

ANALISIS APLIKASI ENERGI TERMAL RGTT200K UNTUK PRODUKSI HIDROGEN PLTN DAN DESALINASI

Sumijanto

Pusat Teknologi Reaktor Dan Keselamatan Nuklir – BATAN
Kawasan Puspipstek Serpong, Gedung 80, Serpong.

ABSTRAK

ANALISIS APLIKASI ENERGI TERMAL RGTT200K UNTUK PRODUKSI HIDROGEN PLTN DAN DESALINASI. Krisis kelangkaan bahan bakar minyak di Indonesia memberikan petunjuk kepada kita bahwa deversifikasi sumber energi perlu lebih diintensifkan guna menjamin kelangsungan kebutuhan energi. Hidrogen merupakan media pembawa energi yang fleksibel, dan ramah lingkungan yang menjanjikan untuk dapat mendukung program deversifikasi energi di Indonesia masa depan. Pemerintah saat ini telah mengambil kebijakan bahwa Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi (RGTT) perlu dikembangkan pemanfaatannya guna mendukung kelangsungan kebutuhan energi. Sebagai proyek percontohan deversifikasi energi tersebut, propinsi Bangka Belitung telah merencanakan pembangunan RGTT kogenerasi. Kapasitas daya RGTT kogenerasi yang akan dibangun ditetapkan 200MWth diharapkan mampu memenuhi kebutuhan listrik lokal sebesar 20% dari total kebutuhan, menghasilkan gas hidrogen sebagai sumber energi baru dan terbarukan, serta air bersih untuk sanitasi masyarakat sekitar. Dalam makalah ini dibahas tentang analisis aplikasi energi termal RGTT200K (RGTT 200 MWth kogenerasi) untuk produksi hidrogen, PLTN, dan desalinasi air laut. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memperoleh gambaran distribusi energi termal RGTT200K serta kapasitas produksi dari masing-masing sistem kogenerasi. Analisis dilakukan melalui perhitungan kebutuhan energi termal, serta produk yang dihasilkan pada masing-masing instalasi kogenerasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa 50 MWe energi listrik, 160000 m³/hari gas hidrogen dan 35.000 m³/hari air bersih dapat dihasilkan dari kogenerasi RGTT200K. Selanjutnya data ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perencanaan pembangunan RGTT200K yang merupakan salah satu alternatif dalam merealisasikan program diversifikasi pemenuhan kebutuhan energi dan air bersih di Bangka Belitung.

Kata kunci : RGTT, kogenerasi, produksi hidrogen, pembangkit listrik, desalinasi.

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF THERMAL ENERGY APPLICATIONS RGTT200K FOR HYDROGEN PRODUCTION NPP AND DESALINATION. Fuel shortage crisis in Indonesia to provide instructions to us that the diversification of energy sources need to be intensified to ensure the continuity of its energy needs. Hydrogen as an energy carrier medium is flexible and friendly environment that promises to support programs in Indonesia diversification energy future. The government recently has adopted a policy that the High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) should be developed to support the continuity of their utilization of energy needs. As a pilot project on energy diversification, Bangka Belitung province has plans to build a cogeneration HTGR. HTGR cogeneration power capacity to be constructed is set 200MWth expected to meet local electricity demand by 20% of total needs, generate hydrogen gas as a source of new and renewable energy, clean water for sanitation as well as surrounding communities. In this paper, the analysis of thermal energy applications RGTT200K (200 MWth RGTT cogeneration) for hydrogen production, nuclear power plants, and desalination of sea water. The purpose of this analysis is to obtain RGTT200K thermal energy distribution and production capacity of each cogeneration system. Analysis was performed through the calculation of thermal energy needs, and products produced at each installation of cogeneration. The analysis shows that the 80 MWe of electricity, 160 000 m³/day of hydrogen gas and 35.000 m³/day clean water can be produced from cogeneration RGTT200K. Furthermore, this data can be used as a consideration in development planning RGTT200K which is one alternative in realizing the program diversification energy needs and clean water in the Bangka Belitung.

Keywords: HTGR, cogeneration, hydrogen production, electricity generation, desalination.

PENDAHULUAN

Krisis kelangkaan bahan bakar minyak di Indonesia memberikan petunjuk kepada kita bahwa deversifikasi sumber energi perlu lebih

diintensifkan guna menjamin kelangsungan kebutuhan energi. Pemerintah saat ini telah mengambil kebijakan bahwa Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi (RGTT)

perlu dikembangkan pemanfaatannya guna mendukung kelangsungan kebutuhan energi tersebut. RGTT adalah salah satu reaktor daya maju berpendingin gas helium yang dapat beroperasi pada suhu tinggi (sampai 1000 °C) sehingga efisiensi pembangkitan listrik dengan siklus Brayton menjadi lebih tinggi, dan sangat prospektif jika dikogenerasi dengan produksi hidrogen termokimia I-S.

Hidrogen merupakan media pembawa energi yang fleksibel, dan ramah lingkungan yang menjanjikan untuk dapat mendukung program deversifikasi energi di Indonesia masa depan. Saat ini teknologi fuel sel dengan menggunakan bahan bakar hidrogen sudah mulai diimplementasikan di Indonesia, sehingga produksi hidrogen yang merupakan produk samping kogenerasi RGTT akan sangat mendukung pemenuhan kebutuhan energi.

Studi awal terkait dengan rencana pembangunan RGTT tersebut telah dilakukan diantaranya studi calon tapak, kapasitas daya reaktor yang cocok dan lain sebagainya. Dari hasil studi awal diperoleh bahwa kapasitas daya RGTT kogenerasi yang akan dibangun ditetapkan 200MWth dan diharapkan mampu memenuhi kebutuhan listrik lokal sebesar 20% dari total kebutuhan listrik Bangka Belitung sebesar 300 Mwe^[1].

Dalam makalah ini dibahas tentang analisis aplikasi energi termal RGTT200K (RGTT 200 MWth kogenerasi) untuk produksi hidrogen, PLTN, dan desalinasi air laut. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memperoleh gambaran distribusi energi termal RGTT200K serta kapasitas produksi dari masing-masing sistem kogenerasi. Hasil analisis ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam merencanakan pembangunan RGTT pada khususnya dan deversifikasi energi di Bangka Belitung pada umumnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi

Reaktor berpendingin gas helium temperatur tinggi telah dikembangkan oleh General Atomics (GA) sejak tahun 1960, untuk keperluan pembangkit listrik dan produksi panas proses untuk berbagai keperluan industri, termasuk

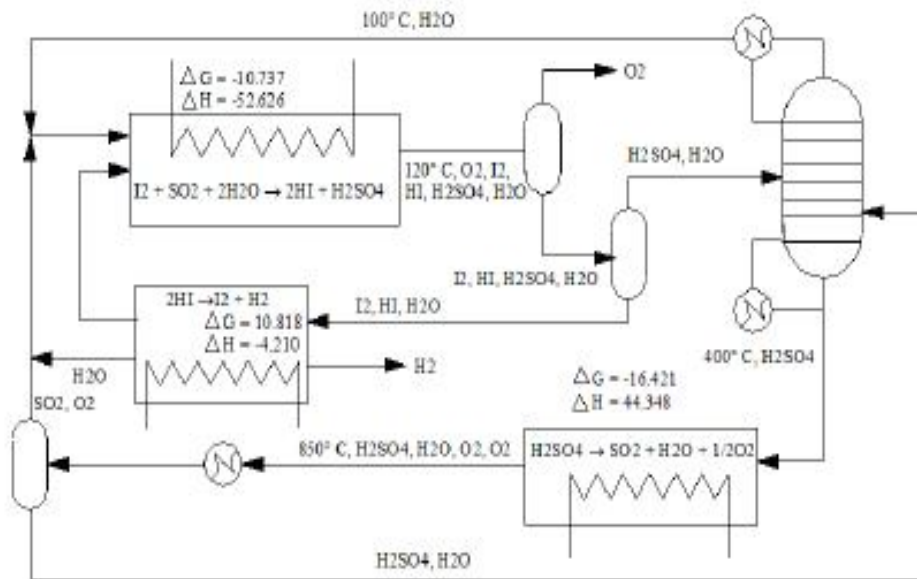
produksi hidrogen dan desalinasi air laut. Dalam dekade belakangan ini, GA sedang mengembangkan reaktor nuklir dengan keselamatan pasif dan ukuran modular yang dikenal dengan nama MHR (*Modular Helium Reactor*). Reaktor jenis MHR ini dapat dikopel secara langsung dengan sistem konversi daya menggunakan siklus Brayton untuk membangkitkan listrik dengan efisiensi tinggi, sehingga konsep reaktor ini dikenal dengan GT-MHR (*Gas Turbine – Modular Helium Reactor*). Reaktor MHR ini selain dirancang untuk pembangkit listrik (GT-MHR), juga dirancang untuk menghasilkan panas yang dapat digunakan untuk proses produksi hidrogen, dan desalinasi air laut^[2]. Untuk keperluan tersebut maka diperlukan sistem konversi daya berupa sistem *Intermediate Heat Exchanger* (IHX) yang akan memindahkan daya dari reaktor ke sistem proses. Karakteristik Reaktor Berpendingin Gas Helium Temperatur Tinggi seperti pada Tabel 1^[1].

Tabel 1 : Karakteristik Reaktor Berpendingin Gas Helium Temperatur Tinggi, jenis GT-MHR

Daya reaktor	600 MW
Moderator dan reflektor	Grafit
Pendingin	Gas helium fasa tunggal (He)
Temperatur <i>outlet</i> pendingin He	950 °C
Temperatur <i>inlet</i> pendingin He	594 °C
Laju alir pendingin He	324 kg/s
Tekanan pendingin He	5,1 MPa

Proses Produksi Hidrogen Termokimia I-S

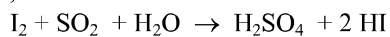
Siklus tertutup proses produksi hidrogen termokimia I-S, seperti ditunjukkan pada Gambar 1^[3].



Gambar 1 : Skema proses produksi hidrogen termokimia I-S

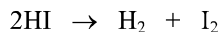
Energi termal masuk kedalam siklus termokimia melalui satu atau lebih reaksi kimia endotermis temperatur tinggi. Sedangkan energi termal dikeluarkan secara signifikan melalui reaksi kimia eksotermis temperatur rendah. Dalam hal ini semua reaktan selain air disiklus ulang melalui regenerasi, sehingga reaksi secara keseluruhan adalah reaktan air diubah menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2).

Reaksi pertama dikenal sebagai reaksi Bunsen,



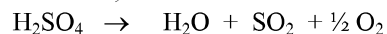
dimana dalam reaksi ini iodin dan sulfur dioksida ditambahkan kedalam air sehingga membentuk hidrogen iodida dan asam sulfat dengan mengeluarkan panas 52,626 kJ/mol, pada kondisi temperatur 120 °C.

Reaksi yang kedua adalah dekomposisi hidrogen iodida,



reaksi ini menghasilkan gas iodin (I_2 , disiklus ulang) dan gas hidrogen (H_2 , produk utama) dan mengeluarkan panas 4,210 kJ/mol pada kondisi temperatur 450 °C.

Reaksi yang ketiga adalah reaksi dekomposisi asam sulfat,



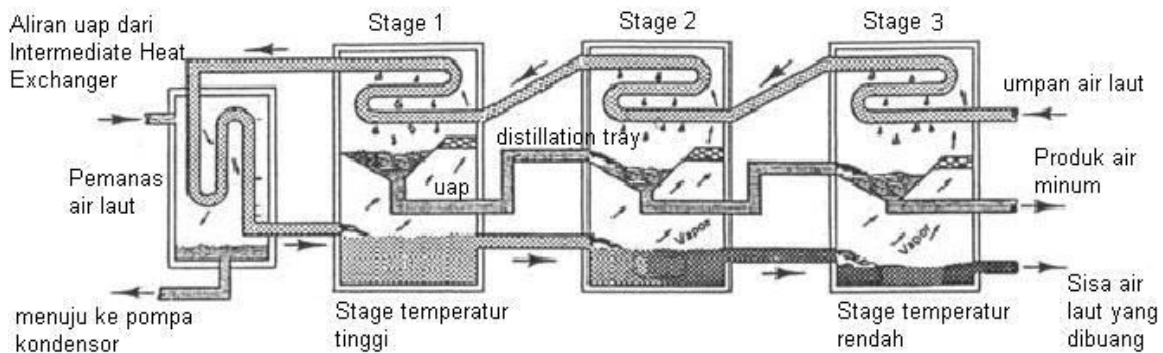
Reaksi ini berlangsung pada kondisi temperatur 850 °C menghasilkan oksigen (O_2 , produk samping) dan gas sulfurdioksida (SO_2 , disiklus ulang) membutuhkan panas 44,348 kJ/mol. Dalam siklus I-S ini energi panas yang paling besar

adalah diperlukan untuk dekomposisi asam sulfat. Proses keseluruhan hanya memasukan air dan energi termal temperatur tinggi dan hanya melepaskan hidrogen, oksigen dan energi termal temperatur rendah.

Estimasi efisiensi proses I-S tidaklah sederhana karena proses sintesa hidrogen adalah kompleks. Untuk sebuah reaksi dapat mengarah energi bebas Gibbs harus negatif, atau paling tidak tidak terlalu positif. Dari tiga reaksi yang ditunjukkan tersebut cukup jelas bahwa jika diasumsikan hanya ketiga reaksi tersebut sebagai kontributor, kemudian total entalpi yang dilepaskan dari proses ini adalah sekitar 12,5 kJ/mol.

Desalinasi Nuklir

Desalinasi nuklir dengan teknik MSF (Multy Stage Flash Destilation) merupakan jenis kopling desalinasi yang memanfaatkan energi termal yang dihasilkan oleh reaktor nuklir. Air laut (*brine water*) diumpankan melalui tube pada masing-masing *stage* evaporasi yang akan dipanaskan secara kontinyu dan pada akhirnya laju aliran air umpan ini akan berakhir pada *unit brine heater* yang merupakan sumber aliran panas utama. Sebagai hasilnya adalah sebagian kecil dari air laut akan *diflashing* berubah menjadi uap murni. Skema desalinasi MSF seperti pada Gambar 2 [4].



Gambar 2 : Skema desalinasi nuklir MSF

Kebutuhan energi untuk desalinasi MSF adalah energi termal temperatur rendah untuk pemanasan air laut dan sejumlah energi listrik untuk operasi peralatan.

METODOLOGI

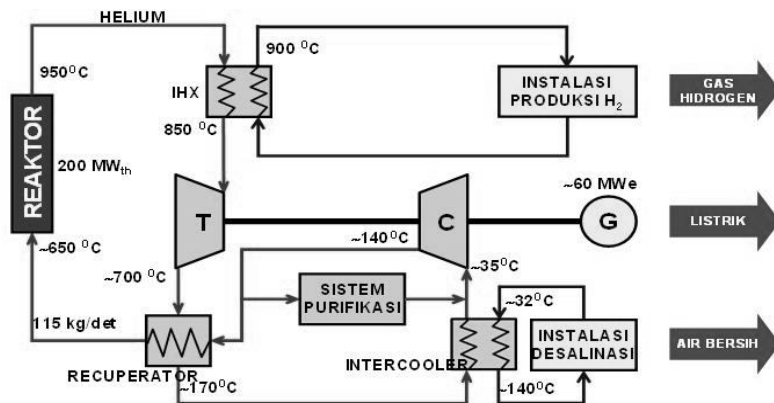
Analisis aplikasi energi termal RGTT200K untuk produksi hidrogen, PLTN, dan desalinasi dilakukan dengan memperhitungkan kebutuhan energi pada masing-masing proses. Daya reaktor sebagai sumber energi listrik diasumsikan 20 % dari kebutuhan daya listrik total di Bangka Belitung sebesar 300 MWe. Energi termal reaktor dimanfaatkan untuk pembangkit listrik, produksi hidrogen, dan desalinasi air laut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Propinsi Bangka Belitung merencanakan pembangunan RGTT dengan kapasitas daya rendah antara 40 sampai dengan 80 Mwe. Pertimbangan ini diambil berdasarkan batasan maksimal diversifikasi energi kurang-lebih 20 %

dari kebutuhan listrik total di Bangka Belitung sebesar 300 Mwe.

RGTT adalah salah satu reaktor daya berpendingin gas helium yang dapat beroperasi pada suhu tinggi (sampai 1000 °C) sehingga efisiensi pembangkitan listrik dengan siklus Brayton menjadi lebih tinggi, dan sangat prospektif jika dikogenerasi dengan produksi hidrogen termokimia I-S. Bahan bakar RGTT sangat fleksibel yang berupa partikel berlapis Triso oleh senyawa karbon sehingga mempunyai integritas struktur yang kuat. Opsi bahan bakar dapat berupa Uranium, Plutonium, dan Actinida minor dimana bahan bakar tersebut sangat berlimpah di Indonesia sehingga kelangsungannya dapat dijamin. Disamping hal tersebut RGTT memiliki sistem keselamatan pasif, dan dapat dibangun dengan sistem modular daya rendah sehingga cocok untuk dibangun di Bangka Belitung.



Gambar 3 : Simulasi sistem konversi energi termal RGTT200K.

Analisis aplikasi energi termal RGTT200K dilakukan dengan mensimulasikan sistem konversi energi termal yang diperlukan untuk produksi hidrogen, pembangkit listrik, dan desalinasi air laut. Produksi hidrogen digunakan teknik termokimia I-S, pembangkit listrik menggunakan siklus Brayton, sedangkan desalinasi air laut menggunakan teknik MSF (*Multy Stage Flash Destilation*) untuk menghasilkan air bersih. Simulasi sistem konversi energi termal RGTT200K seperti pada Gambar 3.

Kogenerasi RGTT200K pada kondisi operasi seperti tersebut pada Gambar 1, dengan kapasitas pembangkitan listrik melalui siklus Brayton diprediksikan mempunyai efisiensi 40 % sehingga akan dapat menghasilkan listrik dengan daya 80 MWe. Kogenerasi RGTT200K yang menghasilkan listrik 80 Mwe, hal ini sesuai dengan kebutuhan listrik di Bangka Belitung dengan batasan diversifikasi sumber energi listrik kurang-lebih 20 %.

Produksi hidrogen termokimia I-S

Energi termal dari sebuah reaktor nuklir (RGTT200K) harus dipasokkan ke instalasi produksi hidrogen melalui sirkuit perantara. Helium dapat digunakan dalam sirkuit perantara untuk mengangkut energi termal ke instalasi produksi hidrogen.

Pemanfaatan energi termal RGTT200K dalam proses produksi hidrogen termokimia I-S dengan asumsi bahwa energi termal tersebut hanya diberikan pada proses reaksi yang membutuhkan energi termal saja. Sedangkan energi untuk pengondisian temperatur reaksi, untuk mengalirkan fluida pada pemurnian dan pemisahan produk, serta lain-lain semuanya digunakan energi listrik dari pembangkit listrik. Tahapan kebutuhan energi untuk proses produksi 1 mol hidrogen adalah sebagai berikut :

- Reaksi Bunsen, pada proses ini tidak diperlukan tambahan energi termal dikarenakan bahwa reaksi ini adalah eksotermis pada temperatur operasi 120 °C, $I_2 + SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2HI$
- Pemisahan dan pemurnian produk reaksi (H_2SO_4 dan HI) pada temperatur 120 °C menggunakan energi listrik.
- Distilasi reaktif HI pada temperatur 450 °C dibutuhkan energi termal $Q_1 = 253,5$ kJ ($HI \rightarrow H_2 + I_2$)
- Pemanasan awal H_2SO_4 dibutuhkan energi termal $Q_2 = 96,25$ kJ
- Flashing H_2SO_4 dibutuhkan energi termal $Q_3 = 27,782$ kJ
- Penguapan awal H_2SO_4 dibutuhkan energi termal $Q_4 = 14,805$ kJ
- Penguapan dibutuhkan energi termal $Q_5 = 134,957$ kJ

- Dekomposisi asam sulfat pada temperatur 800 °C $H_2SO_4 \rightarrow SO_2 + \frac{1}{2} O_2 + H_2O$
dibutuhkan energi termal
 $Q_6 = 178,459$ kJ

Total kebutuhan energi untuk menghasilkan 1 mol hidrogen adalah $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 705,753$ kJ

Energi termal RGTT200K yang diberikan untuk produksi hidrogen melalui penukar panas adalah $Q_0 = m C_p \Delta T$, $Q_0 = 59.685$ kJ/s (asumsi temperatur fluida masuk penukar panas 950 °C, temperatur fluida keluar penukar panas 850 °C, laju alir fluida = 115 kg/detik, C_p helium = 5,190 J / g K, tekanan fluida 7 Mpa). Dari data tersebut maka kapasitas produksi hidrogen yang diperoleh adalah = 160.000 m³ / hari.

Desalinasi air laut

Energi termal RGTT200K yang dapat dimanfaatkan untuk produksi air bersih dengan teknik MSF adalah $Q_7 = 80.854$ kJ/detik (dengan asumsi temperatur masuk penukar panas desalinasi 170 °C, temperatur keluar penukar panas desalinasi 35 °C, laju alir fluida 115 kg/detik, tekanan fluida 3,5 MPa, C_p helium = 5,208 J / g K). Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 m³ air bersih dengan teknik MSF adalah = 198.000 k J^[5]. Dari data tersebut maka kapasitas produksi air bersih adalah = 35.000 m³ / hari.

Diversifikasi Energi Bangka Belitung

Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi di Bangka Belitung dengan komoditi strategis pariwisata, pertanian, kelautan dan industri, maka kebutuhan listrik untuk Propinsi Bangka Belitung diprediksikan mencapai 300 MWe pada tahun 2025. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut, Pemerintah Daerah Bangka Belitung sangat mendorong pencapaian diversifikasi energi dengan memberi kesempatan kepada sumber energi baru dan terbarukan (biomasa, nuklir, tenaga air, tenaga surya, dan tenaga angin) untuk berkontribusi dalam penyediaan energi listrik tersebut. Kebijakan pemerintah tersebut memberi peluang dan tantangan terhadap penerapan dan pengembangan reaktor nuklir di Indonesia untuk berkontribusi dalam pasokan energi listrik.

Guna menjamin kelangsungan pasokan energi listrik maka kontribusi sumber energi dalam sistem diversifikasi energi perlu dibatasi masing-masing sekitar 20 % dari kebutuhan listrik total. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan jika terjadi gangguan operasi pada sistem pembangkitan listrik, maka tidak terlalu mengganggu pasokan listrik secara keseluruhan.

Dengan demikian maka sistem energi nuklir RGTT200K yang berkapasitas pasokan listrik sebesar 80 MWe mempunyai prospek untuk berkontribusi dalam memenuhi pasokan listrik di Bangka Belitung untuk tahun 2025.

Fuel Cell merupakan generator listrik yang berbasis energi hidrogen, yang ramah lingkungan dan mempunyai efisiensi konversi cukup tinggi. *Fuel Cell* sebagai generator listrik mempunyai kapasitas pembangkit yang sangat lebar, dari yang berkapasitas mikro (*milli watt*) hingga berkapasitas besar (*mega watt*), sehingga dapat digunakan dalam lingkup yang sangat luas. Hidrogen sebagai hasil samping dari operasi RGTT200K dengan kapasitas produksi sebesar 160.000 m³ gas hidrogen per hari, dapat merupakan sumber energi baru dan terbarukan yang akan mendukung program diversifikasi energi di Bangka Belitung melalui pengoperasian *Fuel Cell*. Sedangkan hasil samping lain dari RGTT200K adalah air bersih dengan kapasitas produksi sebesar 35.000 m³ air bersih per hari juga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan pokok air masyarakat di Bangka Belitung.

KESIMPULAN

- RGTT200K adalah reaktor daya maju berprospektif untuk diimplementasikan guna memenuhi kebutuhan energi di Bangka Belitung.
- Hidrogen dan air bersih adalah merupakan hasil samping yang dapat diperoleh dari kogenerasi RGTT200K dan mendukung program diversifikasi energi di Bangka Belitung.
- Sistem kogenerasi RGTT200K menghasilkan energi listrik dengan kapasitas 80 MWe, bahan bakar hidrogen dengan kapasitas 160.000 m³ hidrogen /hari, dan air bersih dengan kapasitas 35.000 m³ air bersih/ hari.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2009-2018" Direktorat Perencanaan dan Teknologi, PT PLN Persero, ISBN 978-979-1203-13-5, 2009
2. SHENOY, A.S., "Modular Helium Reactor for Non-Electric Applications of Nuclear Energy", GA-A22701, General Atomics, San Diego, CA, November 1995.
3. A.G.PATEL, N.K. at all, A Study – Iodine (S-I) Thermochemical Water Splitting Process For Hydrogen Production From Nuclear Heat, Reactor Engineering Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai 400085

4. IAEA- TECDOC- 942, Thermodynamic And Economic Evaluation Of Co-production Plant For Electricity And Potable Water, VIENNA,1997
5. IAEA TECDOC-666, Technical and Economic evaluation of potable water production through desalination of seawater by using nuclear energy and means. September 1992.

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

1. Apakah hasil yang diperoleh baik kapasitas untuk listrik, produksi hidrogen maupun desalinasi menggunakan manual atau dengan model?
2. Apakah sudah memperhitungkan keekonomian produksi hidrogen maupun air?

(M. Nasrullah, PPEB-BATAN)

Jawaban:

1. Dalam menentukan kapasitas baik listrik, produksi hidrogen maupun desalinasi dilakukan secara manual dengan menggunakan asumsi parameter kondisi operasi (suhu, Cp, massa Q = m Cp Δt)
Secara teknis produksi hidrogen yang diperoleh adalah cukup murni, sedangkan air yang dihasilkan tidak murni. aquades, tetapi hanya air bersih saja.