
KAPAL LAUT BERPROPULSI NUKLIR DI INDONESIA

Sahala Maruli Lumbanraja* dan Arum Puni Rijanti

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir-BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710

*) email korespondensi: sahalal@batan.go.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang mempunyai panjang garis pantai 99.093 km dengan luas pantai mencapai 6.315.222 km² (terdiri dari wilayah laut teritorial dan zona laut eksklusif (ZEE). Potensi ekonomi laut yang besar perlu dikelola sehingga seluruh aktivitas berjalan selaras dengan visi pemerintah Indonesia. Tujuan studi adalah untuk mengkaji pemanfaatan propulsi nuklir untuk kapal laut di Indonesia, baik dari segi lingkungan, teknologi, kondisi geografis laut dan regulasinya. Metode dilakukan dengan kajian tentang perkembangan teknologi propulsi nuklir untuk kapal laut, kondisi geografis laut, lingkungan dan sistem regulasinya. Kapal laut berpropulsi nuklir layak untuk pelayaran jarak jauh dan waktu lama (lebih dari 5 tahun tanpa mengisi bahan bakar) tergantung tingkat pengayaannya, serta dapat mengurangi efek rumah kaca, tetapi jalur pelayaran antar negara masih sangat terbatas karena sangat tergantung pada izin/kesepakatan antar negara yang akan dilalui kapal berpropulsi nuklir ini. Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perijinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir belum mengatur operasional kapal berpropulsi nuklir beroperasi di Indonesia. Kondisi geografis laut Indonesia yang sangat luas membutuhkan kapal laut dengan jarak jelajah besar sehingga kapal berpropulsi nuklir layak dipertimbangkan sebagai salah satu solusi alternatif.

Kata kunci: propulsi nuklir, kapal laut, regulasi

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang mempunyai panjang garis pantai 99.093 km dengan luas pantai mencapai 6.315.222 km² (BIG, 2016; Media Indonesia, 2016). Menurut Konvensi Kelautan Perserikatan Bangsa-bangsa (*United Nation Convention of The Sea, UNCLOS*) pada tahun 1982, luas laut suatu negara terdiri dari wilayah laut teritorial dan zona laut eksklusif, berjarak sejauh 200 mil laut dari bibir pantai. Wilayah laut ini mempunyai potensi ekonomi sangat besar untuk memakmurkan masyarakat Indonesia, khususnya masyarakat yang bermukim di sekitar pesisir pantai. Potensi ini belum tergali secara maksimal, khususnya hasil laut. Potensi lain yang belum tergarap secara maksimal adalah potensi sebagai jalur distribusi barang, hasil pertanian, hasil tambang dan lain-lain yang dihasilkan oleh ribuan pulau yang tersebar di Nusantara. Jalur laut menjadi salah satu faktor pendukung utama pertumbuhan ekonomi di seluruh wilayah Indonesia. Tol laut yang dicanangkan oleh pemerintahan Joko Widodo-Jusuf Kalla perlu mendapat dukungan semua pemangku kepentingan, termasuk Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).

Menurut beberapa hasil penelitian, kapal laut di seluruh dunia menghasilkan kira-kira 1 juta ton emisi gas rumah kaca yang terdiri dari CO₂, CH₄ and N₂O (Schøyen H. *et al.*, 2017). Menurut Gravina, 2012, kapal laut bertanggung jawab terhadap emisi 2,7% CO₂, 4-9% SO_x dan 15% NO_x (Freire L.O. *et al.*, 2014 dan 2015), sedangkan menurut OECD/ITF SO₂ kira-kira 5 hingga 10% dari emisi SO₂ global. Pada konvensi internasional tentang pencegahan polusi kapal laut, yang dikenal sebagai MARPOL 73/78 mengamanatkan pengurangan emisi gas rumah kaca dari kapal laut (Garcia R.F. *et.al*, OECD/ITF). Saat ini, transportasi laut di Indonesia didominasi kapal

berbahan bakar minyak dengan tingkat polusi yang cukup tinggi.

Ada 700 kapal laut berteknologi propulsi nuklir yang telah dan sedang beroperasi di seluruh dunia untuk kebutuhan militer (Royal Academy Engineering, 2013), dan kapal selam pertama berpropulsi nuklir adalah Nautilus dengan daya reaktor 10 MW, dan kecepatan hingga 20 knot (23 mil per jam). Kapal selam ini beroperasi selama 25 tahun dan telah menjelajah lautan sejauh 513.000 mil. Menurut Gravina, 2012, hingga saat ini ada 200 kapal berpropulsi nuklir yang masih beroperasi (Freire L.O. *et al.*, 2014). Studi ini bertujuan untuk mengkaji kemungkinan implementasi pemanfaatan reaktor nuklir sebagai propulsi kapal laut di Indonesia.

TEORI

Propulsi nuklir untuk kapal patroli, kapal penumpang, dan kapal barang dapat meningkatkan kedaulatan bangsa dan meningkatkan pendapatan masyarakat, khususnya nelayan Indonesia. Kapal berpropulsi nuklir mempunyai kemampuan jelajah yang sangat tinggi karena mampu berlayar berbulan-bulan bahkan tahunan tanpa mengisi bahan bakar.

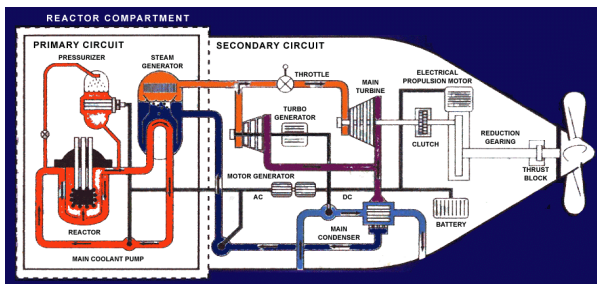
Kapal berpropulsi nuklir pertama kali digunakan pada era perang dingin. Kapal ini diciptakan karena mempunyai spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan Angkatan Laut, yaitu kemampuan jelajah tinggi dan bunyi suara propulsi yang hampir tidak terdengar. Kapal berpropulsi nuklir pertama kali diimplementasikan oleh Amerika Serikat pada kapal selam Nautilus tahun 1955 dengan menggunakan 1 unit reaktor, dan diikuti kapal induk *USS Enterprise* dengan menggunakan 8 unit reaktor nuklir pada tahun 1960. Kapal sipil berpropulsi nuklir yang pertama kali dioperasikan secara internasional adalah kapal

penumpang dan kargo NS Savannah Amerika Serikat (Donnelly W.H., 1965), Khlopin N.S. *et al.*, 1997, Ando Y., 1969, Hirdaris S.E. *et al.*, 2014). Beberapa Negara besar lainnya juga mengimplementasikan kapal laut berpropulsi nuklir baik untuk keperluan militer dan/atau keperluan sipil, seperti Rusia mengoperasikan kapal kargo NS. Sevmorput & kapal pemecah es Taimyr (Khlopin N.S. *et al.*, 1997, Mitenkov F.M, 1997, Hirdaris S.E. *et al.* 2014), Jepang mengoperasikan kapal riset NS. Mutsu Aomori (Khlopin N.S. *et al.*, 1997, Kusunoki T., *et al.*, 2000), Jerman dengan kapal kargo NS. Otto Hann (Kusunoki T, *et al.*, 2000, Khlopin N.S. *et al.*, 1997, L.O. Freire *et al.* 2015, S.E. Hirdaris *et al.*). Kapal berpropulsi nuklir yang paling banyak digunakan adalah untuk keperluan militer, sedangkan untuk keperluan sipil sangat terbatas, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Negara yang pernah dan sedang mengoperasikan kapal berpropulsi nuklir (WNA, 2017).

	Kapal selam (unit)	Kapal induk (unit)	Kapal sipil (unit)
Amerika	75	11	1
Rusia	248	5	9
Perancis	10	1	-
Inggris	<20	-	-
Jepang	-	-	1
Jerman	-	-	1
Cina	12	-	-
India	1	-	-

Prinsip kerja kapal berbahan bakar nuklir hampir sama dengan kapal berbahan bakar minyak. Perbedaan utama hanya terjadi di system primernya saja sedangkan sistem sekundernya sama, dimana mesin diesel diganti dengan reaktor nuklir. Bahan bakar nuklir yang umum digunakan adalah U-235 dengan tingkat pengayaan 3,5%. Gambar 1 menunjukkan salah satu skema kompartemen kapal berpropulsi nuklir. dan Gambar 2 adalah NS. Sevmorput.



Gambar 1. Skema kompartemen kapal berpropulsi nuklir (Jhi Yong Loke , WNA, 2017).



Gambar 2. Kapal kargo NS. Sevmorput (Jhi Yong Loke)

Kapal kargo NS. Sevmorput merupakan kapal kargo yang mampu beroperasi di lautan bersalju yang dioperasikan oleh Rusia. Kapal ini dirancang khusus untuk melayani wilayah lautan Rusia yang diselimuti salju ,seperti ditunjukkan Gambar 2. Kapal ini telah beroperasi selama 29 tahun dengan kecepatan 20,8 knots. Sedangkan kapal induk Enterprise telah beroperasi selama 51 tahun dan mengarungi lautan sejauh 48.624 km dengan kecepatan 22 knots, serta didekomisioning tahun 2012, seperti ditunjukkan Gambar 3 (Donnelly W. H.,1965). Kapal ini merupakan kapal induk pengangkut pesawat tempur.



Gambar 3. Kapal induk USS Enterprise(Donnelly W.H. ,1965, S.E. Hirdaris *et al.*,2015)

Dengan daya mesin dan bobot kapal yang setara, kapal kontainer berpropulsi nuklir dapat mencapai kecepatan 35 knot, sedangkan kapal berbahan bakar minyak hanya dapat mencapai kecepatan 22 knot. Demikian halnya untuk kapal tanker berpropulsi nuklir dapat mencapai kecepatan 21 knot, sedangkan kapal tanker berbahan bakar minyak hanya mencapai kecepatan 15 knot.

Tabel 2. Jenis teknologi reaktor untuk propulsi nuklir

No.	Teknologi
1	PWR (Garcia R.F. <i>et al.</i> , 2012, Carlton <i>et al.</i> , 2011, Sasaki S., 1969&2012), Freire L.O. <i>et al.</i> , 2014, dan 2015), Schøyen H., <i>et al.</i> , 2017, Kusunoki T, <i>et al.</i> , 2000, Ando,1969)
2	HTR (Garcia R.F, 2012, Charles)
3	MSR (Garcia R.F. <i>et al.</i> , 2012)

METODE PENELITIAN

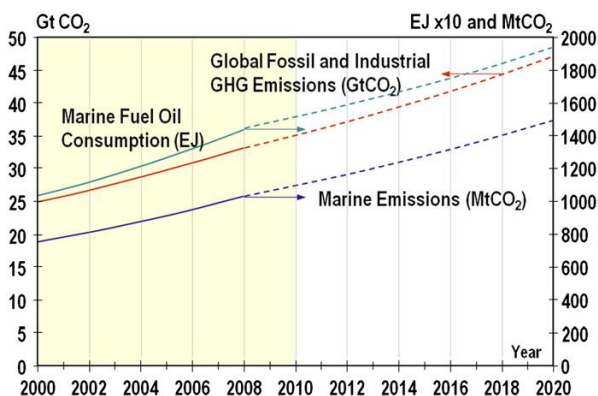
Mendefinisikan ruang lingkup kajian, pertama: membatasi bidang kajian pada aspek operasional kapal laut berpropulsi nuklir masa kini dan masa akan datang; kedua menentukan beberapa faktor yang mempengaruhinya (kajian dan diskusi acuan), seleksi acuan, ekstraksi (penilaian kualitas baik secara kualitas maupun perbandingan), dan eksekusi permasalahan (baik secara kualitatif maupun perbandingan, dan penulisan kajian) tentang propulsi nuklir untuk kapal laut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut Menteri Kelautan dan Perikanan (KKP), Susi Pujiastuti, potensi kerugian negara akibat pencurian ikan mencapai Rp. 300 triliun per tahun (Estu S., 2015). Sumber daya perikanan laut yang

melimpah tidak mampu dimanfaatkan secara maksimal oleh masyarakat Indonesia yang disebabkan berbagai faktor, seperti kurangnya perhatian dari para pemangku kepentingan dengan berbagai alasan klasik. Untuk mengamankan teritorial laut yang sangat luas ini dibutuhkan infrastruktur yang sangat besar pula, seperti sumber daya manusia yang mumpuni, jumlah kapal patroli yang banyak dan daya jelajah yang cukup mumpuni, serta sistem logistik yang bagus. Faktor-faktor ini sangat mempengaruhi berhasil tidaknya sistem keamanan laut Nusantara.

IMO mempunyai resolusi untuk mengurangi pengaruh efek rumah kaca dalam dunia pelayaran sebesar 20-30% sampai tahun 2030. Oleh karena itu, IMO melakukan berbagai studi untuk mencapai resolusi ini, salah satunya adalah mengimplementasikan nuklir sebagai bahan bakar penggerak kapal. Menurut Vergara, *et al.*, 2012, konsumsi bahan bakar minyak untuk kapal akan mencapai hampir 2.000 EJ pada tahun 2020 dan akan mengakibatkan kenaikan emisi CO₂ menjadi 37 Gton atau naik 12 Gton dari tahun 2008.



Gambar 4. Komsumsi dan emisi dari bahan bakar minyak pada kapal laut (Vergara, *et al.*, 2012)

Kontribusi pengurangan emisi global sekitar 44 giga ton CO₂ atau 3% dari emisi global pada tahun 2050 berasal dari kapal laut agar dapat menurunkan suhu bumi kira-kira 2^o C dari suhu global saat ini (Vergara J. *et al.*, 2012, Walsh C., 2017). Menurut IMO, kontribusi emisi karbon dioksida (CO₂) terhadap pemanasan global dari kapal yang dioperasikan di seluruh dunia sebesar 2,7 hingga 3,3% dari total emisi global. Menurut Prof. John Carlton dari Marine Engineering Universitas London, kontainer dengan bobot 12500 TEU dengan laju 25 knots yang berlayar dari pelabuhan Rotterdam menuju palabuhan di pantai timur Amerika Serikat (sejauh 3500 mil laut) membutuhkan bahan bakar minyak sebanyak 1550 ton setara dengan 2,2 kg uranium dengan pengayaan 3,5% (2,2 kg uranium diperkaya setara dengan 1550 ton minyak). Bahan bakar dengan pengayaan 2,5% hingga 5% dapat dioperasikan selama 5 hingga 7 tahun dengan kata lain pergantian bahan bakar dilakukan setelah beroperasi 5 hingga 7 tahun tergantung tingkat pengkayaan bahan bakar yang digunakan.

Beberapa kawasan laut di Eropa, seperti di kawasan laut Baltik, laut bagian Utara, dan kanal Inggris telah menerapkan area kendali emisi (Emission Control Area, ECA) pada tahun 2006 dan area kendali emisi SO_x (SO_x Emission Control Areas,

SECAs) pada tahun 2007 terhadap kapal laut yang melintasi kawasan tersebut (McGill R. *et al.*, 2013). Penerapan kendali emisi ini akan berdampak pada peningkatan biaya operasional kapal laut karena harus merubah spesifikasi mesin dan/atau bahan bakar yang umum digunakan selama ini. Kapal laut yang menggunakan bahan bakar solar dengan emisi tinggi harus diganti dengan bahan bakar yang sesuai dengan standar, seperti bahan bakar gas, dan bahan bakar ramah lingkungan yang lainnya.

Sesuai dengan kesepakatan Konferensi Perubahan Iklim PBB Tahun 2007 yang diselenggarakan United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) di Bali, Indonesia turut serta berkontribusi untuk mengurangi pemanasan global yang diakibatkan oleh emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, Indonesia juga perlu mempertimbangkan penerapan area kendali emisi ini secara bijaksana.

Salah satu kapal laut yang ramah lingkungan dan minim efek rumah kaca adalah kapal laut berpropulsi nuklir. Implementasi kapal laut berpropulsi nuklir telah lama dan banyak digunakan (700 unit kapal laut) khususnya digunakan untuk keperluan militer. Kapal laut berpropulsi nuklir telah terbukti keandalannya.

Perkembangan implementasi energi nuklir untuk kapal laut berpropulsi nuklir khusus kepentingan sipil banyak mengalami rintangan karena berbagai faktor, seperti isu politik, ekonomi, asuransi kapal, keselamatan, keamanan nuklir, seifgard dan dekomisioningnya. Keandalan dan keselamatan operasional kapal berpropulsi nuklir telah teruji, baik yang digunakan untuk kapal militer maupun untuk kapal sipil (niaga). Sampai saat ini, belum ada laporan tentang kecelakaan parah terjadi pada kapal berpropulsi nuklir.

Secara teknologi dan kemampuan operasional yang telah dilalui selama ini membuktikan bahwa energi nuklir sangat bermanfaat untuk mensuplai energi baik untuk energi listrik maupun untuk propulsi kapal laut. Untuk meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap implementasi energi nuklir untuk maksud damai, maka faktor keselamatan, keamanan, seifgard dan keandalan operasionalnya perlu ditingkatkan. Regulasi dan standarisasi tinggi baik secara nasional maupun internasional harus diterapkan. Reaktor nuklir mengimplementasikan sistem pertahanan berlapis (*defence in depth*), sistem proteksi fisik dan sistem seifgard (Lumbanraja S.M. *et al.*, 2016). Struktur kapal berpropulsi nuklir juga harus mampu untuk menahan tabrakan dari kapal lain, khususnya di bagian yang berdekatan dengan ruang reaktor nuklirnya (Akita, *et al.*, 1971).

Selain dari aspek keselamatan, keamanan dan seifgard, dari kapal juga perlu dipertimbangkan aspek aspek komersialnya. Oleh karena itu, propulsi kapal perlu mempertimbangan jenis teknologi nuklir yang paling tepat diimplementasikan dari berbagai jenis teknologi nuklir yang tersedia. Aspek berat dan volume ruang merupakan aspek yang sangat dipertimbangkan pada teknologi kapal laut, khususnya untuk kapal niaga. Semakin ringan beban kosong dan semakin luas ruang yang tersedia untuk keperluan komersial akan berdampak pada tingkat keekonomian kapal tersebut.

Reaktor maju berdaya kecil dan modular merupakan reaktor masa depan yang sesuai untuk kapal

laut. PWR merupakan teknologi yang sesuai untuk kapal niaga karena volume ruang dan beratnya lebih kecil daripada jenis reaktor lainnya dengan daya yang sama. Reaktor maju mempunyai sistem keselamatan inheren dan sistem keselamatan pasif yang dapat meminimalisir dampak radiasi nuklir jika terjadi kecelakaan. Tabel 3 menunjukkan beberapa teknologi reaktor maju yang ditawarkan untuk propulsi kapal niaga.

Tabel 3. Desain Teknologi Nuklir Daya Kecil Modular (Royal Academy Engineering, 2013).

Tipe	Produsen	Daya (MWe)
KLT-40	OKBM Rusia	35
VBER-150	OKMB-Rusia	110
SMART	Kaeri-Korsel	100
MRX	Jaeri-Jepang	30
mPower	B-W-Amerika	125
NuScale	NuScale Power-Amerika	45

Phobia masyarakat juga menjadi isu utama yang diperankan para politisi dan lembaga masyarakat anti nuklir untuk merintangi pemanfaatan energi nuklir untuk kesejahteraan masyarakat.

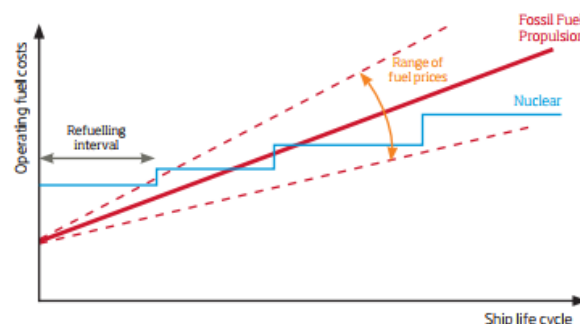
Internasional Maritim Organisation (IMO) merupakan organisasi kemaritiman yang bernaung di badan Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB). Organisasi ini telah mengadopsi regulasi keselamatan nuklir yang tertuang pada Resolution A.491(XII) tahun 1981 untuk kapal laut meskipun belum pernah diimplementasikan tapi tetap masih berlaku (Royal Academy Engineering, 2013). Demikian juga dengan Lloyd's Register baru merevisi regulasi (*provisional rules*) untuk kapal dagang berpropulsi nuklir. Pada regulasi yang diterbitkan oleh IAEA tidak secara spesifik mengatur implementasi energi nuklir untuk bidang-bidang tertentu saja tetapi regulasi yang berlaku secara umum. Regulasi ini diadopsi oleh IMO yang disesuaikan dengan kondisi kemaritiman setiap negara. Menurut legiaslasi Indonesia yaitu melalui Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perijinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir menyatakan bahwa tapak instalasi nuklir berada di darat. Oleh karena itu, operasional kapal berpropulsi nuklir belum secara spesifik diatur di Indonesia. Setiap negara mempunyai aturan sendiri terhadap operasional kapal laut berpropulsi nuklir sehingga sangat berpotensi tidak diperkenankan beroperasi di kawasan laut Negara tersebut. Pelayaran kapal ini harus mendapat izin khusus ketika akan melalui perairan negara yang dilayarnya.

Perusahaan pelayaran umumnya dapat menyewakan atau menjual kapal mereka ke pemilik lain jika diperlukan perusahaan tersebut tanpa ada kendala. Sedangkan untuk kapal berbahan bakar nuklir tidak mudah untuk disewakan atau dijual ke pemilik lain karena adanya peraturan yang sangat ketat tentang kepemilikan bahan nuklir. Hal ini dilakukan untuk mencegah penyalahgunaan oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab, seperti kelompok teroris.

Menurut *Convention on Liability of Operators of Nuclear Ships* pada Konferensi Hukum Laut tahun 1962 di Brussels menyatakan bahwa total liabilitas per orang untuk kecelakaan nuklir dibatasi kira-kira US\$

100 juta (Kalmanson A.G., 1975). Energi nuklir telah dikenal sebagai sumber energi alternatif yang paling berkelanjutan untuk perkapalan, kemudian gas alam cair (LNG) dan energi angin (Ren J., 2017).

Kapal berbahan bakar nuklir akan lebih ekonomis jika kapal beroperasi dalam jangka waktu yang lama karena bahan bakar nuklir tetap akan terpakai walaupun kapal berhenti total. Sedangkan kapal berbahan bakar minyak akan tidak terpakai jika kapal tidak beroperasi. Kapal berbahan bakar nuklir sangat cocok sebagai kapal kargo atau penjaga pantai dengan waktu berlayar yang cukup panjang, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Analisis biaya bahan bakar nuklir dan minyak (Royal Academy Engineering, 2013).

Tabel 4. Keuntungan dan kerugian Diesel dan Nuklir

Jenis bahan bakar	Keuntungan	Kerugian
Diesel	- teknologi lebih mudah dipahami - SDM cukup tersedia untuk semua tingkatan - maintenance tersedia di banyak negara - penerimaan masyarakat tinggi	- emisi gas rumah kaca tinggi - biaya bahan bakar tinggi
Nuklir	- emisi gas rumah kaca hampir nol - biaya bahan bakar rendah - kecepatan kapal tinggi	- penerimaan masyarakat rendah - SDM terbatas untuk bidang nuklir - regulasi membatasi - maintenance terbatas

Garis pantai dan luas wilayah laut Indonesia yang sangat besar merupakan salah satu kendala untuk mengawasi dan/atau memanfaatkannya secara maksimal selama ini karena teknologi kapal yang kita gunakan adalah kapal berbahan bakar minyak dengan daya jelajah terbatas. Oleh karena itu, kapal berpropulsi nuklir merupakan salah satu solusi alternatif ideal bagi negara Indonesia untuk meningkatkan kedaulatan wilayah Nusantara dari oknum-oknum yang tidak bertanggung jawab. Perompakan kapal niaga yang sering terjadi di dunia pelayaran, khusus di wilayah laut jazirah Arab dan Selat Malaka akan menimbulkan kekuatiran masyarakat terhadap keamanan kapal jenis

ini. Persoalan utama adalah jika kapal ini dirompak oleh oknum yang tidak bertanggung jawab (kelompok teroris) akan menjadi sangat berbahaya karena dapat disalahgunakan untuk tujuan-tujuan jahat. Keamanan jalur pelayaran merupakan salah satu unsur utama yang perlu dikaji dan dievaluasi sebelum kita mengoperasikan kapal berpropulsi nuklir.

KESIMPULAN

Kapal laut berpropulsi nuklir layak untuk pelayaran jarak jauh dan waktu lama (lebih dari 5 tahun tanpa mengisi bahan bakar) tergantung tingkat pengayaannya, serta dapat mengurangi efek rumah kaca, tetapi jalur pelayaran antar negara masih sangat terbatas karena sangat tergantung pada kesepakatan antar negara yang akan dilalui kapal berpropulsi nuklir ini. Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perijinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir belum mengatur tentang operasi kapal berpropulsi nuklir beroperasi di Indonesia. Kapal berbahan bakar nuklir akan lebih ekonomis jika dioperasikan dengan jangka waktu yang lama karena bahan bakar nuklir akan tetap terbakar walaupun kapal dalam keadaan berhenti total. Kondisi geografis laut Indonesia yang sangat luas membutuhkan kapal laut dengan jarak jelajah besar sehingga kapal berpropulsi nuklir layak dipertimbangkan sebagai salah satu solusi alternatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada Dr. Suparman dan tim editor komisi pembina tenaga fungsional (KPTF) PKSEN-BATAN yang telah memberikan saran-saran perbaikan pada makalah ini.

REFERENSI

- Akita Y. et.al., 1972, Studies on Collision-Protective Structures in Nuclear Powered Ships, Nuclear Engineering and Design 19, pp. 365-401
- Ando Y., 1969, Safety Evaluation of the First Nuclear Ship In Japan, Nuclear Engineering and Design 10, pp. 243-249
- Carlton, J.S., et.al., 2011, The nuclear propulsion of merchant ships: Aspects of engineering, science and technology, Journal of Marine Engineering and Technology Volume 10(2)
- Edwards, J. 1977, Report on the OECD Nuclear Energy Agency/ International Atomic Energy Agency Symposium On The Safety Of Nuclear Ships, Hamburg, 5-9 December 1977, Annals Nuclear Energy. Vol. 6, pp. 25 to 58.
- Freire L.O., Andrade D. A. d, 2014, On applicability of plate and shell heat exchangers for steamgeneration in naval PWR, Nuclear Engineering and Design 280, pp. 619-627
- Freire L.O., Andrade D. A. d, 2015, Historic survey on nuclear merchant ships, Nuclear Engineering and Design 293, pp.176-186
- Garcia R.F., et.al, 2012, Efficiency enhancement of GT-MHRs applied on ship propulsion plants, Nuclear Engineering and Design 250, pp. 326- 333
- Gary Forda, Chris McMahon, Chris Rowley, 2013, Naval Surface Ship In-Service Information Exploitation, Procedia CIRP 11, pp. 92 - 98

- Hirdaris, S.E., et.al., 2014, Considerations on the potential use of Nuclear Small Modular Reactor (SMR) technology for merchant marine propulsion, Ocean Engineering 79, pp. 101-130
- Kalmanson A.G., 1975, Nuclear-powered merchant ships: some legal and regulatory considerations, Annual Meeting, New York, N. Y., November 13-15, 1975, The Society of Naval Architects and Marine Engineers
- Khlopin, N.S., Zotov, A.P., 1997, Merchant marine nuclear-powered vessels, Nuclear Engineering and Design 173, pp. 201-205
- Kusunoki, T., et.al., 2000, Design of advanced integral-type marine reactor, MRX, Nuclear Engineering and Design 201 pp. 155-175
- Lumbanraja S.M, Dharu Dewi, 2017, Kajian Pra Kelayakan PLTN SMART Lepas Pantai Jenis Struktur Berbasis Gravitasi Untuk Indonesia, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Vol.19, No.1, pp. 33-41
- Mitenkov F.M., Polunichiev V.I., 1997, Small nuclear heat and power co-generation stations and water desalination complexes on the basis of marine reactor plants, Nuclear Engineering and Design 173, pp. 183-191
- Nuttall Petera, Newell Alisona , Prasad Bimanb , Veitayaki Joelc , 2014, Holland Elisabeth, A review of sustainable sea-transport for Oceania: Providing context for renewable energy shipping for the Pacific, Marine Policy 43, pp. 283-287
- Oi H. and Tanigaki K., 1969, The Ship Design of the First Nuclear Ship in Japan, Nuclear Engineering and Design 10, pp. 211-219
- Pameroy R.V., 1985, The Role of Reliability in Marine Classification, Reliability Engineering 11, pp. 67-81
- Ren J., Lützen M., 2017, Selection of sustainable alternative energy source for shipping: Multicriteria decision making under incomplete information, Renewable and Sustainable Energy Reviews 74, pp. 1003-1019
- Sandro Mendonca, 2013, The "sailing Ship effect": Reassessing history as a source of insight on technical change, Research Policy 42, pp. 1724-1738
- Sasaki S., 1969, GENERAL Description of the First Nuclear Ship "Mutsu", Nuclear Engineering And Design 10 pp. 123- 125
- Sasaki S., 2012, General Description of the First Nuclear Ship "MUTSU", Energy Policy 49, pp. 333-345
- Sato K. and Egusa T., 1969, REACTOR PLANT DESIGN OF THE FIRST NUCLEAR SHIP IN JAPAN, NUCLEAR ENGINEERING AND DESIGN 10, pp. 187-210
- Schøyen H., Steger-Jensen K., 2017, Nuclear propulsion in ocean merchant shipping: The role of historical experiments to gain insight into possible future applications, Journal of Cleaner Production xxx, pp.1-9
- Talluri, L., Nalianda, D.K., Kyprianidis, K.G., Nikolaidis, T., Pilidis, P., 2016, Techno Economic and Environmental Assessment of Wind Assisted Marine Propulsion Systems, Ocean Engineering 121, pp. 301-311

- Vergara J., et.al., 2012, Sustainable Energy for The Marine Sector, Energy Policy 49, pp.333-345
- Vujic J., et.al, 2012, Small modular reactors: Simpler, safer, cheaper?, Energy 45, pp. 288-295
- Walsh C., et.al., 2017, Charting a Low Carbon Future for Shipping: A UK perspective, Marine Policy 82, pp.32-40.
- Royal Academy of Engineering, July 2013, Future Ship Powering Options, Exploring Alternative Methods of Ship Propulsion, Prince Philip House 3 Carlton House Terrace London SW1Y 5DG, ISBN: 978-1-909327-01-6
- BAPETEN, Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, Jakarta 2014
- BIG, 2016,Pentingnya Informasi Geospasial untuk Menata Laut Indonesia,
- Donnelly W.H., 1965, NUCLEAR POWER and MERCHANT SHIPPING,
<http://www.osti.gov/includes/opennet/includes/Understanding%20the%20Atom/Nuclear%20Power%20and%20Merchant%20Shipping.pdf>
- Estu Suryowati, 2015, Menteri Susi: Kerugian Akibat "Illegal Fishing" Capai Rp 3.000 Triliun,
<http://ekonomi.kompas.com/read/2015/06/23/123334126/Menteri.Susi.Kerugian.Akibat.Illegal.Fishing.Capai.Rp.3.000.Triliun>
- Haas B.S., 2014, Strategies for the Success of Nuclear Powered Commercial Shipping,
https://atomicinsights.com/wp-content/uploads/CMA-Nuclear-Paper_Benjamin-Haas-3.pdf
<http://www.bakosurtanal.go.id/berita-surta/show/pentingnya-informasi-geospasial-untuk-menata-laut-indonesia>
- Jhi Yong Loke, WILL THERE BE A DAY WHERE SHIPS ARE POWERED BY NUCLEAR SOURCES?
http://scripts.cac.psu.edu/users/j/z/jzl5827/future_of_nuclear_ships.html
- McGill R. et.al., 2013, Alternative Fuels for Marine Applications, A Report from the IEA Advanced Motor Fuels Implementing Agreement, www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_41.pdf
- Media Indonesia, 2016, BIG Manfaatkan Pesawat Nirawak Lapan untuk Ukur Garis Pantai,
<http://mediaindonesia.com/news/read/44307/big-manfaatkan-pesawat-nirawak-lapan-untuk-ukur-garis-pantai/2016-05-08>
- OECD/ITF, 2016, Reducing Sulphur Emissions from ShipThe Impact of International Regulation, www.ift-oecd.org
- Peter Lobner, 2012, 60 Years of Marine Nuclear Power: 1955 – 2015, <http://www.lynceans.org/wp-content/uploads/2015/12/USA-60-yrs-of-marine-nuc-power-v2.pdf>
- Ragheb M., 2010, Nuclear Marine Propulsion,
<http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/F2010/E2/P2/Materials4Students/Misiaszek/NuclearMarinePropulsion.pdf>
- UNO, 1982, United Nations Convention On The Law Of The Sea Of 10 December 1982,
http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/convention_overview_convention.htm
- WNA, 2017, Nuclear-Powered Ships,
<http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships.aspx>