

PENGEMBANGAN THORIUM SEBAGAI BAHAN BAKAR NUKLIR DALAM MENINGKATKAN KETAHANAN ENERGI NASIONAL

DEVELOPMENT OF THORIUM AS NUCLEAR FUEL IN INCREASING NATIONAL ENERGY SECURITY

Nyimas Aljaniah Zahra¹, Mohamad Sidik Boedoyo¹, M. Ikhwan Syahtaria¹

PROGRAM STUDI KETAHANAN ENERGI, FAKULTAS MANAJEMEN PERTAHANAN,
UNIVERSITAS PERTAHANAN REPUBLIK INDONESIA
(nyimasaljaniahzahra@gmail.com, msboedoyo@gmail.com, syahtaria90@gmail.com)

Abstrak – Saat ini, data menunjukkan bahwa pemenuhan kebutuhan energi masih bergantung pada bahan bakar yang bersumber dari fosil seperti batubara, minyak dan gas bumi. Namun energi fosil tidak ramah lingkungan bahkan akan menipis dan habis. Sehingga perlu mengembangkan energi alternatif yang bersih lingkungan. Energi nuklir dijadikan salah satu opsi dalam pemenuhan kebutuhan energi dunia masa depan sebagai energi alternatif yang strategis. Mengingat Indonesia memiliki potensi sumberdaya Thorium yang tinggi, maka pemanfaatannya dalam pengembangan industri nuklir di Indonesia merupakan hal yang sangat mendasar, karena akan meningkatkan ketahanan energi baik dalam *availability*, *accessibility*, maupun *sustainability*, namun pengembangan thorium masih belum dirasakan di Indonesia akibat dari belum adanya tindakan yang signifikan pada kebijakan pemerintah untuk menetapkan kebijakan pemanfaatan energi nuklir yang berorientasi pada proyek pembangunan PLTN. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan deskriptif analitik bertujuan untuk menggambarkan, meringkas berbagai kondisi, situasi, atau fenomena realitas yang menjadi objek penelitian. Pada pengumpulan data ditemukan permasalahan implementasi pengembangan Thorium, antara lain belum adanya: NEPIO, keputusan resmi untuk membangun PLTN sebagai payung hukum para investor, kesepakatan mengenai target waktu COD PLTN pertama, dan urgensi untuk produksi bahan bakar nuklir. Secara keseluruhan kegiatan hulu thorium di Indonesia masih belum terlaksana karena untuk memulai produksi thorium diperlukan dukungan kepastian nilai ekonomis dari Thorium. Serta saat ini belum ada kegiatan hilir thorium, karena PLTN dengan bahan bakar thorium sendiri belum dibangun di Indonesia bahkan belum ada yang menggunakan Thorium sebagai bahan bakar nuklir secara komersial.

Kata Kunci: Energi alternatif, ketahanan energi, nuklir, PLTN, dan thorium

Abstract – Data currently suggest that energy demands continue to rely on fossils. However, fossil energy is harmful to the environment and will eventually run out. As a result, alternative energy that is environmentally friendly must be developed. Nuclear energy is employed as a strategic alternative energy source to address the world's energy demands in the future. Given Indonesia's high potential for Thorium resources, its use in the development of the nuclear industry in Indonesia is very basic, as it will increase energy security in terms of *availability*, *accessibility*, and *sustainability*. However, the development of thorium is still not felt in Indonesia due to a lack of action significant influence on government policies aimed at establishing policies for the use of nuclear energy in nuclear power plant development projects. This study employs a qualitative technique with an analytical descriptive. Problems in the execution of Thorium development were discovered during data collecting, including the absence of NEPIO, official rules as a legal shield for investors, agreement on the COD time objective for the first nuclear power station, and the need for nuclear fuel manufacturing. Overall, thorium upstream activities in Indonesia have yet to be executed since beginning thorium production necessitates the assurance of Thorium's economic worth. And there is presently no thorium

downstream activity because no nuclear power reactors with thorium fuel have been built in Indonesia, and no one has even used Thorium as nuclear fuel commercially.

Keywords: Alternative energy, energy security, nuclear, PLTN, and thorium

Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia akan semakin meningkat, seiring dengan pertumbuhan penduduk, pembangunan, industrialisasi dan peningkatan kualitas hidup masyarakat. Saat ini, data menunjukkan bahwa pemenuhan kebutuhan energi masih bergantung pada bahan bakar yang bersumber dari fosil seperti batubara, minyak dan gas bumi. Walaupun Indonesia memiliki berbagai sumber daya alam yang melimpah untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif sebagai substitusi energi fosil yang makin menipis dan habis (Ruslan, 2021). Kondisi ini harus diantisipasi sedini mungkin agar Indonesia tidak jatuh dalam krisis energi.

Pada buku Ketahanan Energi tahun 2020, Dewan Energi Nasional (DEN), disebutkan bahwa kondisi ketahanan energi Indonesia secara keseluruhan bernilai tahan, dalam kondisi cukup baik dan *sustainable* dalam jangka menengah (kurang dari 10 tahun). Aspek yang dinilai kurang tahan antara lain nilai aspek *availability* berada pada nilai 5,78 (kurang tahan), yang menunjukkan cukupnya

kondisi sumber dan ketersediaan energi namun masih perlu peningkatan lagi (DEN, 2020).

Indonesia memiliki potensi EBT yang besar untuk dikembangkan, namun dalam pemanfaatannya hingga kini masih belum maksimal. Potensi EBT tersebut antara lain: energi surya, panas bumi, angin, laut, nabati, dan nuklir (Santoso, 2017). Visi dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) menekankan untuk memprioritaskan pengembangan EBT. KEN menetapkan target bauran energi dalam memaksimalkan penggunaan EBT tersebut, pada tahun 2025 sebesar 23% dan pada tahun 2050 sebesar 31% (PP No. 79 Tahun 2014: Kebijakan Energi Nasional, 2014). Namun studi skenario realisasi yang dilakukan oleh *Institute for Essential Services Reform* (IESR) memperlihatkan bahwa EBT di tahun 2025 hanya akan mencapai 15% dan 23% di tahun 2050 (IESR, 2020). Dalam capaian bauran energi primer nasional semester I tahun 2021, bauran EBT berada di angka 11,24%, dimana turun dari tahun 2020 yang sebesar 11,28%, sehingga dapat dilihat

bahwa untuk mencapai target 23% tahun 2025 masih cukup berat.

Energi Nuklir merupakan salah satu opsi dalam pemenuhan kebutuhan energi dunia masa depan sebagai energi alternatif yang strategis. Penggunaan energi nuklir dapat menghasilkan daya secara lebih efisien, stabil dan memiliki potensi yang menjanjikan sebagai sumber listrik murah sehingga dapat dijangkau oleh masyarakat di berbagai lapisan (Suhaemi, 2018). Selain itu, energi nuklir menghasilkan lebih banyak daya di lahan yang lebih sedikit daripada bentuk energi berkelanjutan lainnya (Jawerth, 2020). Di Amerika Serikat, reaktor nuklir 1.000 megawatt membutuhkan lebih dari 1 mil persegi untuk dijalankan. Untuk menghasilkan daya dalam jumlah yang sama, PLTB membutuhkan luas lahan 360 kali lipat, sedangkan PLTS membutuhkan lahan 75 kali lipat. Sebagai perbandingan, dibutuhkan lebih dari 3 juta panel surya atau lebih dari 430 turbin angin untuk menghasilkan jumlah daya yang sama seperti reaktor komersial biasa (faktor kapasitas tidak termasuk) (Office of Nuclear Energy, 2021).

Pada akhir tahun 2002, produksi bahan bakar uranium dunia menyediakan sekitar 54% dari kebutuhan reaktor dunia, dengan sisanya dipenuhi oleh sumber

sekunder, termasuk persediaan sipil dan militer, pemrosesan ulang uranium dan pengayaan ulang uranium yang habis. Namun, pada tahun 2025, sumber sekunder akan berkurang kepentingannya dan hanya menyediakan sekitar 4–6% dari kebutuhan, tergantung pada proyeksi permintaan yang digunakan. Pada saat itu, pengenalan siklus bahan bakar thorium akan memainkan peran pelengkap dan memastikan ketersediaan bahan dasar untuk energi fisi nuklir dengan mudah. Oleh karena itu, selama tahun-tahun perintis energi nuklir, dari pertengahan 1950-an hingga pertengahan 1970-an, ada minat yang cukup besar di seluruh dunia untuk mengembangkan bahan bakar thorium dan siklus bahan bakar untuk melengkapi cadangan 'fisil' U-235 dengan U-233 (IAEA, 2005).

Molten Salt Reactor (MSR) merupakan salah satu teknologi reaktor generasi-IV yang didesain cocok menggunakan bahan bakar thorium (Dewita & Sembiring, 2018). Keuntungan dari MSR sendiri memiliki tekanan operasi yang lebih rendah dari reaktor lainnya, beroperasi pada temperature lebih tinggi sehingga efisiensi energi juga menjadi lebih tinggi, sistem keselamatan lebih tinggi, waktu konstruksi lebih singkat,

dan pengaruh negatif terhadap lingkungan juga lebih kecil (Lumbanraja & Liun, 2018). Penggunaan MSR di Indonesia, memberikan kesempatan untuk pemanfaatan Thorium lebih besar sehingga tercapai pula kemandirian energi, dapat ditempatkan secara *mobile* dan di daerah terpencil, lebih ekonomis dengan keselamatan yang tinggi.

Mengingat Indonesia memiliki potensi sumberdaya Thorium yang tinggi, maka pemanfaatannya dalam pengembangan industri nuklir di Indonesia merupakan hal yang sangat mendasar, karena meningkatkan ketahanan energi baik dalam *availability*, *accessibility*, maupun *sustainability*, serta meningkatkan ketahanan nasional dan kedaulatan bangsa. Oleh karena itu penambangan dan pengolahan Thorium sebagai bahan bakar PLTN di dalam negeri menjadi sangat penting. Apabila PLTN Thorium sudah bisa dimanfaatkan maka sangat diharapkan target bauran EBT akan tercapai, dan Indonesia mampu memenuhi ketentuan *Paris Agreement* untuk mencapai *net-zero emission*, terwujudnya ketahanan dan kemandirian energi, serta Ketahanan Nasional.

Penelitian ini difokuskan pada pengembangan thorium sebagai bahan bakar nuklir di Indonesia. Dari fokus

penelitian ini di bagi menjadi tiga subfokus penelitian, antara lain:

- a. Faktor yang menghambat dan mempercepat implementasi kebijakan pengembangan thorium sebagai bahan bakar nuklir;
- b. Sisi hulu pengembangan thorium khususnya penambangan dan pengolahan thorium; dan
- c. Sisi hilir pengembangan thorium khususnya proses dari thorium untuk menghasilkan listrik.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan deskriptif analitik, yang bertujuan untuk menggambarkan, meringkas berbagai kondisi, situasi, atau fenomena realitas yang menjadi objek penelitian, dan menarik realitas tersebut sebagai ciri, karakter, sifat, model, atau gambaran tentang kondisi tertentu.

Hasil dan Pembahasan

Kebijakan Pengembangan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nuklir
Bahan bakar nuklir dalam pengembangannya, termasuk penggunaannya pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), berpedoman pada beberapa kebijakan yang telah dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebijakan Pengembangan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nuklir

Kebijakan	Pokok Peraturan
UU No. 11/2020	tentang Cipta Kerja
UU No. 17/2007	tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2005-2025
PP No. 14/2015	tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) tahun 2015-2035
Permen ESDM No. 16/2020	tentang Rencana Strategis Kementerian ESDM tahun 2020-2024
Kepmen ESDM No. 143 K/20/MEM/2019	tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional tahun 2019-2038
Kepmen ESDM No. 188.K/HK.02/M EM.L/2021	tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) tahun 2021-2030

Sumber: Diolah oleh peneliti, 2021

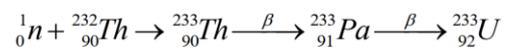
Pada PP No. 14/2015 disebutkan bahwa mulai dirasakannya kelangkaan energi sehingga untuk menjamin keberlangsungan pembangunan industri perlu adanya kebijakan diversifikasi energi dan perhatian besar terhadap pengembangan sumber energi terbarukan dan energi nuklir yang murah dan aman. Namun tingginya investasi awal dan waktu implementasi yang panjang, dukungan Pemerintah dalam jangka panjang diperlukan agar PLTN dapat diselesaikan sempurna dan tepat waktu.

Thorium sebagai Bahan Bakar Nuklir

Thorium merupakan bahan bakar nuklir masa depan pengganti uranium yang bernilai sangat strategis. Pada umumnya

Thorium berasosiasi dengan Uranium dan unsur tanah jarang (REE) dalam berbagai jenis batuan seperti dijumpai dalam mineral monasit di batuan granit (Humphrey & Khandaker, 2018).

Thorium yang ditemukan di alam adalah Thorium-232 yang apabila mengalami reaksi penangkapan neutron maka Th-232 menghasilkan bahan fisil U-233, seperti reaksi berikut:



Reaksi diatas menunjukkan Th-232 dapat menjadi bahan bakar alternatif PLTN, mengingat kandungan thorium sendiri mencapai 4 kali lipat dibandingkan uranium di permukaan bumi sehingga dapat digunakan untuk menjaga keberlanjutan jangka panjang tenaga nuklir dan limbah radioaktif yang rendah (Bondan et al., 2017). Beberapa keuntungan thorium dibandingkan uranium (Krause, 2019), antara lain:

- Penambangan lebih melimpah dan lebih mudah (tidak ada radioaktif alami), saat ini menjadi “produk limbah” di berbagai kegiatan pertambangan industri;
- Pada prinsipnya dapat mencapai siklus bahan bakar pemuliaan mandiri sepenuhnya;

- c. Konduktivitas termal yang lebih tinggi dan suhu leleh yang lebih tinggi;
- d. Stabil secara kimia (hanya memiliki satu keadaan oksidasi), sehingga tidak akan teroksidasi selama operasi bahan bakar yang dapat menyebabkan cacat kelongsong bahan bakar atau dalam penyimpanan limbah; dan
- e. Fisi menghasilkan lebih sedikit aktinida minor (termasuk Pu), secara signifikan mengurangi radiotoksistas limbah setelah sekitar 100 tahun;

Selain itu, apabila dibandingkan antara sumber energi fosil dan reaktor MSR (fisi) (Wijanarko, 2019), maka:

- a. Penggunaan reaktor berbasis thorium pada kapal perang dapat beroperasi 85% atau endurance 310 hari dengan biaya 173 juta/bulan.
- b. Penggunaan dalam engine diesel pada kapal endurance 45 hari dengan biaya 17 Miliar/bulan.
- c. Bahan baku thorium lebih efisien dibanding batubara dan uranium. Untuk daya 1.000 MWE atau 1 Giga Watt per tahun diperlukan batubara sebesar 3,5 juta - 4 juta ton. Untuk uranium 200 ton - 250 ton, sedangkan thorium hanya sebesar 7 ton.

Implementasi Kebijakan Pengembangan Thorium sebagai Bahan Bakar Nuklir

untuk Ketahanan Energi Nasional

Pada dasarnya, implementasi pengembangan bahan bakar nuklir Thorium terhambat akibat tidak adanya keputusan resmi “Go Nuklir” dari pemerintah pusat serta di Kementerian ESDM pun pemanfaatan nuklir masih disebutkan sebagai pilihan terakhir walau pembuatan peta jalan implementasi sudah ditargetkan rampung di tahun 2024 (Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Tentang Rencana Strategis Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Tahun 2020-2024, 2020).

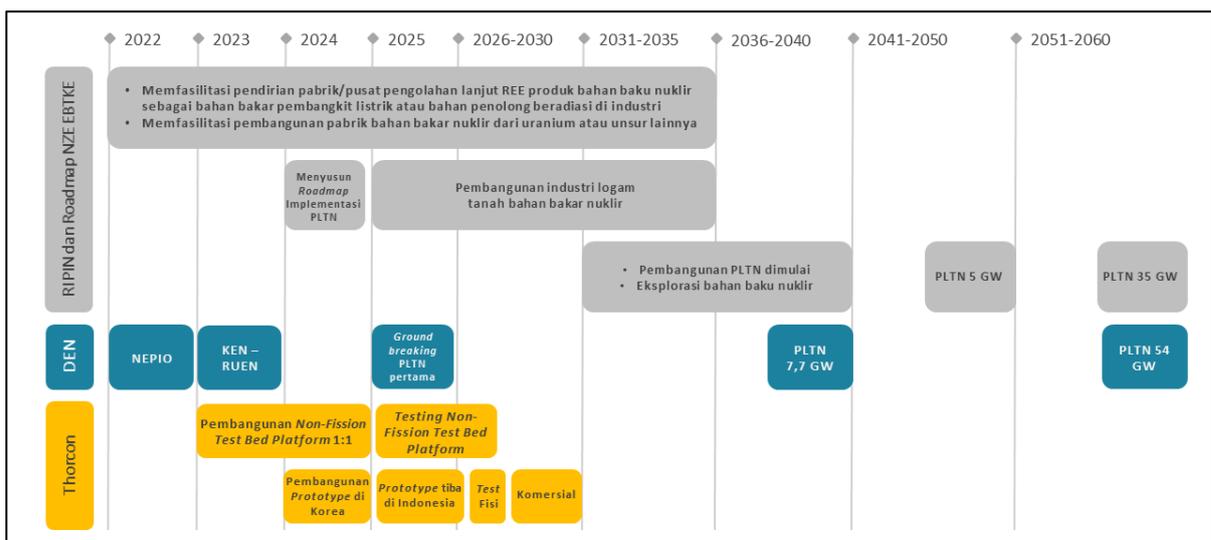
“Pilihan terakhir” dikaitkan dengan terjaminnya keselamatan serta pertimbangan keamanan pasokan energi skala besar dan pengurangan emisi karbon. Sehingga seharusnya kata-kata “pilihan terakhir” sudah bisa dihilangkan, mengingat Indonesia perlu memenuhi target bauran EBT, *Net Zero Emission* 2060, serta apabila dilihat dari sisi keselamatan, penggunaan Thorium menjamin hal tersebut yang terlihat dari limbah yang dihasilkan sedikit, tidak atau sangat sedikit menghasilkan Plutonium sehingga akan menjamin tidak disalahgunakan untuk pemanfaatan senjata nuklir.

DEN pun menyampaikan dukungan agar implementasi pemanfaatan nuklir

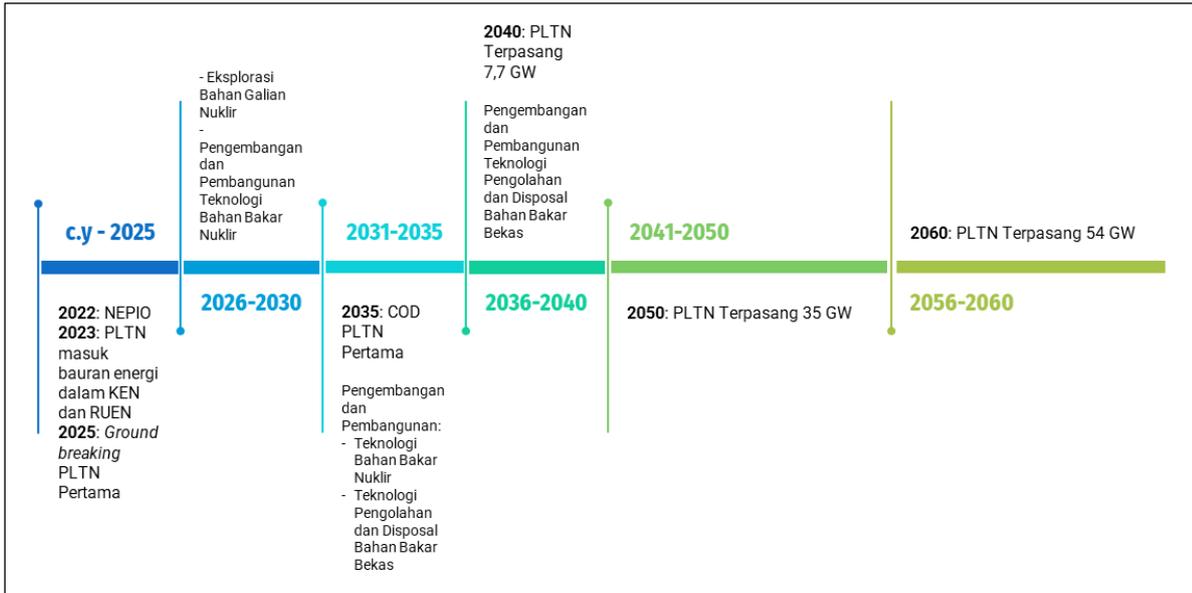
dapat berjalan dengan baik dengan membahas kesiapan kelembagaan untuk pembangunan PLTN yaitu membahas kepastian keselamatan, keandalan, kemandirian, dan keamanan PLTN, mendorong pembentukan NEPIO (*Nuclear Energy Programme Implementating Organization*), serta memperkuat *Public Acceptance*. Bahkan saat ini tim untuk pembentukan NEPIO di Indonesia sudah ada dan saat ini dalam proses penyusunan naskah akademik untuk membuktikan bahwa PLTN memang harus sudah dipersiapkan.

Peta jalan rencana implementasi pengembangan dan pembangunan bahan bakar nuklir dan PLTN pada Gambar 1, memperlihatkan bahwa belum ada kesepakatan mengenai target waktu

COD PLTN pertama. Ketidakjelasan pembangunan PLTN pun terlihat sehingga *roadmap* implementasi PLTN seharusnya segera dirampungkan, mengingat pembangunan PLTN sendiri membutuhkan waktu yang tidak sebentar dan perlu dukungan PLTN untuk menggantikan PLTU sebagai sumber listrik yang bisa dijadikan sebagai *baseload*. Sehingga sebaiknya PLTN komersial di tahun yang sama saat perlu menggantikan PLTU tersebut yaitu disekitar tahun 2031-2035 seperti yang terlihat pada peta jalan yang diolah oleh peneliti pada Gambar 2, selain itu juga dapat memenuhi target total PLTN yang dibutuhkan 7,7 GW di tahun 2040 dan 54 GW di tahun 2060.



Gambar 1. Rencana Implementasi Pengembangan dan Pembangunan Bahan Bakar Nuklir dan PLTN
 Sumber: Diolah oleh Peneliti, 2022



Gambar 2. Peta Jalan Implementasi Bahan Bakar Nuklir dan PLTN
 Sumber: Diolah oleh Peneliti, 2022

Pembangunan PLTN apabila sudah dapat dipastikan untuk dikembangkan, maka implementasi pengembangan bahan bakar nuklir, dalam hal ini Thorium, pun dapat dilaksanakan. Pengembangan Thorium di Indonesia akan mendukung kemandirian energi karena bahan bakar tidak perlu impor dari luar negeri. Pemanfaatan PLTN sendiri dapat meningkatkan penyediaan tenaga listrik dimana dengan kata lain dapat meningkatkan aspek kemampuan akses (*accessibility*) pada ketahanan energi yang mana PLTN juga merupakan sumber energi handal dan sesuai kebutuhan Indonesia di masa depan. Perpaduannya dengan Thorium pun dapat meningkatkan ketersediaan energi (*availability*) karena potensi sumber daya

di Indonesia yang melimpah sehingga akan menjaga ketersediaan energi dalam negeri serta apabila termanfaatkan maka pencapaian bauran energi khususnya bauran energi baru terbarukan akan tercapai. Melihat kondisi ketahanan energi tahun 2020 yang mengatakan kondisi saat ini berkelanjutan (*sustainability*) dalam jangka menengah, atau kurang dari 10 tahun, maka dengan kata lain harus ada sumber energi yang dapat meningkatkan sustainability tersebut dan PLTN khususnya yang berbahan bakar thorium adalah pilihan tepat dan harus segera direalisasikan, karena thorium sendiri kandungannya mencapai 4 kali lipat dibandingkan uranium di permukaan bumi sehingga dapat digunakan untuk menjaga

keberlanjutan jangka panjang tenaga nuklir dan limbah radioaktif yang rendah.

Pengembangan Sisi Hulu Thorium dalam Proses Produksi Bahan Bakar PLTN

Kegiatan Hulu Bahan Bakar Thorium terdiri dari kegiatan eksplorasi, penambangan, pengolahan (ekstraksi dan pemurnian), dan fabrikasi. Kegiatan eksplorasi sendiri dapat dilakukan dengan melihat peta radiasi, seperti yang sedang dilakukan oleh OR Tenaga Nuklir saat ini di Mamuju, dimana menemukan kandungan Thorium yang tinggi disana (Cakrabuana et al., 2021). Selain itu dapat mengikuti jalur eksplorasi Timah, dan saat ini Monasit sebagai mineral dengan kandungan Thorium hanya disimpan sebagai sisa hasil penambangan Timah dan belum dimanfaatkan. Dalam kegiatan eksplorasi masih diperlukan dukungan peningkatan fasilitas terutama transportasi untuk mempermudah melakukan eksplorasi ditempat yang susah untuk dicapai seperti pada lokasi di Mamuju. Cadangan terbukti juga hanya bisa dilaksanakan apabila kegiatan eksplorasi itu didukung dengan kepastian nilai ekonomis dari Thorium itu sendiri yang sampai saat ini belum di hitung di Indonesia.

PT. Timah Tbk, selaku salah satu penghasil mineral monasit (mineral ikutan Thorium) dari pertambangan timah saat ini masih mengutamakan pengembangan untuk produksi *Rare Earth Element* (REE) terlebih dahulu, dan Thorium masih sebagai hasil samping dari pengolahan REE. Namun demikian, apabila program industrialisasi berjalan dan berpeluang secara ekonomis, baru ada pengolahan lanjut terhadap Thorium maupun Uranium dengan tetap bekerjasama dengan Badan Pelaksa sesuai UU Ketenaganukliran.

Apabila melihat hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Udayakumar, S., et al, pada tahun 2021 mengenai “*Economic Evaluation of Thorium Oxide Production from Monazite Using Alkaline Fusion Method*” di Malaysia, komersialisasi produksi ThO_2 dari monasit menggunakan metode alkaline fusion layak secara ekonomi dengan pengembalian yang wajar. Serta disebutkan pula pada penelitian tersebut bahwa perhitungan pengembalian investasi (ROI) dan waktu pengembalian atau *payback time* menunjukkan bahwa ROI tertinggi sebesar 21,92% dicapai pada 1 ton per batch produksi dalam waktu pengembalian selama 4,56 tahun (Udayakumar et al., 2021). Malaysia

sendiri dikenal sebagai salah satu negara yang memproduksi REE dari Monasit sama seperti yang akan dilakukan oleh PT. Timah Tbk. Dan bisa dijadikan sebagai dasar pertimbangan tingkat keekonomisan untuk memproduksi Thorium dari monasit yang ada pada PT. Timah Tbk. Bahkan dukungan dalam bentuk regulasi, dalam hal ini mengenai keselamatan dan keamanan dalam pertambangan bahan galian sedang digarap dan saat ini sudah berada di Kemenkumham yang berarti sebentar lagi akan disahkan.

Pada kegiatan pengolahan, teknologi pengolahan saat ini masih tertutup akibat adanya *trade war* antara negara China dan US. Sehingga saat ini belum ada yang menjual teknologi tersebut, sifatnya masih dalam bentuk kerjasama atau kemitraan. Namun dengan pengalaman Indonesia yang sudah memiliki teknologi pengolahan skala lab dan *pilot plant* kapasitas 50 kg, desain teknologi pengolahan skala industri oleh OR Tenaga Nuklir akan siap di tahun 2024. Namun demikian, tetap saja Indonesia harus bekerjasama dengan negara luar dalam hal teknologi ini untuk percepat transfer teknologi dan Indonesia akan siap produksi bahan bakar nuklir secara mandiri.

Sedangkan pada kegiatan Fabrikasi, salah satu calon perusahaan yang akan mengembangkan dan membangun reaktor berbahan bakar Thorium, *Molten Salt Reactor*, bekerja sama dengan ITB untuk pembuatan bahan bakar Thorium+HALEU (*High-Assay, Low-Enriched Uranium*), sehingga diharapkan kedepannya Indonesia bisa memproduksi bahan bakar nuklir. Di Dunia sendiri, perusahaan innovator bahan bakar nuklir, *Clean Core Thorium Energy (CCTE)*, baru berhasil pada Oktober 2021 lalu memfabrikasi pellet Thorium+HALEU, dimana diberi sebutan sebagai ANEEL (*Advanced Nuclear Energy for Enriched Life*) dan akan siap dikomersialisasikan pada akhir 2024. CCTE bekerja sama dengan *Texas A&M Engineering Experiment Station's Nuclear Engineering and Science Center* dan *U.S. Department of Energy's Idaho National Laboratory*. ANEEL sendiri didesain sebagai bahan bakar untuk reaktor CANDU (*Canada Deuterium Uranium*) atau reaktor *Pressurized Heavy-Water (PHWR)* lainnya. Kombinasi Thorium+HALEU diklaim beroperasi lebih ekonomis dan disaat yang sama meminimalisir limbah dan resiko proliferasi (CCTE, 2021). Dimana hal tersebut sesuai dengan tujuan dari reaktor Gen IV. Ini bisa menjadi suatu

peluang bagi Badan Usaha untuk mengindustrialisasikan Thorium di Indonesia sebagai pemenuhan bahan bakar dalam negeri dan luar negeri. Tidak hanya memenuhi bahan bakar reaktor thorium, namun thorium sendiri diketahui sebagai pengganti Uranium yang digunakan pada PLTN pada umumnya untuk sustainability bahan bakar PLTN (Redmond, 2021). Bahkan kita bisa berpeluang secara penuh menguasai teknologi Hulu pada bahan bakar Thorium. Bahkan pada penelitian yang dilakukan oleh Bondan, A., et al, 2017, mengenai “Studi Ketersediaan Thorium untuk Meningkatkan Keamanan Energi Nuklir” menemukan 133.668 ton sumberdaya spekulatif Thorium di Indonesia, dengan jumlah paling besar berada di Pulau Bangka Belitung sebesar 126.207 ton. Seharusnya dengan sumberdaya yang melimpah, Indonesia bisa memproduksi bahan bakar nuklir sendiri untuk mencapai kemandirian energi.

Pengembangan Sisi Hilir Thorium dalam Pembangunan PLTN

Kegiatan hilir pada bahan bakar Thorium terdiri dari pemanfaatannya pada reaktor nuklir dan pengelolaan bahan bakar bekasnya. Pada pemanfaatannya pada

reaktor, thorium dinilai dapat menggantikan uranium yang sekarang digunakan pada PLTN eksisting, yang artinya memenuhi salah satu tujuan Reaktor Gen IV yaitu dalam hal *sustainability* dari bahan bakar nuklir. Selain itu bahan bakar nuklir thorium lebih murah dan lebih aman terhadap penyalahgunaannya sebagai senjata nuklir. Namun sayangnya saat ini belum ada yang menjual thorium dalam jumlah besar.

Sedangkan pada pengelolaan bahan bakar bekas di Indonesia, saat ini sudah mempunyai fasilitas penyimpanan sementara oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif. Namun apabila PLTN akan komersial di Indonesia, pemerintah harus segera menentukan kebijakan bahan bakar bekas yang kita hasilkan apakah digunakan/diolah kembali menjadi bahan bakar dan/atau dibuang. Apabila tidak diolah ulang, maka perlu adanya fasilitas disposal, dan penentuan tempat disposal pun harus diputuskan dengan matang.

Secara keseluruhan, penggunaan Thorium sebagai bahan bakar pembangkit listrik, dapat dilaksanakan dengan memulai membangun PLTN Thorium prototype terlebih dahulu sebelum menggunakannya langsung pada PLTN Thorium komersial untuk

menjamin keselamatan penggunaannya serta memenuhi persyaratan perundangan pemanfaatan bahan bakar nuklir.

Kesimpulan dan Rekomendasi

Penelitian tentang pengembangan thorium sebagai bahan bakar nuklir yang dilakukan memberikan kesimpulan, bahwa potensi Thorium di Indonesia cukup besar dan diperkirakan mampu memenuhi kebutuhan energi PLTN 1 GW per tahun hanya dengan 7 ton Thorium, maka pengembangan Thorium sebagai bahan bakar nuklir dalam negeri dapat meningkatkan Ketahanan Energi.

Implementasi pengembangan bahan bakar nuklir Thorium di Indonesia terhambat akibat belum adanya kesepakatan mengenai target waktu COD PLTN pertama bahkan keputusan resmi mengenai pembangunan PLTN di Indonesia oleh pemerintah pusat. Sedangkan untuk percepatan implementasinya, saat ini sudah terlihat lampu hijau pembangunan PLTN di Indonesia dengan terbentuknya tim pembentukan NEPIO dan diperkirakan terbentuk di pertengahan tahun 2022. Sehingga setelah NEPIO terbentuk maka keputusan pembangunan PLTN pun segera terlaksana. Serta mendorong

pengembangan bahan bakar nuklir, dalam hal ini Thorium, di Indonesia dan mendukung kemandirian energi karena tidak perlu impor dari luar negeri.

Sisi hulu thorium sebagai bahan bakar nuklir terdiri dari kegiatan eksplorasi, penambangan, pengolahan (ekstraksi dan pemurnian), dan fabrikasi. Secara keseluruhan kegiatan hulu thorium di Indonesia masih belum terlaksana karena untuk memulai produksi thorium memerlukan dukungan kepastian nilai ekonomis dari Thorium, sehingga mendorong untuk pelaksanaan penghitungan cadangan terbukti yang ada di Indonesia untuk memutuskan apakah Indonesia bisa atau perlu mengembangkan dan/atau memproduksi bahan bakar nuklir Thorium. Terlebih teknologi pengolahan yang masih tertutup akibat *trade war* antara China dan US. Namun demikian, Thorium saat ini sudah mulai dipergunakan tidak hanya di Indonesia saja, sehingga kondisi ini bisa menjadi peluang bagi Badan Usaha untuk mengindustrialisasikan Thorium di Indonesia sebagai pemenuhan bahan bakar nuklir baik dalam negeri maupun luar negeri.

Sisi hilir thorium sebagai bahan bakar terdiri dari kegiatan pemanfaatan thorium tersebut pada reaktor nuklir

serta kegiatan pengelolaan bahan bakar bekas. Saat ini tentu belum ada kegiatan hilir thorium, karena PLTN dengan bahan bakar thorium sendiri belum dibangun di Indonesia bahkan belum ada yang menggunakan Thorium sebagai bahan bakar nuklir secara komersial. Namun dengan melihat kondisi saat ini dimana PLTN sudah mulai terlihat akan dibangun, pemerintah harus mulai menyiapkan fasilitas pengolahan dan disposal bahan bakar bekas.

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini dalam rangka dapat terlaksananya pengembangan thorium sebagai bahan bakar nuklir di Indonesia, antara lain:

- a. Pemerintah Pusat harus mempercepat pemanfaatan PLTN di Indonesia, menghilangkan penggunaan kata “pilihan terakhir” pada pemanfaatan PLTN, dan memasukkan PLTN dalam bauran energi pada revisi KEN dan RUEN.
- b. Harus ada putusan kebijakan penetapan waktu komersialisasi PLTN dari Pemerintah Pusat.
- c. Kementerian/Lembaga dan Badan Usaha Dalam Negeri perlu menjalin kersama dengan pihak-pihak terkait logam tanah jarang, guna menguasai teknologi pengolahannya, karena

Thorium sendiri berdampingan dengan logam tanah jarang tersebut.

- d. Pemerintah perlu menjajaki kerjasama dengan India dan China dalam pengembangan Thorium sebagai bahan bakar PLTN, mengingat kedua negara tersebut saat ini sudah cukup maju dalam penelitian dan pengembangan PLTN Thorium.
- e. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai: manfaat secara ekonomis dari industrialisasi Thorium di Indonesia; teknologi pengolahan bahan bakar bekas hasil Thorium di Indonesia; dan teknologi disposal bahan bakar bekas di Indonesia.

Daftar Pustaka

- Bondan, A., Alimah, S., & Suntoko, H. (2017). *STUDI KETERSEDIAAN THORIUM UNTUK MENINGKATKAN KEAMANAN ENERGI NUKLIR*. 1–8.
- Cakrabuana, W., Ciputra, R. C., & Syaeful, H. (2021). Assessing the undiscovered resources of uranium and thorium in Mamuju, West Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 851(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/851/1/012041>
- CCTE. (2021). *Clean Core Thorium Energy Congratulates Texas A&M on Fabrication of First ANEEL Advanced*

- Nuclear Fuel Pellets — Clean Core Thorium Energy.*
<https://cleancore.energy/news/clean-core-thorium-energy-congratulates-texas-aampm-on-fabrication-of-first-aneel-advanced-nuclear-fuel-pellets>
- DEN. (2020). *Ketahanan Energi Indonesia* (2020th ed.). Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Dewita, E., & Sembiring, T. M. (2018). *KAJIAN SISTEM KESELAMATAN REAKTOR TMSR (THORIUM MOLTEN SALT REACTOR)*. 31–38.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2020-2024, (2020).
- Humphrey, U. E., & Khandaker, M. U. (2018). Viability of thorium-based nuclear fuel cycle for the next generation nuclear reactor: Issues and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97(August), 259–275. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.019>
- IAEA. (2005). *Thorium fuel cycle: Potential benefits and challenges* (Issue May). the IAEA in Austria.
- IESR. (2020). National Energy General Plan (RUEN): Existing Plan, Current Policies and Energy Transition Scenario. In *Institute for Essential Services Reform (IESR)*.
- Jawerth, N. (2020). *What is the Clean Energy Transition and How Does Nuclear Power Fit In? | IAEA.*
<https://www.iaea.org/bulletin/what-is-the-clean-energy-transition-and-how-does-nuclear-power-fit-in>
- Krause, M. (2019). Technology Considerations for Deployment of Thorium Power Reactors. In *Thorium—Energy for the Future*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2658-5>
- Lumbanraja, S. M., & Liun, E. (2018). *Reviu Implementasi Thorcon Molten Salt Reactor di Indonesia.* *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 20(1), 53. <https://doi.org/10.17146/jpen.2018.20.1.4083>
- Office of Nuclear Energy. (2021). *3 Reasons Why Nuclear is Clean and Sustainable | Department of Energy.*
<https://www.energy.gov/ne/articles/3-reasons-why-nuclear-clean-and-sustainable>
- PP No. 79 Tahun 2014: Kebijakan Energi Nasional, 1 (2014).
- Redmond, P. C. (2021). *The Public Case for*

- Thorium The Public Case for Thorium.*
- Ruslan. (2021). Status Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan dan Opsi Nuklir Dalam Bauran Energi Nasional. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 23(1), 39–49.
- Santoso, R. (2017). Kebijakan energi di Indonesia: Menuju kemandirian. *Jurnal Analis Kebijakan*, 1(1), 28–36.
- Suhaemi, T. (2018). Prospek Desain Reaktor Berbahan Bakar Cair Molten Salt Reactor. *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 3(2502), 64. <https://doi.org/10.22236/teknoka.v3i028>
- Udayakumar, S., Baharun, N., Rezan, S. A., Ismail, A. F., & Mohamed Takip, K. (2021). Economic evaluation of thorium oxide production from monazite using alkaline fusion method. *Nuclear Engineering and Technology*, 53(7), 2418–2425. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.01.028>
- Wijanarko, B. (2019). *Pengembangan Thorium Sebagai Sumber Energi Alternatif.*