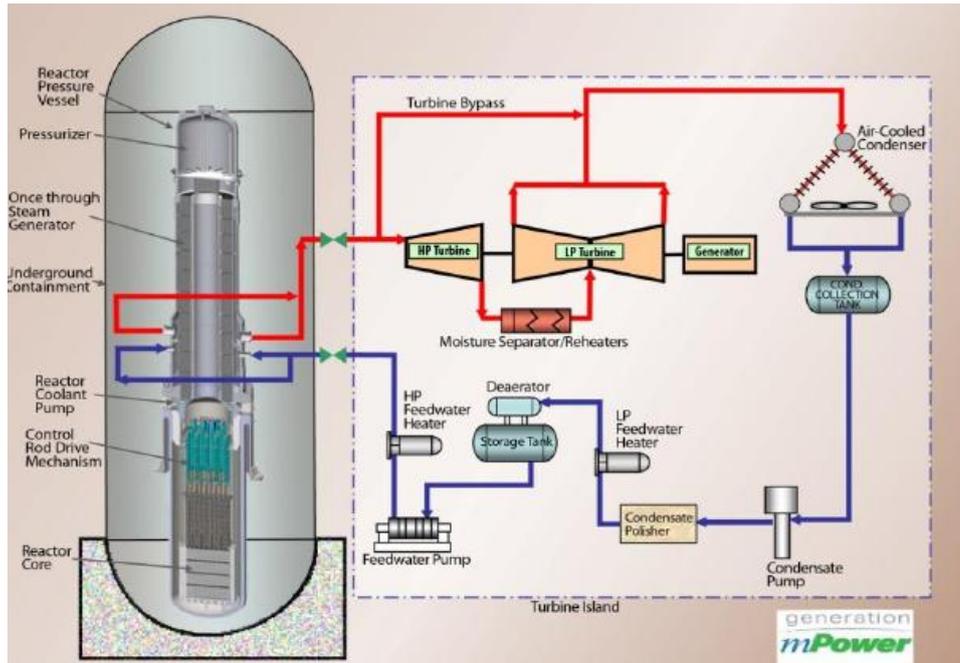
Desain mPower memiliki ciri keselamatan melekat sebagai berikut:

1. Core Linear Heat Rate rendah.
2. Kerapatan daya yang rendah sehingga mengurangi temperatur bahan bakar dan kelongsong bahan bakar saat kecelakaan.
3. Kerapatan daya yang rendah juga memungkinkan laju alir pendingin yang lebih rendah sehingga meminimalkan efek vibrasi akibat aliran pendingin.
4. Sistem pendingin reaktor bervolume besar memberikan waktu yang lebih lama untuk respons sistem keselamatan pada saat terjadi kecelakaan.
5. Sistem pendingin reaktor bervolume besar juga merupakan sediaan pendingin yang lebih banyak sehingga memberikan pendinginan secara kontinu saat terjadi *small break* LOCA.
6. Hanya ada sedikit penetrasi perpipaan pada posisi yang lebih tinggi.

Selain itu sistem pasif digunakan untuk ECCS dengan memanfaatkan sistem sirkulasi alam dan gravitasi tanpa membutuhkan daya listrik. Hal ini akan mengurangi kegagalan pendinginan saat tidak tersedia daya listrik.

### Balance of Plant

Desain mPower memisahkan *nuclear island* dari *turbine island* (*balance of plant*). Uap yang keluar dari reaktor mengalir menuju turbin tekanan tinggi lalu menuju pemisah air sebelum masuk ke turbin tekanan rendah. Setelah melalui sistem turbin, uap mengalir menuju kondensor. Di dalam kondensor, uap didinginkan dengan udara. Namun pendinginan juga bisa dilakukan dengan menggunakan air. Air kodensasi kemudian dialirkan dengan pipa menuju teras reaktor. Secara skematik ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Balance of Plant <sup>[6]</sup>

### 3. PEMBAHASAN

Reaktor mPower tergolong ke dalam reaktor berdaya kecil-menengah (SMR), oleh karena itu memiliki semua keuntungan yang dimiliki oleh SMR.

Desain mPower dikembangkan dari reaktor Otto-Hahn yang digunakan pada kapal yang digunakan untuk mengangkut orang dan barang. Kapal dengan reaktor Otto-Hahn ini adalah satu dari empat kapal dengan reaktor nuklir yang pernah beroperasi. Kapal yang lain adalah Savannah (Amerika), Sevморput (Rusia), dan Mutsu (Jepang). Kapal Otto-Hahn mendapatkan daya dari reaktor tunggal berdaya 38MWe dan mencapai kondisi kekritisan pada tahun 1968. Pertama kali berlayar pada tahun 1970 dan beroperasi hingga tahun 1979. Selama 9 tahun kapal ini telah berlabuh di 33 pelabuhan di 22 negara<sup>[7]</sup>. Berdasarkan pengalaman pemanfaatan jenis reaktor pada kapal, maka dapat dikatakan bahwa sistem reaktor ini sudah terbukti andal dan aman. Perbedaannya adalah bahwa pompa pendingin pada desain mPower berada di dalam bejana tekan, sedangkan pada reaktor Otto-Hahn ada di luar [3].

Dengan menggunakan perangkat bahan bakar bertipe PWR, maka tidak diperlukan suatu pengembangan atau pengujian lagi karena tipe bahan bakar ini telah digunakan di banyak reaktor yang beroperasi. Tidak digunakannya *soluble boron* membuat pengoperasian reaktor lebih sederhana, selain mengurangi kemungkinan korosi akibat pendingin yang bersifat asam. Dimungkinkannya isi-ulang bahan bakar dan inspeksi sistem NSSS pada saat yang bersamaan bisa memperpendek waktu yang dibutuhkan untuk pemeliharaan. Waktu isi-ulang hanya sekitar 1 minggu<sup>[4]</sup> sangat mempersingkat waktu tidak beroperasinya reaktor.

Semua sistem dan komponen *nuclear island* berada di bawah tanah. Hal ini sangat baik dari segi potensi gangguan akibat gempa, karena energi akan terdisipasi melewati gedung reaktor dan mengurangi goyangan pada bangunan. Gedung yang dibuat kedap air membuat sistem tahan terhadap gangguan karena banjir. Selain ini, bangunan di bawah tanah ini akan sangat meminimalkan adanya gangguan eksternal, dan juga mengurangi kemungkinan lepasan bahan radioaktif ke lingkungan udara.

Tersedianya sistem pendingin dengan volume yang besar dan penggunaan sistem keselamatan pasif juga memungkinkan proses pendinginan dalam waktu yang cukup lama. Hal ini memberikan waktu tambahan untuk melakukan respons terhadap kecelakaan, dan juga menghindarkan kecelakaan hilangnya pendinginan seperti yang terjadi di Fukushima Dai 2.

Waktu pembangunan hanya 3 tahun<sup>[5][6]</sup> sangat menarik secara ekonomi. Hal ini dimungkinkan karena pembangunan gedung dapat dilakukan secara paralel dengan pembuatan bejana reaktor dan isinya. Bejana reaktor dibuat secara modular di pabrik, dan diangkut untuk dipasang di tapak. Adanya sistem modular ini memungkinkan penambahan inkremental sesuai dengan kapasitas per modul reaktor.

Jenis reaktor ini sangat cocok untuk beberapa pulau di Indonesia yang memiliki kapasitas jaringan yang kecil. Berdasarkan kapasitas reaktor per modul, maka reaktor ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan di Kalimantan, Sumatra, dan juga pulau Jawa. Penambahan kapasitas pembangkitan bisa dilakukan dengan penambahan modul. Waktu pembangunan yang singkat juga memungkinkan pemanfaatan secara lebih cepat. Untuk wilayah Indonesia yang lain, diperlukan reaktor dengan daya yang lebih rendah karena keterbatasan kapasitas jaringan.

Pendesain merencanakan pengoperasian mPower pada tahun 2020, sehingga jenis ini dapat dibangun di Indonesia pada periode tahun 2020-2025 untuk pengoperasian komersial pada tahun 2026 dan seterusnya.

#### 4. KESIMPULAN

Setelah mengkaji sistem mPower, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem mPower dengan reaktor integral menghilangkan sistem perpipaan yang biasanya ada di sistem PWR selama ini, dan ini sangat meminimalkan kemungkinan terjadinya LOCA dan juga memiliki potensi penghematan.
2. Sistem modular memungkinkan pembangunan secara paralel antara bejana reaktor dan gedung fasilitas lain.
3. Desain gedung *nuclear island* di bawah tanah mengurangi potensi bahaya eksternal, bahaya seismik, dan mengurangi kemungkinan lepasan bahan radioaktif ke lingkungan udara.
4. Sistem keselamatan melekat dan penggunaan sistem pasif serta besarnya volume pendingin menghindarkan mPower dari kemungkinan kecelakaan seperti yang terjadi di Fukushima.
5. Reaktor mPower memiliki potensi untuk dimanfaatkan di Kalimantan, Sumatra dan Jawa-Madura-Bali pada rentang tahun 2020-2025

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Kemenristek, "Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025", Buku Putih, Jakarta 2006.
- [2]. \_\_\_\_\_, "Status of Small and Medium Sized Reactor Designs", IAEA, p.16, Vienna, September 2011.
- [3]. \_\_\_\_\_, [http://www.babcock.com/products/modular\\_nuclear/](http://www.babcock.com/products/modular_nuclear/)
- [4]. \_\_\_\_\_, "B&W mPower Reactor Design Overview", Technical Report, 08-00000341-000(NP), p.9, May 2010, diunduh dari [www.nrc.org](http://www.nrc.org), 2010.
- [5]. PAPANUSSO, L., RICOTTI, M.E., SUMINI, M., "World status of the SMR projects", CERSE POLIMI RL 1351/2011, p.14-15, Milano, September 2011.
- [6]. LEE, D. "mPower", IAEA SMR Technology Workshop, Vienna, December 6, 2011.
- [7]. LEE, D., "Introduction to B&W mPower™ Program", IAEA Interregional Workshop, Vienna, July 7, 2011.
- [8]. \_\_\_\_\_, <http://www.radiationworks.com/ships/nsottohahn.htm>. Diakses November 2012.