

STUDI PEMANFAATAN THORIUM SEBAGAI POWER PLANT GUNA MENDUKUNG PERTAHANAN NEGARA

STUDY THE UTILIZATION OF THORIUM AS A POWER PLANT TO SUPPORT NASIONAL DEFENSE

Cinthia Dewi Maharani¹, Sovian Aritonang², Khaerudin³

UNIVERSITAS PERTAHANAN INDONESIA

cinthiamaharani55@gmail.com, sonarira@yahoo.co.id, khaerudinsyahid@yahoo.co.id

Abstrak (Bahasa Indonesia) – Kebutuhan akan energi terus meningkat dari masa ke masa. Peningkatan kebutuhan ini membuat industri energi mencari energi alternatif yang efektif untuk digunakan. Hasil penelitian ini akan menghasilkan suatu riset sains dasar yang dapat dipakai sebagai landasan teori untuk mengembangkan pengolahan thorium sebagai energi alternatif. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pemanfaatan thorium sebagai *power plant* untuk mendukung industri pertahanan dalam negeri, analisis skema pemanfaatan thorium dan kebijakan industri pertahanan untuk diimplementasikan pada *power plant*, Identifikasi potensi persebaran thorium dan menentukan peta persebaran thorium dan analisis tingkat efisiensi thorium di bandingkan dengan penggunaan energi fosil sebagai *power plant*. Penelitian menggunakan metode kuasi kualitatif. Hasil penelitian dari ini adalah, pembangkit listrik thorium lebih efisien dibanding batu bara, gas bumi, dan uranium sekalipun. Sumber energi yang berasal dari thorium memiliki efisiensi paling tinggi yaitu mencapai 90% disusul uranium dengan 82% gas alam 73% dan batu bara antara 70-72% dengan berbagai sistem yang digunakan. Kesimpulannya Pemanfaatan Thorium di Indonesia berada dalam tahap pengembangan, akan dijadikan PLTT (Pembangkit Listrik Tenaga Thorium) melalui kerjasama Indonesia dengan ThorCon International Pte. Ltd dan telah bersiap menandatangani nota kesepahaman. Pemanfaatan Thorium di Indonesia telah memperoleh izin dari pemerintah pada RPJMN 2020-2024 (Pembangunan PLTN paska 2024, periode 2020-2024).

Kata Kunci: Pemanfaatan Thorium, Power Plant, Tingkat Efisiensi.

Abstract (English) – The need for energy continues to increase from time to time. This increasing need makes the energy industry look for alternative energy that is effective for use. The results of this study will produce a basic scientific research that can be used as a theoretical basis for developing thorium processing as an alternative energy. The purpose of this research is analyzing the use of thorium as a power plant to support the domestic defense industry, analyzing thorium utilization schemes and defense industry policies to be implemented in a power plant, identifying the potential for thorium distribution and determining the thorium distribution map and analyzing the efficiency level of thorium compared to the use of fossil energy as a power plant. The research used a quasi qualitative method. The results of this research show that thorium power generation is more efficient than coal, natural gas and uranium though. The energy source derived from thorium has the highest efficiency, reaching 90%, followed by uranium with 82% natural gas 73% and coal between 70-72% with

various systems used. In conclusion, the use of Thorium in Indonesia is in the development stage, it will be turned into a PLTT (Thorium Power Plant) through Indonesian collaboration with ThorCon International Pte. Ltd and have prepared to sign a MOU (memorandum of understanding). The use of Thorium in Indonesia has obtained a permit from the government in the 2020-2024 RPJMN (PLTN Development post 2024, 2020-2024 period).

Keywords: Utilization of Thorium, Power Plant, Level of Efficiency.

Pendahuluan

Dalam pembangunan nasional, khususnya pada bidang pertahanan negara, kegiatan produksi alutsista merupakan aspek yang sangat penting yaitu berperan sangat signifikan pada pertumbuhan perekonomian nasional dalam sektor moneter ataupun sektor rill. Untuk mewujudkan kemandirian bangsa Indonesia dalam memproduksi alat utama sistem persenjataan (Alutsista) merupakan agenda yang harus mendapatkan dukungan dari berbagai industri dan teknologi. Maka dari itu, Indonesia sendiri harus memanfaatkan Sumber Daya Alam yang ada di dalam negeri untuk memenuhi kebutuhan produk bahan baku dan material yang digunakan untuk membuat memasok kebutuhan energi atau membuat alutsista dengan menggunakan bahan baku dari dalam negeri. Karna yang diketahui selama ini, bahan baku maupun material masih sangat bergantung dari Import.

Pada penelitian ini, penulis mengambil tema mengenai pemanfaatan thorium sebagai energi terbarukan untuk mendukung pertahanan negara. Kebutuhan akan energi terus meningkat dari masa ke masa. Peningkatan kebutuhan ini membuat industri energi

mencari energi alternatif yang efektif untuk digunakan. Hasil penelitian ini akan menghasilkan suatu riset sains dasar yang dapat dipakai sebagai landasan teori tentang terapan suatu ilmu pengetahuan dalam skala industri, terutama sangat bermanfaat untuk mengembangkan pengolahan thorium sebagai energi alternatif.

Jumlah cadangan thorium dunia cukup besar yaitu 3-4 kali lebih banyak dibanding uranium dan terdistribusi secara merata. Cadangan bahan nuklir thorium lebih besar dari pada uranium yang dimiliki Indonesia yaitu sekitar 70.000 ton untuk Uranium dan 117.000 ton Thorium yang sebagian besar cadangan Uranium tersebar di Kalimantan Barat, sebagian lagi ada di Papua, Bangka Belitung dan Sulawesi Barat, sedangkan untuk Thorium kebanyakan di Bangka Belitung dan sebagian di Kalimantan Barat (BATAN, 2015).

Selain sumber daya thorium yang lebih besar dibanding uranium, thorium memiliki beberapa keunggulan dibanding uranium, diantaranya rasio konversi thorium menjadi isotop U-233 lebih tinggi dibanding dengan U-238 menjadi Pu-239. Penggunaan bahan bakar nuklir basis thorium diharapkan bermanfaat untuk

menjaga keberlanjutan energi nuklir dan keamanan dari senjata nuklir (Dewita, 2012).

Energi thorium dapat menjamin ketersediaan kebutuhan listrik Nasional dan pertahanan negara termasuk dalam sumber energi guna mendukung operasional alutsista matra laut. Aplikasi thorium dilaporkan sudah digunakan pada beberapa negara. Selain itu, potensi material thorium dalam mendukung operasional alutsista sudah diprogramkan oleh Balitbang Kemhan pada tahun 2018. Thorium merupakan bahan bakar yang masuk pada harapan kriteria Reaktor Nuklir dari Balitbang Kemhan RI dan merupakan konsep reaktor nuklir yang ditawarkan oleh Thorcon (Irfan, Bura & Wahyudi, 2020).

Metode Penelitian

Metode dan Desain Penelitian

Pada penelitian ini peneliti menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif. Menurut Burhan Bungin (2008) bahwa, deskriptif kualitatif biasa disebut pula dengan kuasi kualitatif atau desain kualitatif semu karena format desain deskriptif kualitatif banyak memiliki kesamaan dengan desain deskriptif kuantitatif. Artinya, karena bentuknya masih dipengaruhi oleh tradisi kuantitatif, maka desain ini belum benar-

benar kualitatif, terutama dalam menempatkan teori pada data yang diperolehnya.

Penelitian kualitatif adalah pengumpulan data pada suatu latar alamiah dengan maksud menafsirkan fenomena yang terjadi dimana peneliti adalah sebagai instrumen kunci, pengambilan sampel sumber data dilakukan secara purposive dan *snowball*, teknik penumpukan dengan triangulasi (gabungan), analisis data bersifat induktif/kualitatif dan hasil penelitian lebih menekankan makna dari generalisasi.

Pengumpulan data pada penelitian deskriptif kualitatif tidak berbeda dengan pelaksanaan penelitian kuantitatif, yaitu menyiapkan schedule penelitian, termasuk pengumpulan data di lapangan. Karena penelitian kualitatif ini tidak membutuhkan tim peneliti atau pembantu lapangan, maka tidak membutuhkan banyak peneliti di lapangan dan juga tidak membutuhkan instrument penelitian yang ketat karena penelitian tidak membutuhkan uji coba instrument. Namun tetap membutuhkan schedule penelitian untuk mengendalikan penelitian.

Tempat dan waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Dislitbangal yaitu yang berada di Jl. RS Fatmawati No.1, Pondok Labu, Jakarta. Kemudian, penelitian kedua di Balitbang Kemhan dan yang terakhir ada di PTBGN (Pusat TeknologinBahan Galian Nuklir). Penelitian ini akan dilaksanakan dalam kurun waktu 4 bulan yang diawali dari bulan Oktober 2020 hingga Januari 2021.

Subyek dan Obyek Penelitian

Subyek penelitian ada 7 narasumber dari Dislitbangal, Balitbang Kemhan dan PTBGN. Obyek Penelitian dalam penelitian ini adalah seberapa besar potensi thorium dan efisiensi thorium sebagai power plant beserta faktor yang mempengaruhi penelitian dan pengembangan material thorium sebagai sumber energi guna mendukung pertahanan negara.

Teknik Pengumpulan Data

Studi literatur, wawancara, observasi dan dokumentasi (Bungin, 2012).

Pemeriksa Keabsahan Data

Triangulasi dan mengadakan *membercheck* (Moleong, 2013).

Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis data model Miles dan Huberman dengan beberapa tahapan. Terdapat

empat hal yang utama dalam menganalisis data menggunakan analisis Miles and Huberman yaitu; pengumpulan data, kondensasi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan sebagai sesuatu yang saling berhubungan pada saat sebelum, selama, dan sesudah pengumpulan data dalam bentuk sejajar.

Hasil dan Pembahasan

Gambaran Umum Obyek Penelitian

Lokasi penelitian yang pertama dilakukan di Dislitbangal yaitu yang berada di Jl. RS Fatmawati No.1, Pondok Labu, Jakarta. Lokasi penelitian yang kedua dilakukan di Balitbang Kemhan RI yaitu yang berada di Jl. Jati No. 1 Pondok Labu Jakarta Selatan 12450 Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Lokasi penelitian yang ketiga dilakukan di PTBGN yaitu yang berada di Jl. Lebak Bulus Raya No.9, RT.3/RW.2, Lebak Bulus, Cilandak, RT.3/RW.2, Lb. Bulus, Jakarta Selatan, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12440.

Pemanfaatan Thorium di Indonesia Sebagai Sumber Energi

Teori tiga dimensi trilemma energi pada penelitian ini digunakan dalam memetakan potensi Thorium sebagai sumber energi alternatif. Potensi Thorium dipetakan dan dibandingkan dengan

sumber energi lain yang biasa digunakan dalam mendukung operasional alutsista matra laut. Kelebihan maupun kelemahan Thorium sebagai sumber energi dapat diketahui dengan jelas menggunakan indikator trilemma energi tersebut sehingga dapat diketahui potensi Thorium serta rekomendasi dalam strategi pengembangannya.

Berdasarkan wawancara, Thorium masih termasuk energi yang belum sepenuhnya bisa dimanfaatkan keberadaannya di Indonesia. Indonesia sendiri memiliki Logam Tanah Jarang (LTJ) atau *Rare Earth Element* merupakan 17 unsur tambang paling langka yang ada di muka bumi. Karena tingkat konsentrasi endapannya yang rendah, sehingga keberadaannya kerap tersebar secara acak di permukaan bumi, tidak seperti unsur atau mineral tambang lainnya seperti nikel, timah dan emas maka, unsur-unsur ini menjadi sulit didapatkan.

Penggunaan thorium sebagai alternatif sumber energi sudah dikaji oleh banyak negara di dunia dalam 50 tahun terakhir, termasuk Amerika Serikat, Jerman, India, Jepang, Tiongkok, Belanda, Norwegia dan lain-lain. Beberapa negara tersebut bahkan sempat berhasil menggunakan energi dari hasil pembakaran thorium, tetapi tidak berlangsung lama, biasanya

karena masalah teknis atau keterbatasan teknologi yang ada pada masanya. Pengelolaan thorium sebagai alternatif energi di dunia pun mundur kembali ke tahap riset dan pengujian.

Saat ini belum ada PLTT yang beroperasi secara komersial di dunia. Jika Pemprov Babel dan Thorcon dapat merealisasikan PLTT, maka Indonesia bukan hanya akan memiliki PLTT pertama di dunia, tetapi juga berpotensi menjadi pusat kajian dan pengembangan pemanfaatan thorium sebagai sumber energi alternatif, meski akan dibutuhkan waktu sangat lama untuk mewujudkan cita-cita tersebut.

Pemanfaatan thorium di Indonesia memiliki kendala, terutama dalam hal pendanaannya. Untuk dapat dimanfaatkan Thorium harus dikonversi menjadi uranium sehingga membutuhkan adanya reaktor nuklir. Berbeda dengan Uranium yang selama ini telah banyak digunakan sebagai bahan bakar *power plant*.

Pemanfaatan thorium untuk mendukung sistem pertahanan negara diimplementasikan pada pengembangan Thorium untuk PLTT. PLTT diciptakan oleh adanya ketidak seimbangan beban versus lokasi pembangkit dimana 40-50% beban pulau jawa ada di bagian berat. Beban itu dipasok oleh pembangkit yang 60

persennya berada di 900 kilo meter bagian timur Jawa—melalui transmisi 500 kilovolt yang sudah overload. Ditambah dengan beban 500 kilovolt yang sudah overload. Hal ini dapat berdampak pada kolapsnya perekonomian nasional.

Adapun beberapa kelebihan Thorium dibandingkan dengan Uranium adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan bakar reaktor, Thorium tidak perlu pengkayaan
2. Produk limbah yang dihasilkan Thorium dapat luruh dalam waktu yang lebih pendek dibandingkan Uranium
3. Potensi Thorium di kerak bumi lebih melimpah dibandingkan Uranium dengan rasio 4:1
4. Ditinjau dari segi kewanamanan, Thorium lebih aman dari pada Uranium karena hasil percobaan dalam reaktor air ringan tradisional, uranium-235 berinteraksi dengan uranium-238 menghasilkan plutonium-239 sebagai produk sampingan-isotop radioaktif yang dapat berubah menjadi Plutonium-240 untuk digunakan dalam 2 (dua) tujuan yang berbeda yaitu sebagai bahan bakar reaktor plutonium, dan

bahan baku senjata nuklir (bom plutonium).

5. Jumlah thorium yang digunakan untuk bahan bakar reaktor lebih sedikit dibanding uranium yaitu sekitar 1 berbanding 10.

Sehingga dapat disimpulkan berdasarkan keunggulan thorium dapat dimanfaatkan dengan baik, karena memiliki jumlah yang melimpah yang terdapat dalam bumi dan banyak tersebar di Indonesia. Pemanfaatan thorium untuk menyokong pertahanan dan keamanan negara tidak bisa dilakukan murni tanpa merubah unsur di dalamnya, hal ini dapat diatasi dengan merubah thorium dalam bentuk uranium. Banyak manfaat yang dapat dirasakan ketika dapat mengolah thorium secara optimal, salah satu menjadi bahan baku ramah lingkungan.

Skema Pemanfaatan Thorium Untuk Diimplementasikan Pada Power Plant

Pemanfaatan thorium untuk bahan baku *power plant* merupakan usaha pemerintah dalam rangka menyiapkan cadangan sumber daya uranium yang menipis dikarenakan penggunaannya yang terus menerus. Thorium sebagai bahan tambang diperoleh melalui beberapa tahapan yang terdiri dari 6 tahapan yaitu, pertama tahap penyelidikan umum (*general survey*),

tahap eksplorasi (*exploration*), dilanjutkan tahap studi kelayakan, yang dilakukan dengan analisis dampak lingkungan (AMDAL) kemudian tahap konstruksi (*construction*) dengan membangun prasarana dan sarana usaha pertambangan, kemudian tahap operasi dan produksi (*operation & production*) yang dikenal dengan tahap eksploitasi dan tahap penutupan tambang (*mine closure*) termasuk didalamnya reklamasi, rehabilitasi dan revegetasi. Secara garis besar metode eksplorasi dapat kita bedakan menjadi dua kelompok besar yaitu metode eksplorasi tak langsung dan metode eksplorasi langsung (Notosiswoyo Sudarso dkk, 2000).

Apabila kegiatan eksplorasi diperoleh hasil yang menjanjikan, barulah kegiatan pertambangan dilaksanakan. Beberapa tujuan diadakannya kegiatan eksplorasi adalah

1. Bagi pemerintah, kegiatan eksplorasi ditujukan untuk pendapatan potensi sumberdaya bahan galian sehingga kegiatan eksplorasi sifatnya inventarisasi sumberdaya
2. Bagi perusahaan eksplorasi, eksplorasi dilakukan untuk

mendapatkan data endapan selengkap sengkapnya

3. Bagi perusahaan pertambangan, eksplorasi dilakukan untuk mengumpulkan data endapan tersebut untuk mendapatkan nilai ekonominya sehingga layak untuk ditambang dan dipasarkan sebagai komoditi tambang

Sebagaimana yang telah dipaparkan sebelumnya, penggunaan thorium untuk diimplementasikan pada *power plant* sebagai salah satu usaha mendukung pertahanan negara harus terlebih dahulu dirubah dalam bentuk uranium. Pada dasarnya thorium alam thorium-232 (Th-232) merupakan bahan fertile yang sulit dibakar, namun thorium dapat diubah menjadi uranium U-233 bila menangkap neutron. Oleh karena itu, PLTT hanya dapat dioperasikan bila terdapat bahan fisil, seperti: U-233, U-235 dan plutonium-239 (Pu-239). Uranium inilah yang nantinya digunakan sebagai bahan bakar *power plant*.

Saat ini Indonesia fokus mengembangkan reaktor dengan bekerjasama dengan Thorcon. Untuk mengembangkan komponen TMSR *Power Plant* atau reaktor desain pembangkit listrik tenaga thorium (PLTT) berkapasitas 500 megawatt (MW) dan

Test Bed Platform. Reaktor nuklir tersebut adalah desain dari Thorcon International, perusahaan energi nuklir asal Amerika Serikat, dikabarkan bahwa, PT PAL Indonesia diperkirakan menanamkan investasi sebesar Rp50 miliar-Rp100 miliar terkait proyek pembangunan reaktor desain *Thorium Molten Salt Reactor* (TMSR) Thorcon. PAL Indonesia telah menandatangani nota kesepahaman (*Memorandum Of Understanding/MoU*) dengan Thorcon International Pte, Ltd.

Pemanfaatan Thorium untuk menyokong pertahanan dan keamanan negara bukan tanpa alasan, Menurut kementerian pertahanan republik Indonesia, alasan dikembangkannya thorium sebagai sumber energi alternatif adalah 1) ketersediaan thorium yang melimpah kurang lebih terdapat 140.000 ton, 2) Ketersediaan thorium dapat mencapai 1000 tahun lagi, 3) thorium lebih efektif dan efisien dibandingkan uranium dan bahan baku fosil yang lain, 4) thorium dapat dimanfaatkan untuk pertahanan dan umum, 5) thorium lebih ekonomis, dan 6) thorium lebih aman dibandingkan uranium.

Pengembangkan komponen TMSR *Power Plant* atau reaktor desain pembangkit listrik tenaga thorium (PLTT). Untuk membangun pembangkit listrik

thorium di Indonesia, diketahui ThorCon sebelumnya telah menyatakan keseriusannya untuk berinvestasi US\$ 1,2 miliar atau sekitar Rp17 triliun. Dengan menggunakan desain struktur kapal sepanjang 174 meter yang setara dengan kapal tanker kelas Panamax akan dibangun oleh *Daewoo Shipyard & Marine Engineering* (DSME) di Korea Selatan, yang merupakan galangan kapal nomor dunia terbesar di dunia, merupakan PLTT yang akan dibangun dari kerja sama dengan Thorcon.

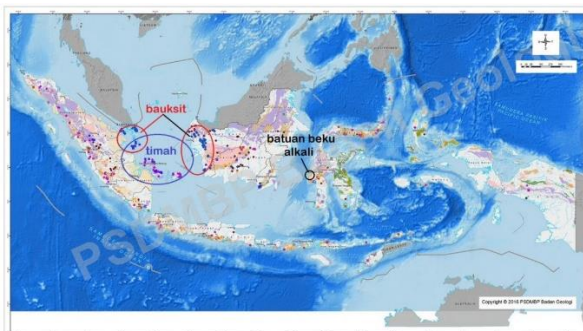
Potensi Persebaran Thorium Dan Peta Persebaran Thorium Guna Mendukung Pertahanan Negara

Potensi yang dimiliki thorium menjadi salah satu variable yang dibahas dalam penelitian ini. Potensi thorium tersebar di bagian-bagian wilayah Indonesia namun masih berupa data mentah saja. Dalam kaitannya antara potensi persebaran dan peta persebaran yang dimiliki thorium adalah tercatatnya rekaman data dalam bentuk visual peta yang bisa dijadikan sebagai bahan rujukan untuk mempermudah penyampaian informasi.

Saat ini sedang dikembangkan bahan bakar reaktor nuklir pengganti uranium oksida (UO₂) salah satunya dengan penggunaan senyawa thorium oksida. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi

ketersediaan bahan baku uranium oksida yang lambat laun semakin menipis karena penggunaannya yang terus menerus untuk kebutuhan bahan bakar PLTN di dunia.

Thorium menjadi salah satu unsur kimia yang memiliki harapan besar untuk menjadi energi terbarukan. Mengingat saat ini di Indonesia mengalami kelangkaan sumber energi terutama yang berasal dari bahan bakar fosil semacam minyak bumi, gas, serta batu bara yang menjadi *supply* utama pembangkit tenaga listrik. Saat ini thorium sudah dikembangkan sebagai bahan bakar reaktor riset yang dikembangkan beberapa negara seperti China, India, Rusia, Jepang, Amerika dan Kanada. Sama dengan Indonesia, saat ini thorium masih dalam tahap pengembangan. Negara negara tersebut berusaha menjadikan thorium sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga nuklir yang nantinya diharapkan dapat mengganti uranium.



Gambar 1. Peta Persebaran Thorium di Indonesia

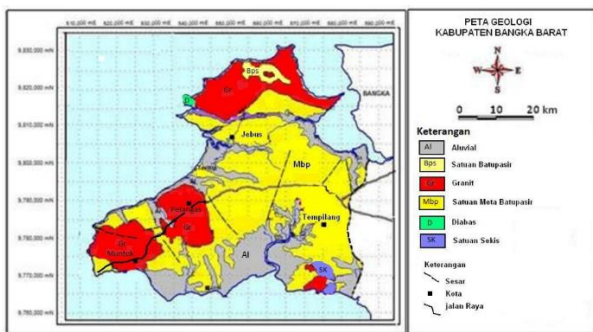
Sumber: BATAN, 2020

Berdasarkan peta tersebut, persebaran thorium dan uranium paling banyak terdapat di Pulau Bangka dan Belitung. Provinsi Kepulauan Bangka Belitung ditetapkan sebagai provinsi ke-31 oleh Pemerintah Republik Indonesia berdasarkan Undang-Undang No. 27 Tahun 2000 tentang Pembentukan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang sebelumnya merupakan bagian dari Provinsi Sumatera Selatan. Wilayah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung terdiri dari dua pulau besar yaitu Pulau Bangka dan Pulau Belitung serta pulau-pulau kecil. Ibukota provinsi ini adalah Pangkalpinang.

Berdasarkan data Badan tenaga nuklir dan nasional, Potensi thorium di Bangka mencapai 210.000-270.000 namun pemanfaatan thorium sebagai bahan bakar membutuhkan waktu yang lama. Sampai saat ini pemerintah hanya fokus pada pemanfaatan uranium. Kebijakan pemerintah Kabupaten Bangka dalam pembangunan berdasarkan Renstra (Rencana Strategi) Tahun 2010-2023 ke depan adalah dengan pengembangan sektor unggulan yang meliputi industri perikanan (terpadu), agro industri,

industri maritim (perkapalan), serta industri pertambangan. Menjadikan wilayah kecamatan sebagai "basis pembangunan wilayah" dengan memanfaatkan SDA, SDM, sumber daya lingkungan dan sumber daya buatan (infra struktur), hal ini merupakan kebijakan pembangunan menurut visi dari Kabupaten Bangka dalam lima tahun ke depan.

Adapun Peta geologi Bangka Barat dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2 Peta Geologi Bangka Barat
Sumber: BATAN, 2020

Secara topografi wilayah Kabupaten Bangka Barat terdiri dari rawa-rawa dengan hutan bakau, wilayah pantai landai berpasir, daratan rendah dan bukit-bukit dengan hutan lebat. Secara geografis, Kabupaten Bangka Barat terletak pada 1050 sampai 1060 bujur timur dan 10 sampai 20 lintang selatan. Daerah ini terletak di bagian barat Pulau Bangka dengan batas-batas wilayah sebagai berikut: 1) sebelah barat dengan Selat Bangka; 2) sebelah timur dengan

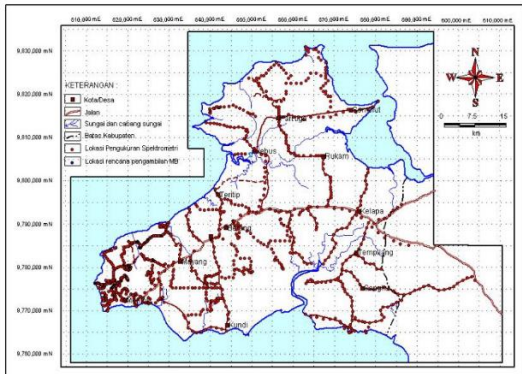
Kab Bangka; 3) sebelah utara dengan Laut Natuna; 4) sebelah selatan dengan Selat Bangka.

Berdasar teori tektonik lempeng dan perbedaan komposisi geokimia batuan, granit dapat dibedakan 2 tipe yaitu granit tipe I (*igneous*) dan tipe S (*sedimentary*). Granit tipe S umumnya mengandung uranium lebih tinggi dari pada tipe I karena kerak benua pembentuk granit tipe S mengandung material lempung dan sisasisa organik yang dapat menyerap uranium.

Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa kadar thorium pada batuan granit Gadung (Bangka Selatan) 76 ppm, granit Bebuluh (Bangka Tengah) 23,33 ppm, granit Mangol (Pangkal Pinang) 42 ppm dan granit Pemali (Bangka) 35,40 ppm, granit Jebus 85,96 ppm, granit Pelangas 66,73 ppm dan granit Menumbing 67,03 ppm (dari Bangka Barat). Secara umum granit telah mengalami pelapukan tingkat lanjut yang dicirikan oleh tanah hasil pelapukan granit yang berwarna abu-abu kecoklatan hingga coklat kemerahan sangat tebal (mencapai 20 meter), seperti yang dijumpai di daerah desa Menjelang Bangka Barat.

Granit pada Kabupaten Bangka Barat memiliki beragam kadar. Kadar Thorium

pada Batuan Granit dari Kabupaten Bangka Barat bisa dilihat pada peta berikut ini:



Gambar 3. Peta Kadar Thorium pada Batuan Granit Bangka Barat
Sumber: BATAN, 2020

Hasil analisis laboratorium dari 25 sampel mineral berat granit Jebus diperoleh kadar thorium berkisar antara 22,6 - 142,2 ppm dan kadar rata-rata 82,95 ppm

Tabel 1. Kadar Granit di Bangka Barat

Kode	Th (ppm)	Kode	Th (ppm)	Kode	Th (ppm)	Kode	Th (ppm)
1	82,2	8	97,8	15	104,8	22	64,8
2	92,2	9	118	16	71,4	23	61,8
3	88,0	10	95,8	17	74,4	24	46,2
4	90,6	11	96,8	18	64,0	25	50,4
5	96,4	12	94,8	19	45,6		
6	142,2	13	95,6	20	45,0		
7	102,6	14	129,6	21	22,6		
Kadar Rata-rata							82,95

Sumber: BATAN, 2020

Keberadaan Thorium di Balitbang Kemhan telah sejalan dengan kebijakan kementerian ESDM yang mengamanatkan perlunya langkah nyata menyiapkan proyek pembangunan PLTN mengingat sumber energi fosil semakin langka. TSMR yang dikembangkan merupakan salah satu upaya pemerintah

melakukan pertahanan negara, karena nantinya pengembangan reactor TSMR akan ditempatkan secara khusus di wilayah Indonesia tertinggal, terdepan terluar. Melalui hal ini harapannya Indonesia bisa menjadi negara besar dan kuat mengingat Indonesia juga memiliki kekayaan sumber daya yang berlimpah seperti pulau yang jumlahnya belasan ribu.

Tingkat Perbandingan Efisiensi Thorium Sebagai Power Plant Dibandingkan Dengan Sumber Energi Lain

Ditinjau dari ketersediaan bahan sendiri, thorium lebih banyak lagi dari uranium. Kandungan logam berat ini di kerak bumi kira-kira 3-4x lebih banyak dari uranium (10 ppm berbanding 2,5 ppm). Pada tahun 2015, cadangan thorium teridentifikasi di seluruh dunia sebesar 6,3 juta ton, dan tidak seperti uranium, penyebarannya lebih merata. India, Cina, Brazil, Amerika Serikat, Australia, Mesir dan Turki memiliki cadangan thorium lebih dari 300 ribu ton. Berdasarkan estimasi BATAN, Indonesia memiliki cadangan thorium 130 ribu ton.

Teknologi baru itu ampuh membuang satu dari bahan-bahan radioaktif berbahaya. Teknologi itu juga menghasilkan panas dan pembangkit listrik; serta membantu produksi

hidrogen; air dapat didesalinasi pada reaktor-reaktor thorium. Para peneliti TPU itu menyatakan bahwa keunggulan reaktor-reaktor thorium ialah tingkat keamanannya tinggi, jika dibanding desain reaktor tradisional, efisiensi berkisar 40-50%, tanpa transisi fase pendingin, dan daya-tahan terhadap korosi meningkat. Reaktor thorium juga dapat menggunakan bahan bakar berbeda dan menyederhanakan manajemen penggunaan bahan bakar nuklir. Adapun uji perbandingan powerplant dengan berbagai energi adalah sebagai berikut:

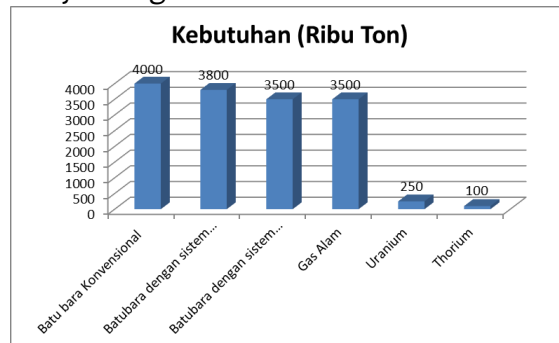
Tabel 2. Adapun Uji Perbandingan Powerplant Dengan Berbagai Sumber Energi

Jenis Pembangkit	1 Giga Watt/tahun				Faktor Emisi CO2 (kg/kWh)
	Sumber Energi	Kebutuhan (Ribu Ton)	Tingkat Efisiensi	Biaya Operasional	
PLTU	Batu bara Konvensional	4000	70%	\$ 35000	1.140
PLTU	Batubara dengan sistem IGCC	3800	72%	\$ 39000	0.986
PLTU	Batubara dengan sistem IGCC & CCS	3500	72%	\$ 49000	0.877
PLTG	Gas Alam	3500	73%	\$ 51000	0.678
PLTN	Uranium	250	82%	\$ 26000	0.000
PLTT	Thorium	100	90%	\$ 24000	0.000

(Sumber: Diolah Peneliti, 2021)

Pembangkit listrik thorium juga lebih efisien dibanding batu bara, gas bumi, dan uranium sekalipun. Kalkulasinya, untuk menghasilkan 1.000 Mega Watt

atau 1 Giga Watt per tahun diperlukan batu bara sebesar 3,5 - 4 juta ton, sedangkan uranium sebesar 200- 250 ton. Sementara thorium mampu menghasilkan kapasitas produksi listrik hanya dengan volume sebesar 100 ton.



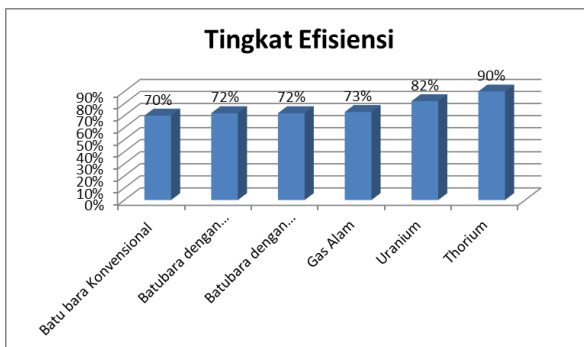
Gambar 4. Diagram Batang Kebutuhan dalam Ribu Ton

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

Dari data di atas menunjukkan bahwa dari segi volume untuk menghasilkan 1 Giga Watt dibutuhkan Thorium 100 ton dan jauh lebih sedikit dengan sumber energi lainnya. Dari sisi operasional thorium sebagai power plant memiliki beberapa sisi keunggulan rancangan teknologi baru itu antara lain pabriknya dapat beroperasi pada kapasitas rendah (dari 60 MW). Reaktor thorium ini membutuhkan sedikit bahan bakar dan prosentase pembakarannya lebih tinggi, jika dibanding dengan reaktor-reaktor lain saat ini. Sisa pemrosesan plutonium kualitas senjata sebesar 3% tidak lagi memicu bahaya nuklir. Hasilnya, perbauran grafit, plutonium dan produk-produk yang membusuk, terbentuk, yang

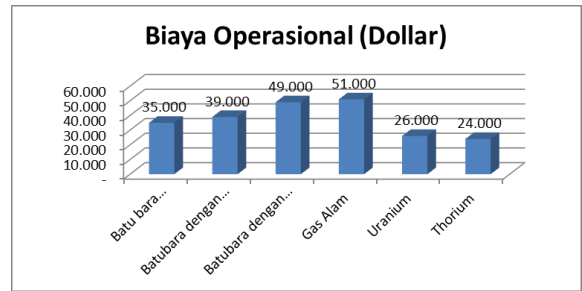
tidak bermanfaat. Limbah-limbah ini hanya dapat dikubur.

Dari sisi efisiensi pembakaran dan kemampuan menghasilkan tenaga Thorium juga paling tinggi dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Thorium dapat digunakan sebagai bahan baku energi dengan efisiensi sebesar 90%. Di sisi lain, batubara hanya memiliki efisiensi 70% dengan menghasilkan pencemaran udara, kerusakan lingkungan dan pencemaran air tanah. Jika ini terjadi, pemerintah telah mampu mewujudkan implementasi paradigma waste to energi. Berikut ini perbandingan tingkat efisiensi berdasarkan berbagai sumber energi:



Gambar 5. Diagram Tingkat Efisiensi
Sumber: Diolah Peneliti, 2021

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui sumber energi (*power plant*) yang berasal dari thorium memiliki efisiensi paling tinggi yaitu mencapai 90% disusul uranium dengan 82% gas alam 73% dan batu bara antara 70-72% dengan berbagai sistem yang digunakan.



Gambar 6. Diagram Biaya Operasional dalam Dollar

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

Selanjutnya jika membandingkan tingkat efisiensi biaya operasional yang dikeluarkan untuk menghasilkan 1 Giga Watt per tahun terbukti thorium lebih murah dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Dimana thorium hanya membutuhkan \$24.000 sedangkan sumber bahan energi lain seperti batu bara antara \$35.000-\$51.000. Hal ini menunjukkan thorium sebagai sumber energi yang murah dan ramah lingkungan.

Berikut hasil uji beda nilai efisiensi thorium dibandingkan dengan dengan sumber energi uranium, batubara, dan gas alam.

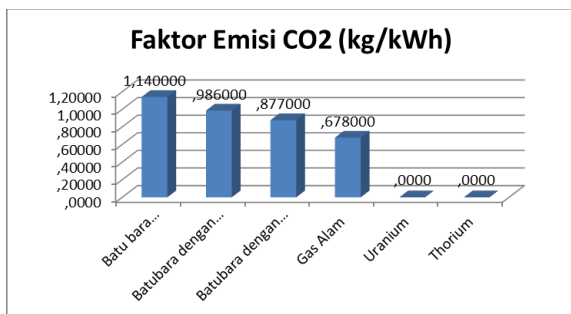
Tabel 3. Uji Efisiensi Thorium dengan Sumber Energi Uranium

Independent Samples Test						
		t-test for Equality of Means				
		t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. E Difference
Efisiensi	Equal variances assumed	5.429	4	.006	.14250	.02625
	Equal variances not assumed	3.519	1.050	.167	.14250	.04049

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

Hasil uji t menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0.006 < 0.05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan nilai efisiensi thorium dibandingkan dengan sumber energi lainnya, artinya thorium memiliki potensi sebagai sumber energi yang paling efisien baik dari sisi biaya maupun jumlah energi yang dihasilkan.

Pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batu bara menghasilkan antara 0.877- 1.140 Emisi CO₂ (kg/kWh). Sedangkan untuk energi nuklir yang bersumber dari thorium maupun uranium tidak menghasilkan pencemaran CO₂. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 7. Diagram Faktor Emisi CO₂
Sumber: Diolah Peneliti, 2021

Salah satu penentangan terhadap energi nuklir umumnya menggunakan alasan “limbah umur panjang”, dalam hal ini elemen dengan nomor atom yang lebih tinggi dari uranium (transuranik). Kekhawatiran ini karena elemen transuranik membutuhkan waktu ribuan

tahun sebelum meluruh menjadi isotop stabil. Walau begitu, secara teknis, alasan ini sebenarnya tidak masuk akal. Sebabnya, metode penanganan elemen transuranik sudah ada dan sangat minim risiko.

Thorium memastikan alasan “limbah umur panjang” tidak berlaku lagi. Ketika digunakan di reaktor nuklir, thorium menghasilkan sedikit sekali elemen transuranik. Thorium memiliki nomor massa 232. Untuk bertransmutasi menjadi elemen transuranik terdekat, neptunium-237, thorium perlu menangkap lima neutron. Dengan kata lain, jalannya jauh lebih panjang dan sulit daripada uranium-238, yang hanya butuh menangkap satu neutron untuk menjadi plutonium-239.

Sebagai perbandingan, reaktor nuklir berbahan bakar thorium menghasilkan ± 1 kg elemen transuranik per GWe-tahun. Sementara, reaktor nuklir berbahan bakar uranium menghasilkan hingga 300 kg elemen transuranik per GWe-tahun, sebagian besarnya berupa plutonium. Pengelolaan limbah radioaktif umur panjang yang tidak benar-benar sulit akan jauh lebih mudah lagi dilakukan. Sisa limbah radioaktif dari “pembakaran” thorium akan meluruh dengan cepat dan sudah meluruh ke level aman dalam waktu 300 tahun. Sebagai perbandingan,

limbah beracun batubara, panel surya dan turbin angin akan tetap beracun selamanya.

Kendala paling utama dari thorium adalah bahan bakar ini tidak bisa langsung digunakan di dalam reaktor nuklir. Peralnya, thorium bersifat fertil, bukan fisil, sehingga perlu ditransmutasikan terlebih dahulu. Jika dimisalkan, thorium adalah kayu basah. Tidak bisa terbakar langsung, tetapi harus dipicu dengan kayu kering. Pembakaran kayu kering akan mengeringkan kayu basah, barulah kayu basah tersebut dapat terbakar. “Kayu kering” untuk memicu “pembakaran” thorium adalah uranium. Jadi, pada kondisi awal, pemanfaatan thorium akan terikat dengan uranium.

Kontaminasi uranium-232 membuat thorium resisten terhadap proliferasi. Namun, hal ini menjadi pedang bermata dua karena mempersulit *reprocessing* bahan bakar. Tidak hanya pembuat senjata nuklir yang dibuat kerepotan dengan kontaminasi uranium-232, tetapi juga fasilitas *reprocessing* bahan bakar nuklir. Sehingga, biaya *reprocessing* thorium kemungkinan sedikit lebih mahal daripada biaya *reprocessing* uranium.

Kendala-kendala di atas bukan tidak bisa dihadapi, walau mungkin membutuhkan waktu. Terlepas dari itu,

thorium memang menawarkan keunggulan-keunggulan menarik sebagai bahan bakar nuklir masa depan, sebagai pendamping uranium.

Kesimpulan dan Rekomendasi

Hasil penelitian dan pembahasan menunjukan bahwasannya, pemanfaatan Thorium di Indonesia berada dalam tahap pengembangan, terdapat Thorium rencananya akan dijadikan PLTT (Pembangkit Listrik Tenaga Thorium) melalui kerjasama Indonesia dengan ThorCon International Pte. Ltd dan telah bersiap menandatangani nota kesepahaman. Pemanfaatan Thorium di Indonesia telah memperoleh izin dari pemerintah yang terwujud pada RPJMN 2020-2024 (Pembangunan PLTN paska 2024, periode 2020-2024).

Berdasarkan data Badan tenaga nuklir dan nasional, Potensi thorium di Bangka mencapai 210.000-270.000. Pembangkit listrik thorium juga lebih efisien dibanding batu bara, gas bumi, dan uranium. Kalkulasinya, untuk menghasilkan 1.000 Mega Watt atau 1 Giga Watt per tahun diperlukan thorium dengan volume sebesar 100 ton.

Sumber energi (power plant) yang berasal dari thorium memiliki efisiensi paling tinggi yaitu mencapai 90% disusul

uranium dengan 82% gas alam 73% dan batu bara antara 70-72% dengan berbagai sistem yang digunakan.

Maka beberapa rekomendasi yang diusulkan, yakni: Pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batu bara menghasilkan antara 0.877- 1.140 Emisi CO₂ (kg/kWh). Sedangkan untuk energi nuklir yang bersumber dari thorium maupun uranium tidak menghasilkan pencemaran CO₂. Maka, pembangkit listrik dari thorium sebagai pengganti energi fosil dapat dijadikan alternatif.

Biaya operasional yang dikeluarkan untuk menghasilkan 1 Giga Watt per tahun terbukti thorium lebih murah dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Dimana thorium hanya membutuhkan \$24.000 sedangkan sumber bahan energi lain seperti batu bara antara \$35.000-51.000. Hal ini menunjukkan thorium sebagai sumber energi yang murah dan ramah lingkungan.

Bagi industri pertahanan, karena sudah diketahui bahwasannya kerjasama ThorCon dengan PT PAL saat ini berada pada tahap *test bed platform*. Kemudian rencana pengembangan Pemerintah dengan PT. ThorCon, nantinya akan menggunakan desain struktur kapal

sepanjang 174 meter yang setara dengan kapal tanker kelas Panamax. Itu artinya, Industri Pertahanan sangat berperan penting dalam pembangunan PLTT. Karna, tanpa adanya Kerjasama dan pihak yang menangani, PLTT tersebut tidak akan bisa dimanfaatkan.

Bagi pemerintah, dari sisi efisiensi pembakaran dan kemampuan menghasilkan tenaga Thorium paling tinggi dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Thorium dapat digunakan sebagai bahan baku energi dengan efisiensi sebesar 90%. Di sisi lain, batubara hanya memiliki efisiensi 70% dengan menghasilkan pencemaran udara, kerusakan lingkungan dan pencemaran air tanah. Bila ini terjadi, industri pertahanan akan mampu mewujudkan implementasi paradigma *waste to energy*. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi kebijakan untuk meningkatkan kegunaan thorium sebagai *power plant* pada bidang pertahanan.

Daftar Pustaka

- Abimanyu Bondan, dkk (2017) Studi Ketersediaan Thorium Untuk Meningkatkan Keamanan Energi Nuklir. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2017, ISSN: 2355-7524.
- Ahmadi, A., Wirjodirdjo, B., & Maulana, A. (2015). Analisa Pemilihan Alutsista

- Tni Al Dengan Metode Life Cycle Cost (LCC) dan Analytic Network Process (ANP) (Studi Kasus Kapal Layar Latih). *Journal Asro Vol.4*, pp.20-27.
- Afifudin. 2009, "Metodologi Penelitian Sosial". Jakarta: Bumi Aksara.
- ANZSRC. (2008). *Australian and New Zealand Standard Research Classification*. Australia : Australian Bureau of Statistics
- BATAN. (2016). *Prospek Pembangkit Listrik Tenaga Thorium Di Masa Depan*. Jakarta : BATAN
- Burhan Bungin, Penelitian Kualitatif (Komunikasi, Ekonomi, Kebijakan Publik, dan Ilmu Sosial Lainnya), (Jakarta: Kencana, 2008), hal. 68
- Carlton, J., Aldwinkle, J., & Anderson, J. (2013). *Future ship powering options: exploring alternative methods of ship propulsion*. London: Royal Academy of Engineering.
- Carlton, J. S., Smart, R., & Jenkins, V. (2011). The nuclear propulsion of merchant ships: aspects of engineering, science and technology. *Journal of Marine Engineering & Technology Vol.10(2)*, pp.47-59.
- Dakhi, Y. (2016). Implementasi Poac terhadap Kegiatan Organisasi dalam Mencapai Tujuan Tertentu. *Warta Dharmawangsa Vol.50*.
- Darmawan, W., Alkadrie, J., & Sudirman, A. (2020). Kerjasama Kementerian Pertahanan Republik Indonesia Daewoo Shipbuilding Marine Engineering dalam Pengadaan Kapal Selam sebagai Upaya Pemenuhan Minimum Essential Force Militer Republik Indonesia. *Padjadjaran Journal of International Relations Vol.1(4)*, pp. 303-325.
- Dewita, E. (2012). Analisis Potensi Thorium sebagai Bahan Bakar Nuklir Alternatif PLTN. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol.14(1)*.
- Erlan Dewita (2012) Analisis Potensi Thorium Sebagai Bahan Bakar Nuklir Alternatif Pltn. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 14 No. 1*, Juni 2012.
- Harun, Nadjamuddin. 2011. Perancangan Pembangkit Tenaga Listrik. Program studi teknik elektro jurusan fakultas teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Haras, Y. M. (2017). Peran TNI AL dalam Mendukung Terwujudnya Indonesia Sebagai Poros Maritim Dunia Perspektif Manajemen Pertahanan. *Manajemen Pertahanan Vol.3(2)*.
- Hartanto, Y. A. (2016). Manajemen Logistik Dalam Meningkatkan Kesiapan Tempur Alutsista Tni Al. *Jurnal Pertahanan & Bela Negara Vol.6(1)*, pp. 193-212.
- Hirdaris, S. E., Bai, W., Dessi, D., Ergin, A., Gu, X., Hermundstad, O. A., ... & Fonseca, N. (2014). Loads for use in the design of ships and offshore structures. *Ocean engineering Vol.78*, pp. 131-174.
- Hoque, M., Salauddin, A. Z. M., & Khondoker, M. R. H. (2018). Design and Comparative Analysis of Small Modular Reactors for Nuclear Marine Propulsion of a Ship. *World Journal of Nuclear Science and Technology Vol. 8(3)*, pp. 136-145.
- Irfan, M., Bura, R. O., & Wahyudi, D. (2020). Konsep Teknologi Reaktor Nuklir Sebagai Sistem Propulsi Kapal Perang Logistik Landing Platform Dock. *Teknologi Daya Gerak Vol.3(1)*.

- Kholiq, Imam. 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM. Surabaya: *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. Vol. 19. No. 2. Hal 75—91
- Lufri. *Kiat Memahami Metodologi dan Melakukan Menelitian*. Padang: UNP Press (2007)
- Lumbanraja, S. M., & Rijanti, A. P. (2017). Kapal Laut Berpropulsi Nuklir Di Indonesia. In *Proceedings Of National Colloquium Research And Community Service Vol. 1*.
- Menik Ariani, dkk (2015) Potensi Thorium Sebagai Bahan Bakar Pada Reaktor Cepat Berpendingin Gas Untuk Pltn. Prosiding
- Miles, Matthew B; Huberman A. Michael; Saldana Johnny (2014). *Qualitative Data Anallysis A Methodes Sourcebook*. Sage Publications. California.
- Nugraha, P., Armawi, A., & Martono, E. (2016). Studi Kelayakan PT PAL INDONESIA (PERSERO) Dalam Pembangunan Kapal Perusak Kawal Rudal (PKR) Guna Mendukung Ketahanan Alutsista TNI AL. *Jurnal Ketahanan Nasional Vol.22(3)*, pp. 255-266.
- Purwadi Kasino Putro, dkk., (2010). Pembuatan Serbuk Thorium Oksida dari Pasir Monasit sebagai Bahan Bakar Nuklir. Laporan Teknis Program Intensif Peneliti dan Perekayasa, Ristek.
- Rachmat, A. N. (2016). Tantangan dan Peluang Perkembangan Teknologi Pertahanan Global Bagi Pembangunan Kekuatan Pertahanan Indonesia. *Transformasi Global Vol.1(2)*.
- Revol, J. P. (2015). Thorium: An energy source for the world of tomorrow. In *EPJ Web of Conferences EDP Sciences Vol. 98*
- Royal Academy of Engineering. (2013). *Future Ship Powering Option: Exploring Alternative Methods of Ship Propulsion*. UK: Royal Academy of Engineering.
- Schaffer, M. B. (2013). Abundant thorium as an alternative nuclear fuel: Important waste disposal and weapon proliferation advantages. *Energy Policy Vol. 60*, pp.4-12.
- Semirata 2015 bidang MIPA BKS-PTN Barat Universitas Tanjungpura Pontianak Hal 39 – 45.
- Setiadji, A. (2016). *Alutsista dan poros maritim dunia*. Tangerang: Indotech Dharma Digdaya.
- Sugiyono. (2008). *Metode Penelitian Pendidikan hlm. 409*. Bandung: Alfabeta
- Sugiyono. (2010). *Metode Penelitian Administrasi*”, Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: ALFABETA.
- Suharyo, S. (2019). Penegakan Keamanan Maritim dalam NKRI dan Problematikanya. *Jurnal Penelitian Hukum De Jure Vol.19(3)*, pp. 285-302.
- Supandi, A. (2018). Pembangunan Kekuatan TNI AL dalam Rangka Mendukung Visi Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia. *Jurnal Pertahanan & Bela Negara Vol.5(2)*, pp.1-24.
- Utami, R., & Yulianti, Y. (2013). Desain Reaktor Air Superkritis (Super Critical Water Reactor) dengan

Bahan Bakar Thorium. *Jurnal Ilmu Dasar* Vol.14(1), pp. 1-6.

Verantika, D., Boedoyo, M. S., & Yusgiantoro, P. (2018). Analisis Kebutuhan Bahan Bakar Minyak Jenis Hsd Untuk Kapal Tni Al Guna Memenuhi Minimum Essential Force (MEF) Hingga Tahun 2024. *Ketahanan Energi* Vol.4(2).

Wikarsa, Mohamad Tresna. 2010. Studi Analisis Program Percepatan 10.000 MW Tahap 1 pada Operasi Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali. *Jurnal. Depok. Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.*

Widyoutomo, A. (2020). Pengamanan Laut Mewujudkan Keamanan Maritim Indonesia. *23 rd Asia Pacific Naval College Seminar 2020 di Tokyo Jepang Tanggal 25 Februari 2020*

Yazul, M. A., Ali, Y., & Fahri, M. (2019). Strategi Bagian Penelitian Dan Pengembangan Dalam Meningkatkan Kualitas Produk Hasil Litbang Yang Bermanfaat Bagi TNI Angkatan Darat (Studi di Ditpalad). *Strategi Pertahanan Darat* Vol.5(1).

Yin, R. K. (1989). *Case Study Research (revised edition)*. Beverly Hills: Sage.

Yusgiantoro, Poernomo. (2014) *Ekonomi Pertahanan*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.