

## KAJIAN PEMANFAATAN PLTN SMART UNTUK KAWASAN BARELANG

Sahala M. Lumbanraja, Yuliasuti\*)

### ABSTRAK

#### KAJIAN PEMANFAATAN PLTN SMART UNTUK KAWASAN BARELANG.

Makalah ini mengkaji kelayakan pemanfaatan reaktor SMART (*Small innovative Modular Advanced Reactor*) di kawasan BARELANG. Kawasan ini merupakan kawasan yang dikembangkan untuk kawasan industri yang terletak di Provinsi Kepulauan Riau. Permasalahan utama yang timbul di daerah ini adalah kebutuhan energi listrik dan air bersih baik untuk keperluan industri maupun kebutuhan penduduk. Sampai saat ini, Perusahaan Listrik Negara (PLN) belum mampu mensuplai kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan pelaku industri. Seluruh pembangkit listrik masih menggunakan minyak sebagai sumber pembangkit sehingga biaya pembangkitan menjadi sangat mahal. Air bersih yang diproduksi oleh PDAM bersumber dari waduk yang khusus dibangun untuk menampung air hujan di saat musim hujan karena tidak ada sumber air yang lain, sehingga pada musim kemarau akan menimbulkan kekurangan pasokan. Reaktor SMART merupakan reaktor modular berpendingin air ringan yang dikembangkan oleh KAERI (*Korea Atomic Energy Research Institute*). Reaktor ini khususnya dikembangkan untuk tujuan ganda, yaitu untuk produksi listrik dan air bersih. Total daya termal yang dihasilkan sebesar 330 MWth dengan efisiensi 33 %. Sebanyak 90 MWe dihubungkan ke jaringan listrik dan sisanya digunakan untuk memproduksi air minum dengan kapasitas 40.000 m<sup>3</sup>/hari. Jika dibandingkan dengan jenis PLTN konvensional, reaktor ini didasarkan pada prinsip-prinsip operasi dan perbaikan yang sangat sederhana, keselamatan tinggi, mudah diinspeksi, waktu pembangunan relatif pendek, biaya investasi kecil, biaya pembangkitan sangat kompetitif, dan mudah disesuaikan dengan infrastruktur yang ada. Karakteristik utama SMART adalah konsep reaktor integral, dimana semua komponen-komponen utama sistem pendingin reaktor berada di dalam bejana tekan.

Kata kunci: SMART, listrik, air, BARELANG

### ABSTRACT

**ASSESSMENT OF SMART REACTOR UTILIZATION FOR BARELANG REGION.** This paper assesses the feasibility of SMART reactor utilization in BARELANG region. BARELANG region is an industrial area located in Riau Islands Province. The need of electricity and fresh water, whether for industry growth or people, are the main problem of this region. Until now, the National Electricity Company (PLN) has not able to supply the electricity needed by industrial sector. The use of oil as a main electricity generation resource of the entire power plant has caused a tremendous generation cost. On dry seasons, the fresh water supplied by PDAM is reducing drastically. This situation occurs because water source of PDAM extremely depends on the water storage during rainy seasons. SMART reactor is a modular light reactor developed by KAERI for dual purposes, producing electricity and fresh water at the same time. The total thermal power generated by this type of reactor is about 330 MWth with 33 % efficiency, as 90 MWe connected to the electricity grid and rest is used in producing potable water with capacity 40.000 m<sup>3</sup>/day. Compare to the conventional reactor, SMART reactor is based on simple operation and maintenance principles, enhanced safety, easy to inspect, a relatively short construction time, small investment cost, competitive generation cost, and a flexible design to fit with the existing

infrastructure. The main characteristic of SMART reactor is an integral design concept where the entire main cooling system components are located in the pressurize vessel.

*Keywords: SMART, electricity, water, BARELANG*

## **I. PENDAHULUAN**

Kawasan BARELANG (Batam, Rempang, dan Galang) berada di Provinsi Kepulauan Riau dan telah dicanangkan oleh pemerintah Indonesia menjadi kawasan industri. Permasalahan utama yang dialami oleh kawasan BARELANG adalah masalah kekurangan pasokan energi listrik dan air bersih sedangkan untuk sarana pendukung lainnya sudah cukup memadai. Pertumbuhan industri masih terfokus di kawasan Batam, sedangkan di kawasan Rempang dan Galang masih dalam taraf rencana pengembangan. Kebutuhan energi listrik untuk industri di kawasan Batam sebagian besar disuplai oleh pelaku industri itu sendiri. Kapasitas energi listrik yang dibangkitkan oleh PT. PLN sebesar 299,04 MWe, sedangkan yang dibangkitkan oleh swasta sebesar 161,18 MWe[1]. Semua energi listrik yang dihasilkan berasal dari PLTD (pembangkit listrik tenaga diesel). Kenaikan bahan bakar migas semakin menekan dunia industri yang beroperasi disana.

PLTN SMART merupakan pembangkit listrik berdaya kecil yang khusus dirancang untuk tujuan ganda, yaitu untuk pembangkit listrik dan air bersih. PLTN ini merupakan reaktor modular generasi maju, berpendingin air ringan dengan teknologi yang bersumber pada teknologi reaktor air ringan generasi ketiga yang dirancang sesuai dengan syarat-syarat umum yang diajukan oleh pengguna (limbah minimal dan keselamatan tinggi), regulator (keselamatan tinggi), pemerintah (non-proliferasi nuklir) dan konsumen (ekonomis). PLTN ini dikembangkan oleh KAERI (*Korea Atomic Energy Research Institute*). Pada tahun 2005, sebuah PLTN prototip SMART-P mulai dibangun di Korea Selatan dan diharapkan beroperasi pada tahun 2008[2].

PLTN SMART merupakan reaktor dengan konfigurasi dan performa sistem yang cukup menonjol, yaitu desain modular, bejana reaktor integral, waktu hidup panjang (60 tahun), biaya operasi dan perawatan kecil, pergantian bahan bakar lama (3 tahun sekali), margin keselamatan tinggi, mudah diinspeksi, waktu pembangunan relatif pendek, biaya investasi per unit pembangkit relatif kecil dan biaya pembangkitan kompetitif dibandingkan dengan reaktor konvensional.

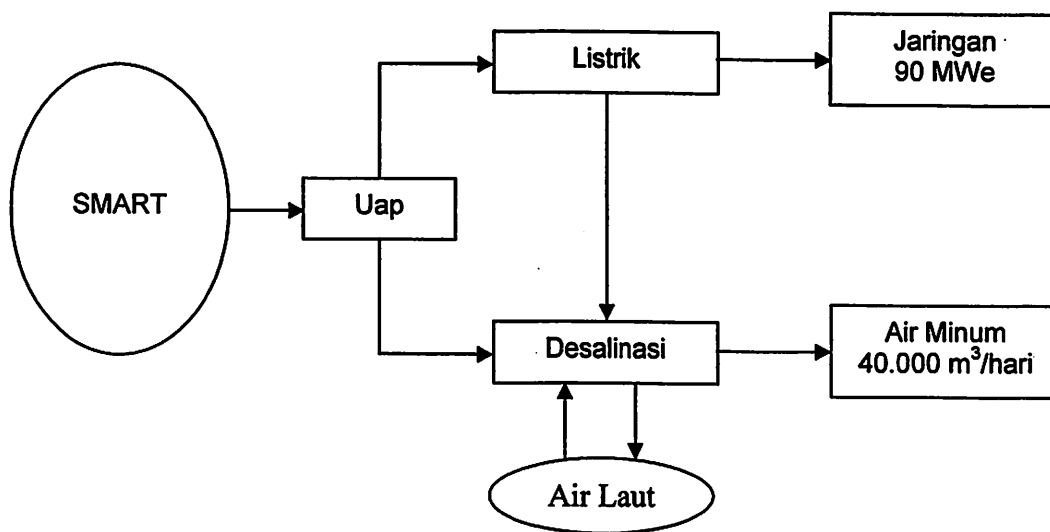
Makalah ini akan mengkaji prospek kemungkinan kelayakan pemanfaatan PLTN berdaya kecil sebagai solusi alternatif yang sesuai dengan pertumbuhan permintaan energi listrik dan air bersih di Kawasan BARELANG.

---

*\*) Bidang Manajemen Persiapan PLTN - PPEN*

## II. URAIAN UMUM SISTEM PLTN SMART

PLTN SMART merupakan reaktor daya jenis PWR berdaya kecil dengan daya termal sebesar 330 MWth pada kondisi operasi penuh dan dirancang khusus untuk tujuan ganda (sebagai pembangkit listrik dan desalinasi air laut). Reaktor ini mempunyai efisiensi termal sekitar 30 % dan sebagian besar (90 MWe ) energi listrik yang dihasilkan dihubungkan ke jaringan dan sisanya (10 MWe  $\approx$  33 MWth) digunakan sebagai sumber energi untuk desalinasi air laut dengan kapasitas air bersih sekitar 40.000 m<sup>3</sup>/hari. Sistem proses desalinasi yang digunakan adalah sistem MED (*Multi Effect Distillation*). Skema pendayagunaan reaktor ini diuraikan pada Gambar 1.

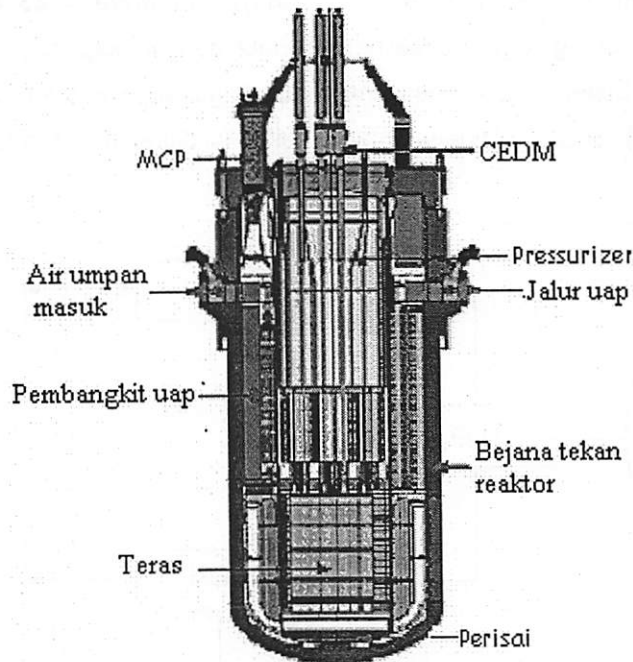


Gambar 1. Skema Sistem Pembangkit Listrik dan Desalinasi Air Laut SMART [3,4,5]

### 2.1 Teras PLTN SMART dan Bahan Bakar

SMART dirancang sesuai dengan syarat-syarat yang ditentukan pada PLTN generasi maju, seperti frekuensi kerusakan teras lebih kecil dari 10<sup>-7</sup>/tahun. Reaktor ini menggunakan bejana reaktor integral (*integral reactor vessel*) dengan semua komponen utama sistem pendingin (teras reaktor, pompa pendingin, pembangkit uap dan pompa tekan) berada di dalamnya. Konsep bejana integral ini dimaksudkan untuk mengurangi banyaknya interkoneksi sistem pemipaan seperti yang terdapat pada reaktor nuklir konvensional, sehingga kemungkinan kecelakaan kehilangan pendingin besar (*LBLOCA, large break loss of coolant accident*) dapat dikurangi. Untuk meningkatkan sistem keselamatan reaktor, maka bejana reaktor dan komponen-komponen lain juga dikungkung dengan pengungkung yang terbuat dari baja, berbentuk silinder dengan panjang 9,8 m dan diameter 3,96 m.

Teras didesain dengan siklus operasi yang sangat panjang, kerapatan daya (*power density*) yang rendah sekitar 62,6 kW/liter, supaya memiliki kemampuan respon teras terhadap transien daya (*power transients*) yang lebih baik. Dibandingkan PLTN konvensional, disain teras SMART bebas larutan boron mulai dari kondisi operasi *cold room temperature* ke *hot full power*. Tampang lintang bejana reaktor SMART ditunjukkan pada Gambar 2.



(MCP: Main Circulation Pump; CEDM: Control Element Drive Mechanism)  
Gambar 2. Penampang lintang bejana reaktor SMART [2,3,4,5]

Desain reaktor SMART merupakan kombinasi konsep teknologi konvensional dengan teknologi maju. Teras SMART dirancang untuk membangkitkan daya sebesar 330 MWth yang diperoleh dari 57 perangkat bahan bakar (*fuel assembly*), dengan konfigurasi 17 X 17 yang didasarkan pada teknologi PWR yang telah digunakan di Korea. Reaktor ini berbahan bakar  $UO_2$  dengan tingkat pengayaan sekitar 4,95 %, cukup untuk menyediakan reaktivitas yang dibutuhkan selama 3 tahun siklus operasi bahan bakar. Secara umum parameter desain SMART ditunjukkan pada Tabel 1.

## 2.2 Komponen-komponen Utama dan Pendukung

Komponen-komponen utama PLTN SMART terdiri dari bejana tekan reaktor (RPV, *reactor pressure vessel*), generator uap, *pressurizer*, *control element drive mechanism* (CEDM), dan pompa pendingin utama (MCP, *main coolant pump*). Sedangkan komponen pendukung terdiri dari sistem pendingin komponen, dan sistem purifikasi.

Tabel 1. Parameter desain SMART [2,3,4,5,6,7]

Nama Reaktor		SMART
Perancang		KAERI
Tipe		PWR tipe integral
Umur desain		60 tahun
Daya		330 MWth/100 MWe
Sistem Pendingin Reaktor	Model pendinginan	Sirkulasi paksa
	Tekanan rancangan	17 MPa
	Tekanan operasi	15 MPa
	Temperatur masuk teras	270 °C
	Temperatur keluar teras	310 °C
Bejana reaktor	Tinggi	9,8 m
	Diameter	3,96 m
Teras reaktor	Tinggi	2 m
	Diameter	1,832 m
	Kerapatan daya rerata	62,6 kW/liter
Bahan Bakar	Tipe	UO <sub>2</sub> tersinter
	Jumlah	264
	Pengkayaan	4,95 %
	Siklus pergantian	36 bulan

### III. ASPEK KESELAMATAN

Konsep desain sistem keselamatan PLTN SMART terdiri dari sistem keselamatan *inheren*, konsep keselamatan pasif, dan sistem keselamatan aktif. Sistem keselamatan aktif digunakan jika sistem keselamatan pasif tidak berfungsi. Aspek keselamatan PLTN SMART difokuskan pada peningkatan derajat keselamatan inheren dengan mengeliminasi atau memperkecil penyebab kecelakaan.

Konsep bejana berbentuk integral dapat mengeliminasi secara fisik kemungkinan berbagai kecelakaan, memperkecil kemungkinan kecelakaan terparah dan memperkecil resiko ke tingkat yang dapat diterima jika terjadi kecelakaan.

Untuk mencapai sasaran tersebut desain PLTN SMART menggunakan konsep keselamatan pasif dan karakteristik keselamatan inheren; kerapatan daya teras rendah untuk memberikan respon yang baik terhadap fenomena transien; tidak menggunakan larutan boron selama operasi untuk memberikan *moderator temperature coefficient (MTC)* negatif yang cukup besar; mengeliminasi kemungkinan terjadinya kecelakaan kehilangan air pendingin ukuran besar (*large break loss of coolant accident, LBLOCA*); penggunaan pembangkit uap jenis *helically coiled once-through* untuk menghasilkan *superheated steam*. Ciri keselamatan inheren adalah memaksimalkan koefisien

temperatur negatif dengan mengatur racun dapat bakar (*burnable poison*). Sedangkan ciri keselamatan pasif adalah memanfaatkan sirkulasi alamiah secara maksimal (hingga 100%) saat reaktor kehilangan daya, kehilangan fungsi pemindah panas peluruhan (*decay heat removal*) dan pecah/bocornya tabung penukar panas, sehingga kecelakaan aliran pendingin (*loss of coolant accident, LOCA*) dapat dikurangi sekecil mungkin.

Reaktor ini dirancang mempunyai keselamatan tinggi dengan koefisien temperatur moderator (*moderator temperature coefficient, MTC*) negatif yang besar, yaitu sebesar  $-63 \text{ pcm}^{\circ}\text{C}$  pada setiap waktu selama siklus bahan bakar, dan juga mempunyai margin termal cukup besar.

Pengendalian reaktivitas dilakukan dengan batang kendali jenis Ag-In-Cd. Sistem *shutdown* reaktor dilakukan dengan mekanisme penggerak batang kendali (*control rod drive mechanism, CDRM*). Kerapatan daya teras SMART didesain cukup kecil untuk meniadakan penggunaan pompa pendingin sistem primer dalam sirkulasi paksa. Sistem pemipaan eksternal juga diiadakan, agar kecelakaan kehilangan pendingin ukuran besar (*large LOCA*) dapat dihindarkan.

#### IV. ASPEK EKONOMI PLTN SMART

Secara umum pembangkit listrik daya kecil sulit berkompetisi secara ekonomi dibandingkan dengan pembangkit listrik daya besar. Reaktor SMART dirancang dengan berbagai kelebihan, seperti waktu konstruksi diperkirakan hanya 36 bulan, dan siklus pergantian bahan bakar 36 bulan. Waktu konstruksi yang pendek akan mengurangi biaya bunga dan mempercepat pengembalian biaya modal. Dengan demikian SMART dapat berkompetisi dengan pembangkit daya besar. Secara umum pembangunan PLTN membutuhkan waktu sangat panjang (lebih dari 5 tahun).

Dari hasil studi ekonomi yang telah dilakukan oleh BATAN-IAEA-KAERI besar biaya pembangkitan listrik sebesar 4,32  $\text{¢US /kWh}$  dan biaya desalinasi air menggunakan proses MED (*multi effect distillation*) sebesar 1,07  $\text{\$US /m}^3$  dengan *backup heat source*, sedangkan jika tanpa *backup heat source* sebesar 0,84  $\text{\$US /m}^3$ , proses MSF (*multi stage flash*) berturut-turut sebesar 1,63  $\text{\$US /m}^3$  dan 1,47  $\text{\$US /m}^3$ , dan proses RO (*reverse osmosis*) berturut-turut sebesar 1,07  $\text{\$US /m}^3$  dan 1,07  $\text{\$US /m}^3$ . *Total capital cost* untuk satu unit sebesar 1714  $\text{\$US /kWe}$ , sedangkan untuk dua unit *total capital cost* nya akan berkurang menjadi 1613  $\text{\$US /kWe}$ .

#### V. PEMBAHASAN

Kawasan BARELANG merupakan daerah industri yang sedang berkembang pesat, khususnya di Pulau Batam. Visi dari Otorita Pengembangan Daerah Industri Pulau Batam adalah mewujudkan kawasan BARELANG sebagai salah satu lokomotif pembangunan nasional, pusat pertumbuhan ekonomi regional yang memberikan manfaat kesejahteraan bagi wilayah, sedangkan misinya adalah mewujudkan

BARELANG sebagai daerah industri yang kompetitif di Asia Pasifik, dengan dukungan sektor perdagangan, pariwisata, alih kapal (transshipment), perbankan dan jasa keuangan internasional. Pada tahun 1990, investasi pemerintah, swasta domestik dan swasta asing masing-masing sebesar 573 juta US\$, 1.515 juta US\$, dan 684 juta US\$. Pada Juni 2006 meningkat cukup besar, dimana investasi pemerintah menjadi 2.433 juta US\$, swasta domestik menjadi 5.470 juta US\$, dan swasta asing menjadi 4.250 juta US\$. Untuk meningkatkan keandalan infrastruktur kelistrikan di kawasan ini, akan dibangun pembangkit listrik sebesar 1.153,5 MWe pada periode tahun 2008 hingga 2016[1].

Sebagai reaktor daya, PLTN SMART didesain untuk tujuan ganda, yaitu untuk pembangkit listrik dan desalinasi air laut. Umumnya jenis reaktor integral mempunyai efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan jenis reaktor konvensional [9,10]. PLTN SMART merupakan reaktor integral yang efisiensi dayanya sedikit lebih rendah daripada efisiensi reaktor konvensional. Efisiensi daya SMART hanya sekitar 30%, sedangkan reaktor konvensional mempunyai efisiensi lebih besar dari 30%.

Desain PLTN SMART dikembangkan berdasarkan prinsip-prinsip operasi dan perbaikan yang sangat sederhana, keselamatan tinggi, mudah diinspeksi, waktu pembangunan relatif pendek dan biaya investasi kecil.

PLTN ini didesain dengan target keselamatan sangat tinggi yang mana frekuensi kerusakan teras dan frekuensi pelepasan radioaktif berturut-turut sebesar  $10^{-7}$  dan  $10^{-8}$  per reaktor-tahun, sementara rekomendasi IAEA untuk reaktor generasi maju berturut-turut sebesar  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$  per reaktor-tahun. Secara numerik tingkat keselamatan PLTN SMART lebih tinggi 100 kali dibandingkan rekomendasi IAEA.

Sistem modularisasi, standarisasi dan produksi massal dari komponen-komponen sejenis untuk sejumlah modul berkontribusi mengurangi total biaya dibandingkan dengan hanya mengoperasikan modul tunggal. Dari perhitungan yang telah dilakukan oleh BATAN-IAEA-KAERI pengoperasian dua PLTN dapat mengurangi biaya modal kira-kira 100 US\$/kWe dibandingkan dengan hanya membangun satu PLTN. Dan waktu konstruksi pendek (lebih kecil dari 3 tahun) juga akan mengurangi biaya dan resiko investasi, seperti biaya tenaga kerja selama konstruksi akan semakin kecil, biaya bunga modal juga semakin kecil, dan lain-lain. PLTN SMART dikembangkan berdasarkan sistem keselamatan dengan derajat keselamatan tinggi, dan berbagai penyederhanaan. Sistem keselamatan tinggi, umur teras panjang (60 tahun), dan siklus pergantian bahan bakar 36 bulan sekali akan meningkatkan faktor ketersediaan hingga lebih dari 90 %. Faktor ketersediaan tinggi ini akan meningkatkan pendapatan (*revenue*).

Beberapa aspek penting yang perlu mendapat perhatian dan dikaji lebih mendalam saat menentukan pilihan PLTN adalah aspek teknologi, ekonomi & finansial, lingkungan, dan perizinan.

Dari segi teknologi, aspek perawatan dan keandalan komponen merupakan faktor yang harus mendapat perhatian mendalam karena desain reaktor ini berbeda dengan reaktor konvensional. Pada jenis reaktor integral semua komponen-komponen utama berada dalam bejana sehingga aspek perawatan yang terkait dengan teknologi siklus pergantian bahan bakar (*refueling*), pergantian dan pemeriksaan pembangkit uap serta struktur internal lain berbeda dengan desain reaktor nuklir konvensional.

Dari segi ekonomi dan pendanaan yang perlu mendapat perhatian dan kajian lebih mendalam adalah biaya pembangkitan dan persentase partisipasi domestik yang ditawarkan oleh penjual (*vendor*). Pada PLTN ini, kemungkinan persentase partisipasi domestik lebih kecil dibandingkan jenis reaktor konvensional karena hampir semua komponennya berbentuk modul yang telah dipabrikasi secara utuh dan tinggal merakit di negara yang akan membangun. Aspek bunga (*interest*) dan lama pengembalian juga perlu mendapat perhatian karena akan mempengaruhi harga jual listrik dan air yang diproduksi. Reaktor modular berdaya kecil lebih menguntungkan dari aspek finansial karena biaya modal untuk setiap modul jauh lebih kecil dibandingkan dengan reaktor berdaya besar, dan pembangunan modul berikut dapat disesuaikan dengan kondisi dan permintaan pasar pengguna, sehingga risiko pembiayaan dapat ditekan sekecil mungkin.

Dari segi lingkungan, aspek sosiokultural dan demografi perlu mendapat perhatian dan dikaji lebih mendalam untuk memudahkan pemasyarakatan dan penerimaan masyarakat terhadap kehadiran PLTN di daerah tersebut.

Aspek perizinan perlu mendapat perhatian, karena banyak instansi yang terlibat dalam memberikan surat izin membangun. Keterlambatan perizinan akan berimplikasi terhadap ketepatan jadwal pembangunan yang telah direncanakan, sehingga akan berakibat pada peningkatan biaya modal. Hal ini menyebabkan membesarnya biaya pembangkitan yang pada akhirnya juga akan dibebankan pada konsumen.

## VI. KESIMPULAN

PLTN jenis SMART merupakan reaktor sistem modul yang didesain dengan berbagai kelebihan. PLTN ini didesain untuk tujuan ganda, yaitu untuk pembangkit listrik dan desalinasi air laut. Tingkat keselamatan dan unjuk kerjanya cukup tinggi jika dibandingkan rekomendasi IAEA untuk reaktor maju daya kecil. Kawasan Industri BARELANG merupakan daerah industri yang berkembang secara pesat, sehingga kebutuhan listrik dan air bersih juga akan meningkat secara pesat. Pada rencana pengembangan kelistrikan 2008 – 2016, kawasan membutuhkan listrik sebesar 1.153,5 MWe. Dari hasil studi yang telah dilakukan oleh BATAN-IAEA-KAERI untuk kawasan



Pulau Madura, PLTN ini cukup kompetitif. Studi pemanfaatan PLTN SMART untuk kawasan BARELANG perlu dilakukan baik dari segi teknologi dan biaya pembangkitan sehingga PLTN ini dapat berperan dalam mewujudkan misi dari pengelola Otorita Batam.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

1. BIDA, "Development Progress BATAM Indonesia, Second Edition of 2006
2. KAERI, "SMART", [http://www.kaeri.re.kr/SMART\\_eng.html](http://www.kaeri.re.kr/SMART_eng.html)
3. DOO-JEONG LEE, SI-HWAN KIM, "Advanced Nuclear Desalination System with SMART", <http://www3.inspi.ufl.edu/icapp03/plenary/tues2/Doo-Jeong%20Lee.pdf>
4. BATAN-IAEA-KAERI "Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia", Minutes of the First Progress Review Meeting on Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia
5. IAEA, "SMART", Status of Advanced Light Water Reactor Designs 2004
6. MARIO D. CARELLI AND BOJAN PETROVIC, "Next Generation Advanced Reactor", <http://npj.goinfo.com/NPJMain.nsf/504ca249c786e20f85256284006da7ab/e571143544bd6be1862a88005b6675?OpenDocument>
7. A.R. ANTARIKSAWAN, ANDI S. EKARIANSYAH, D.T. SONY, SUHARNO DAN HUDI HASTOWO, "Karakteristik Teras Reaktor Daya Kecil SMART", Seminar Fisika dan Kinetika Reaktor, Bandung 3 Oktober 2002.
8. WILLIAM D. MAGWOOD, "Report to Congress on Small Modular Nuclear Reactors", May 2001, <http://nuclear.gov.analysis/mod.small-reactors.html>
9. "Report Study Outlines Reactor Designs That May Be Ready for Deployment by Decade's End", Nuclear News, August 2001, <http://www.ans.org/pubs/magazines/nn/pdfs/2001-8-2.pdf>
10. EHUD GREENSPAN, NEIL BROWN, "Small Innovative Reactor Designs – Useful Attributes and Status of Technology", [http://www.rice.edu/projects/baker/Pubs/workingpapers/2001\\_nuclear/greenspan\\_brown.html](http://www.rice.edu/projects/baker/Pubs/workingpapers/2001_nuclear/greenspan_brown.html)