



Spesifikasi, Kode dan Standar Baja Nasional dan Potensinya untuk Mendukung Program PLTN Tipe LWR di Indonesia

Dharu Dewi*, Sriyana

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, BATAN, Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima:

30 Agustus 2018

Diterima dalam bentuk revisi:

25 Januari 2019

Disetujui:

11 Februari 2019

Kata kunci:

Spesifikasi

Kode

Standar

Baja

Industri

ABSTRAK

SPESIFIKASI, KODE DAN STANDAR BAJA NASIONAL DAN POTENSINYA UNTUK MENDUKUNG PROGRAM PLTN TIPE LWR DI INDONESIA. Spesifikasi, kode dan standar baja nasional sangat penting diidentifikasi agar dapat dicocokkan atau dibandingkan dengan spesifikasi, kode dan standar internasional untuk komponen PLTN sehingga industri baja diharapkan dapat berpartisipasi dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Spesifikasi kode dan standar baja mengacu pada ASTM, ASME, AISC dan lain - lain. Tujuan studi ini adalah mengidentifikasi spesifikasi, kode dan standar baja yang dimiliki industri nasional dan kemudian dicocokkan dengan spesifikasi, kode dan standar baja sesuai standar internasional untuk PLTN. Metodologi penelitian adalah kajian literatur, pengiriman kuesioner, survei dan kunjungan teknis ke industri baja. Disimpulkan bahwa baja struktur pada dasarnya memenuhi persyaratan untuk konstruksi PLTN.

ABSTRACT

SPECIFICATION, CODE AND STANDARD OF NATIONAL STEEL AND THE POTENCY TO SUPPORT THE NUCLEAR POWER PROGRAMME OF LWR TYPE IN INDONESIA.

Specification, codes and standards are important to identify in order to be matched or compared to international specifications, codes and standards for NPP components so that the steel industry is expected to participate in the construction of Nuclear Power Plants (NPPs). The specifications, code and standards of steel refer to ASTM, ASME, AISC and others. The purpose of this study is to identify specifications, codes and steel standards owned by national industries and then compared it to international standards for nuclear power plants. The research methodology is literature review, questionnaire submission, surveys and technical visits to the steel industry. It was concluded that the structural steel basically meets the requirements for NPP construction.

Keywords: specification, code, standard, steel, industry

© 2018 Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan salah satu opsi sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. PLTN sebagai sumber energi yang bersih dan kompetitif saat ini telah banyak digunakan di beberapa negara di dunia. Pada prinsipnya, pemilihan pemanfaatan PLTN tergantung pada kebutuhan dan kebijakan masing-masing negara. Pemanfaatan PLTN tersebut berdasarkan atas kajian studi kelayakan teknologi dan keselamatannya. Potensi kegagalan sistem, struktur dan komponen dapat menyebabkan kontaminasi terhadap lingkungan dalam reaktor yang tertutup maupun ke lingkungan luar. Kode dan standar memainkan peranan utama pada kegiatan ini dan merupakan penjaminan

pendekatan teknik dan mutu yang konsisten selama fase desain dan konstruksi PLTN [1].

Pengembangan sistem PLTN yang inovatif memerlukan penelitian yang inovatif untuk mengidentifikasi dan mencari material yang mampu bertahan pada kondisi temperatur dan fluks neutron tinggi, lingkungan yang korosif, dan waktu hidup (*life time*) yang lebih panjang [2]. AP1000 merupakan salah satu unit pembangkit yang populer diantara jenis pembangkit PLTN Generasi III+. Sistem AP1000 mempunyai 5 bagian utama yakni bangunan bagian nuklir, bangunan turbin, bangunan pendukung (*annex*), bangunan diesel generator dan bangunan limbah nuklir [3]. Desain AP1000 khususnya kontainmen memberikan persyaratan unjuk kerja pengelasan tingkat tinggi, ketangguhan kekuatan tarik yang tinggi dan temperatur yang lebih rendah [4].

*Penulis korespondensi.

E-mail: dharu_dewi@batan.go.id

Baja merupakan salah satu material struktur yang dapat memenuhi persyaratan tersebut di atas. Penggunaan baja sangat penting untuk pembuatan komponen PLTN dan pekerjaan sipil. Baja banyak digunakan pada industri nuklir sebagai material inti *Pressurizer Water Reactor* (PWR) pada saat ini dan mendatang. Sekitar 300 jenis baja masih dipertimbangkan sebagai material potensial untuk PLTN generasi mendatang, karena memiliki harga yang kompetitif, kemudahan fabrikasi, sifat mekanik yang baik, ketangguhan patah (*fracture toughness*) yang baik, dan laju absorpsi neutron yang rendah [5].

Penggunaan baja untuk konstruksi menunjukkan peningkatan karena memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Selain itu juga memiliki kekuatan, sifat ketangguhan dan kegetasan yang cukup baik sehingga hanya memerlukan perawatan yang rendah [6,7].

Untuk meningkatkan kemampuan dan partisipasi industri nasional dalam mendukung pembangunan PLTN di Indonesia, maka perlu diidentifikasi industri baja nasional yang memiliki potensi dan kemampuan untuk ikut berpartisipasi. Kemampuan industri baja ini tergantung pada spesifikasi, kode dan standar industri yang dimiliki oleh industri nasional dan kemudian dibandingkan dengan spesifikasi, kode dan standar internasional yang digunakan dalam konstruksi PLTN. Makalah ini merupakan tindak lanjut dan kelanjutan dari makalah sebelumnya yang berjudul "Rantai Pasok Industri Baja untuk Pembangunan PLTN di Indonesia" [8].

Tujuan studi ini adalah mengidentifikasi spesifikasi, kode dan standar baja yang dimiliki industri nasional dan kemudian dicocokkan dengan spesifikasi, kode dan standar baja sesuai standar internasional untuk PLTN. Pembahasan pada makalah ini dibatasi pada kajian spesifikasi, kode dan standar PLTN tipe LWR khususnya desain AP1000 dan identifikasi industri yang memproduksi baja struktur dan pelat baja untuk konstruksi PLTN di Indonesia.

2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada studi ini adalah :

- Melakukan penelaahan pustaka terkait dengan spesifikasi, kode dan standar baja

pada industri nasional dan spesifikasi, kode dan standar internasional PLTN;

- Mengirimkan kuesioner ke industri baja. Isi kuesioner mencakup nama industri, kemampuan industri, pengalaman dalam terlibat pembangunan pembangkit listrik, daftar Sistem Manajemen Mutu, rantai pasokan industri, dan daftar nama perusahaan partner dalam penyediaan bahan baku/barang setengah jadi/barang jadi [8]. Pengiriman kuesioner dilakukan ke industri baja yang dianggap memiliki potensi untuk berpartisipasi dalam pembangunan PLTN di Indonesia yakni: 1) PT. Krakatau Steel, 2) PT. Gunung Steel Group (PT. Gunung Garuda dan PT. Gunung Raja Paksi), 3) PT. Cilegon Fabricators, 4) PT. Ometraco Arya Samantha, 5) PT. Amarta Karya, 6) PT. Arkon Prima Indonesia, 7) PT. Gunawan Dian Jaya Steel, 8) PT. Master Steel dan 9) PT. Cakra Steel [8].
- Melakukan kajian literatur/pustaka melalui penelusuran internet yakni industri PT. Krakatau Posco dan PT. Jaya Pari Steel.
- Melakukan survei atau kunjungan teknis dengan cara metode *purposive sampling test* ke beberapa industri besar baja terpilih. Industri yang dikunjungi tersebut adalah PT. Krakatau Steel, PT. Gunung Steel Group (PT. Gunung Garuda dan PT. Gunung Raja Paksi), PT. Cilegon Fabricators, PT. Gunawan Dian Jaya Steel, dan PT. Krakatau Wajatama.
- Melakukan analisis kualitatif dengan cara pencocokan spesifikasi, kode dan standar baja nasional dari masing-masing industri nasional terpilih dan dibandingkan terhadap spesifikasi, kode dan standar baja sesuai dengan mutu standar internasional PLTN.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi, kode dan standar pada dasarnya memiliki pemahaman yang hampir sama. Kode didefinisikan sebagai standar yang telah diadopsi oleh satu atau lebih badan pemerintah yang ditegakkan atau memiliki kekuatan hukum. Kode diperlukan untuk memberikan sejumlah aturan yang menspesifikasikan tingkat penerimaan minimum dari keselamatan dan mutu untuk barang yang dimanufaktur, difabrikasi atau

dikonstruksikan. Contoh kode adalah ASME *Boiler and Pressure Vessel Codes*, DIN, BS dan lain-lain. Sedangkan standar adalah definisi teknis atau panduan teknis yang bagaimana memberikan instruksi untuk desainer/manufaktur dan operator/pengguna peralatan. Standar merupakan persyaratan penting untuk produk, layanan dan operasi. Standar diperlukan untuk menunjukkan mutu dan kriteria keselamatan untuk produk. Contoh standar adalah ASTM, ISO, API. Spesifikasi menunjukkan persyaratan khusus/tambahan untuk material, komponen dan jasa yang memiliki persyaratan lebih rinci dari kode atau standar. Spesifikasi dihasilkan oleh perusahaan untuk memberikan persyaratan tambahan terhadap produk yang khusus. Contoh spesifikasi adalah pipa A 106 Gr B dengan karbon maksimum 0,23% terhadap persyaratan standar 0,3%[9]. Spesifikasi kadang disebut sebagai standar teknis[10].

PLTN terdiri dari ribuan komponen yang dapat di “breakdown” berdasarkan 3 bagian yakni bagian nuklir (*nuclear islands*), bagian turbin (*turbine islands*) dan bagian *Balance of Plant* (BOP). Komponen PLTN baik komponen nuklir dan non nuklir, membutuhkan banyak material baja. Jumlah material baja yang digunakan untuk konstruksi sebuah PLTN GEN III+ dengan kapasitas 1000 MWe membutuhkan baja tulangan (*Reinforced Steel*) sekitar 46.000 ton dan *Structural Steel, Miscellaneous Steel* dan *Decking* sekitar 25.000 ton [8, 11, 12].

Setiap negara pengguna PLTN mengacu pada standar yang diterbitkan oleh IAEA, disamping itu dapat mengacu pada spesifikasi, kode dan standar yang berlaku di negara vendor. Ada beberapa spesifikasi, kode dan standar PLTN, yakni yang digunakan di Amerika, Perancis, Rusia, Jepang, dan lain-lain. Secara umum spesifikasi, kode dan standar PLTN antara lain *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, *ASTM International (ASTM)*, *American Institute of Steel Construction (AISC)*, *American Iron and Steel Institute (AISI)*, *American Society of Civil Engineers (ASCE)*, *American Welding Society (AWS)*. Contoh spesifikasi, kode dan standar material baja PLTN AP1000 yang digunakan oleh Amerika ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa AP1000 membutuhkan baja tulangan (*reinforcing steel*) dengan spesifikasi, kode dan standar mengacu

pada ASTM A615 Grade 60. Sedangkan baja struktur (*Structural Steel*) menggunakan spesifikasi, kode dan standar ASTM A572 Grade 50. Penggunaan baja umum di fasilitas pendukung PLTN atau di luar bagian nuklir menggunakan ASTM A36. Untuk baut baja (*Steel Bolts*) menggunakan ASTM A490 atau ASTM A 325.

Tabel 1. Spesifikasi, kode dan standar material baja PLTN AP1000 [13]

Material baja	Spesifikasi, kode dan standar
<i>Reinforcing Steel</i>	<i>ASTM A615 Grade 60</i>
<i>Tie Bars</i>	<i>Shield Building - ASTM A496 (1)</i>
<i>Structural Steel</i>	<i>ASTM A572 Grade 50</i> Aplikasi umum menggunakan ASTM A36 <i>CA Modules -</i> <i>Wall plates - ASTM A572 Grade 60</i> <i>Steam cavities - ASTM 588</i> <i>ASTM A36 (umum)</i>
<i>Stainless Steel</i>	<i>Type 304-L to ASTM A240</i>
<i>Steel Bolts</i>	<i>High Strength ASTM A490 or A325</i> <i>ASTM A307 for minor structures, e.g. stairs, ladders, purlins</i>
<i>Anchor Bolts</i>	<i>ASTM F1554 36 ksi normal , 105 ksi</i> bilamana kekuatan yang lebih tinggi diperlukan.
<i>Durbar Plate</i>	<i>ASTM A786 “rolled steel floor plates”</i>

Bejana tekan reaktor untuk *Light Water Reactor (LWR)* biasanya menggunakan material baja feritik paduan rendah (*low alloy Ferritic Steels*) seperti A533 grade B dan baja A508 class 2 [14]. Baja A508 berbeda namanya pada tiap – tiap negara. Untuk Jerman 20MnMoNi55, Perancis 16MND5, Jepang SFV3 dan Cina A508-3. Terkait dengan baja A 508-3 untuk proses fabrikasi dan komposisi kimia bisa sedikit berbeda setiap negara [15]. Baja A 508 -3 diperkenalkan sebagai material struktur untuk bejana tekan reaktor nuklir Cina [16]. Baja ASME SA 508-3 digunakan sebagai dinding bejana tekan reaktor dan Generator Uap dan menjadi fokus utama bagi peneliti di Korea karena memiliki ketangguhan yang baik [17]. Bejana tekan reaktor PLTN Kashiwazaki Kariwa No. 6 dan 7 merupakan bejana tekan BWR terbesar di Jepang, dengan diameter 7 m dan berat sekitar 900 ton. Bagian bawah bejana tekan reaktor dibuat oleh *The Japan Steel Works Ltd (JWS)* yang dibuat dari ingot terbesar didunia yaitu 600 ton[18]. Pada sistem AP1000 Milik Westinghouse, Baja SA 508 Grade 3 Clausul 2 diadopsi di Korea yang merupakan PLTN maju 1500 MWe, juga

dipertimbangkan sebagai material generator uap karena kekuatannya yang lebih tinggi. Bagaimanapun baja SA508 Grade 3 Clausul 2 memiliki kekerasan (*toughness*) yang lebih rendah dari pada SA 508 Grade 3 Clausul 1 tetapi menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi [19]. Pada PLTN jenis PWR baja paduan rendah dan baja stainless digunakan secara luas pada sistem primer karena sifat-sifat mekanikal yang baik.

Tabel 2 menunjukkan kode dan standar bejana kontainmen, baja struktur dan beton struktur pada area Desain PLTN jenis AP1000[13]. Untuk penggunaan bejana kontainmen digunakan baja dengan kode dan standar ASME, *Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 1, Subsection NE*. Desain baja struktur menggunakan kode dan standar AISC, sedangkan kode dan standar beton struktur yang mengandung komposisi baja struktur menggunakan kode dan standar

ACI. Untuk penggunaan baja struktur terkait dengan desain kegunaan pekerjaan sipil menggunakan kode dan standar ASCE. Tabel 3 menunjukkan beberapa contoh spesifikasi, kode, dan standar yang digunakan oleh Amerika untuk fasilitas nuklir [20]. Dari Tabel 3 terlihat bahwa spesifikasi, kode dan standar untuk persyaratan pelat baja Bejana Tekan untuk fasilitas nuklir menggunakan ASTM A20/A20M-09, A515/A515M-03(2007) dan A516/A516M-06. Sedangkan pada Tabel 4 menunjukkan spesifikasi, kode dan standar baja industri nasional Indonesia. Dari tabel tersebut memperlihatkan bahwa bejana tekan hasil produk PT. Gunung Raja Paksi dan PT. Krakatau Posco telah menggunakan standar ASTM A515 dan A516. Namun demikian kemampuan bejana tekan yang diproduksi masih belum memenuhi persyaratan untuk pembuatan komponen PLTN yang memiliki kapasitas daya 1000 MWe.

Tabel 2. Spesifikasi, Kode dan Standar yang digunakan dalam Area Desain AP1000 [13]

Area Desain	Spesifikasi, kode dan standar yang digunakan dalam desain AP1000
<i>Steel Containment Vessel</i>	<i>American Society of Mechanical Engineers, Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 1, Subsection NE, Metal Containment, 2001 plus 2002 Addenda</i>
<i>Building code</i>	<i>International Conference of Building Officials, 1997 Uniform Building Code, 1997</i>
<i>Loading code</i>	<i>ASCE Standard 7-98, Minimum Design Loads for Buildings and other Structures, American Society of Civil Engineers, 1998</i>
<i>Seismic analysis for C-I and C-II</i>	<i>ASCE Standard 4-98, Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary, American Society of Civil Engineers, 1998</i>
<i>Seismic analysis for NNS</i>	<i>Uniform Building Code 1997</i>
<i>Equipment qualification</i>	<i>IEEE Standard 344-1987, IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class I E Equipment for Nuclear Power Generation Stations, IEEE, 1987</i>
<i>Structural concrete design</i>	<i>ACI 349-01, Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures, American Concrete Institute, 2001</i> <i>ACI 318-99, Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, 1999</i> <i>ACI 301-05 Specification for Structural Concrete for Buildings 2005</i> <i>ACI Detailing Manual - 1994, American Concrete Institute SP-66, 1994</i>
<i>Structural steel design</i>	<i>AISC N690-1994, Specification for the Design, Fabrication and Erection of Steel Safety-Related Structures for Nuclear Facilities, American Institute of Steel Construction, 1994</i> <i>AISC 341-97, Seismic Provisions for Structural Steel Building Buildings, American Institute of Steel Construction, 1997</i> <i>AISC 341-97 Supplement No. 2, American Institute of Steel Construction, 10 November 2000</i> <i>AISC 1999 LRFD, Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, 1999</i>

Tabel 3. Spesifikasi, Kode dan Standar Amerika untuk Fasilitas Nuklir [13]

Nama	Spesifikasi, kode dan standar	Uraian
ASME	ASME NQA-1,	<i>"Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications," 2008, with 2009 Addenda Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Div. 1, 2013</i>

ASTM	A20/A20M-09	<i>Standard Specification for General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels</i>
	A27/A27M-08	<i>Standard Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application</i>
	A106/A106M-08	<i>Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High- Temperature Service</i>
	A148/A148M-08	<i>Standard Specification for Steel Castings, High Strength, for Structural Purposes</i>
	A167-99(2009)	<i>Standard Specification for Stainless and Heat-Resisting Chromium- Nickel Steel Plate, Sheet, and Strip</i>
	A217/A217M-08	<i>Standard Specification for Steel Castings, Martensitic Stainless and Alloy, for Pressure-Containing Parts, Suitable for High-Temperature Service</i>
	A240/A240M-09	<i>Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications</i>
	A276-08a	<i>Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes</i>
	A312/A312M-09	<i>Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes</i>
	A479/A479M-08	<i>Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes for Use in Boilers and Other Pressure Vessels</i>
	A515/A515M-03(2007)	<i>Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Intermediate- and Higher-Temperature Service</i>
	A516/A516M-06	<i>Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service</i>

Tabel 4. Spesifikasi, Kode dan Standar Baja Industri Nasional di Indonesia

No.	Nama Industri	Produk	Spesifikasi, Kode dan Standar	Ukuran/Dimensi
1	PT. Krakatau Steel [21]	<i>hot rolled coil/plate/sheet, cold rolled coil/sheet, dan wire rod.</i> <i>Carbon Plain Steel dan Micro Alloyed Steel</i>	ISO 14001:2004, OHSAS 18001:2007 SNI 07-0601-2006, SNI ISO 9001:2008, SNI 07-3015-1992, SNI 07-0075- 2006, SNI 07-0377-1989, SNI 07- 3567-2006, SNI 07-0053-2006, SNI 07-3018-2006, SNI 07-0822-1989 Sertifikat Akreditasi Lab Uji Kimia dan Mekanik (LP-964-IDN), Sertifikat Akreditasi Lab Kalibrasi (LK-049 IDN Kalibrasi), Sertifikat Akreditasi Lab Uji Lingkungan (LP-951-IDN) JIS G 3131 dan JIS G 3141 (produk baja), JIS G 3505, JIS G 3503, JIS G 3101, JIS G 3106, dan JIS G 3136, Lloyd's Register, Germanischer Lloyd BKI Grade KI-A s.d. tebal 25 mm, BKI Grade KI-B s.d. tebal 25 mm, Cor-Ten Steel License Agreement, Det Norske Veritas, Nippon Kaiji Kyokai Hankam, Bureau Veritas	- <i>Hot rolled coil</i> tebal: 1,8 mm - 25 mm - Lebar: 600 mm - 2060 mm. - <i>Cold Rolled Coil</i> tebal 0,20 mm - 3 mm.
2	PT. Gunung Garuda [22]	Baja struktur (<i>Angle, Wide Flange dan H-Beam</i>), <i>hot rolled steel section</i>	JIS G 3101 SS 400 (<i>mild Steel</i>), JIS G 3101 SS540 (<i>high strength</i>), JIS G 3106 SM 400 A, JIS G 3106 SM 400 B, JIS G 3106 SM 400 C, JIS G 3106 SM 490 A, JIS G 3106 SM 490 YA, JIS G 3106 SM 490 YB, JIS G 3106 SM 520 B, JIS G , 106 SM 520 C, ASTM A 36, ASTM A 572	-

3.	PT. Gunung Raja Paksi [22,23]	Pelat baja (<i>Mild Steel</i>)	EN 10025-2, EN 10052-3, ASTM A 283, ASME SA 283, AS 3678, ASTM A36, ASME SA 36, ASTM A 131, ASTM 830, TO SAE JIS G 3101, JIS G 3106 API 5L PSL 1, API 5L PSL 2, BS 4360, DIN 17100	- Lebar: 1200 mm – 3050 mm - Panjang: sesuai permohonan (s/d 15 meter)
		<i>High – Strength Low Alloy</i>	AS 3678, ASTM A 572, ASTM A 709, ASME SA 572, BS 4360, API 2H	-
		<i>High Strength</i>	EN 10025-2, EN 10025-3, ASTM A 573 JIS G 3101, JIS G 3106, DIN 17100	-
		<i>High Carbon</i>	API 5L PSL 1, API 5L PSL 2 ASTM 830 , TO SAE	-
		<i>Pressure Vessel (Mild Steel)</i> [24]	EN 10028-2, EN 10028-3, ASTM A 285, ASTM A 515, ASTM A 516, ASME SA 285, ASME SA 414, ASME SA 515, ASME SA 516	-
			EN 10028-2, EN 10028-3 ASTM A 285, ASTM A 515, ASTM A 516	-
		<i>Pressure Vessel (High Steel)</i> [24]	EN 10028-2, EN 10028-3 ASTM A 515, ASTM A 516, ASTM A 537, ASME SA 414, ASME SA 515, ASME SA 516, ASME SA 537	-
		<i>Hot Roll Pickled Oil</i> (HRPO)[24]	ASTM A36, ASTM A572, JIS G 3101, JIS G 3131	- Ketebalan: 1,5 mm – 3 mm - Lebar: 700 mm – 1000 mm
		<i>Cold Roll Coil</i> (CRC)[24]	JIS G 3141 spec IB, JIS G 3141 spec SB, JIS G 3141 spec SD	- Ketebalan: 0,2 mm – 1,5 mm - Lebar: 700 mm – 1000 mm
		<i>Hot Rolled Coil</i> [24]	JIS G 3131, JIS G 3132, JIS G 3101, JIS G 3116, JIS G 3113, ASTM A 283, ASTM A285, ASTM A 36 A.B.S., B.K.I, L.R, ASTM A 572, ASTM A 516, DIN 17100, BS 4360, EN 10025 JIS G 3106, AS 3678	- Ketebalan: 2 mm – 20 mm - Lebar: 900 mm – 1524 mm
		<i>Round Bar/Plain Bar</i>	JIS 3112	- Diameter 9 mm – 90 mm
		<i>Deformed Bar</i>	JIS 3112	- Diameter :10 mm, 13 mm, 16 mm, 19 mm, 22 mm, 25 mm, 29 mm, 32 mm.
		<i>Low Carbon Steel Wire Rods</i>	-	- Diameter: 5,8 mm, 6,4 mm, 7,4 mm, 8,4 mm, 9,4 mm, 10,4 mm, 12 mm.
		<i>Wire Rod (Bar in Coil)</i>	-	- Diameter: 14 mm – 45 mm
		<i>Wire Mesh</i>	-	- Dimensi 540 x 210 cm

		<i>Galvanic Wire (Low Carbon Light Coating)</i>	- JIS G3547 – SWMGS-2	-
		<i>Galvanic Wire (Low Carbon Heavy Coating)</i>	- JIS G3547 – SWMGS-5	-
		<i>Annealing Wire</i>	-	- Diameter 0,8 mm – 5,16 mm
4.	PT. Gunawan Dianjaya Steel [25]	Pelat baja, <i>Low carbon Structural Steel Plates, High Strength Low Alloy Structural Steel Plates, Hull Structural Steel Plates (Mild Steels), High Strength Hull Structural Steel Plates (High Tensile Steels).</i>	ISO 9001:2008 EN ISO 9001:2008 BS EN ISO 9001:2008	- Tebal: 8 – 100 mm, Lebar : 1,219 – 2500 mm - Panjang: 2,438 – 12,192 mm
5.	PT. Krakatau Wajatama [26]	Baja Struktur (<i>Bar Mill</i>), Baja Profil (<i>Section Mill</i>), dan <i>Cold Wire Drawing</i>	ISO 9001:2008, ISO 14.001:2004 SNI Produk baja tulangan, SNI Produk Baja Profil, JIS G 3101 SS 400, JIS G 3101 SS 540, JIS G 3112 ASTM A 615, ASTM A 36	- Diameter deformed bar 10 – 36 mm - Diameter plain bar 3 – 36 mm
6.	PT. Krakatau Posco [27]	<i>Slab, Steel Plate for Shipbuilding, Steel Plate for Infrastructure, Steel Plate for Pipie line, teel Plate for Pressure Vessel, Cast Iron & Pig Iron</i>	ASTM A 36, ASTM A 131, ASTM A, ASTM 285, ASTM A515, ASTM A 516, ASTM A 572 JIS G 3101, JIS G3106, JIS G 3131, JIS G 3132, JIS G 3141, JIS G 3113 <i>A/B/D/E Rolled Steel for Hull (Mild Steel)</i> <i>AH, DH, EH, Rolled Steel for Hull (High/ Higher Strength)</i> EN 10025 (<i>Structural Steel</i>), BjPS (<i>Steel Plates for General Structure</i>) API 5L (<i>Steel Pipe for Pipeline Transportation System</i>)	- Tebal : 230 ± 5 mm - Lebar: 1100 – 2300 ± 20 mm - Panjang: 6000 – 12.000 ± 100 mm
7.	PT. Jaya Pari Steel [28]	- pelat baja canai panas (<i>Hot Rolled Plate</i>) - <i>Strip Plate</i>	ASTM A36, JIS G3101 SS400, EN10025-S235JR, DIN 17100 ST 37,2	- Tebal: 8 –25 mm. - Lebar: 914 – 1524 mm. - Panjang: 1219 – 6096 mm - Tebal: 0,3 – 0,6 mm - Lebar: 762 – 1524 mm - Panjang: 1219 – 6096 mm

Dari hasil survei kunjungan teknis dan kuesioner, PT. Ometraco Arya Samantha dan PT. Cilegon Fabricators tidak memberikan data spesifikasi, kode dan standar secara lengkap sehingga tidak dimasukkan dalam makalah ini. Sedangkan PT. Master Steel, PT. Cakra Steel, PT Amarta Karya, dan PT. Arkon Prima Indonesia tidak memberikan tanggapan terhadap kuesioner.

Penggunaan baja struktur untuk konstruksi PLTN AP1000 adalah menggunakan spesifikasi, kode dan standar ASTM A572. Sedangkan untuk penggunaan baja umum yang

tidak terkait bagian nuklir menggunakan ASTM A36. Berdasarkan dari Tabel 4 di atas, industri nasional yang menggunakan ASTM A572 adalah PT. Gunung Garuda, PT. Gunung Raja Paksi, dan PT. Krakatau Posco. Sedangkan industri yang menggunakan ASTM A36 adalah PT. Gunung Garuda, PT. Gunung Raja Paksi, PT. Krakatau Posco, dan PT. Jaya Pari Steel. Baja tulangan yang digunakan pada AP1000 pada Tabel 1 menggunakan ASTM A615 Grade 60. Hal ini sama seperti yang digunakan PLTN Korea Shinkori unit 3 dan 4 yang menggunakan ASTM A615 Grade 60 [14]. Sedangkan PT.

Gunung Raja Paksi menggunakan spesifikasi, kode dan standar Jepang JIS G 3112 yang sanggup memproduksi rebar dengan diameter antara 10 mm sampai dengan 32 mm. Pengembangan produk rebar dengan diameter mencapai 57 mm masih dapat dikembangkan karena produk Round Bar hasil PT. Gunung Raja Paksi sudah mampu diproduksi dengan diameter sampai 90 mm. PT. Krakatau Wajatama juga memproduksi *deformed bar/rebar* dengan spesifikasi, kode dan standar ASTM 615 dan JIS G 3112 dengan diameter ukuran 10 mm sampai dengan 36 mm. Beberapa studi tentang rebar di dalam struktur kontainmen PLTN menunjukkan bahwa temperatur antara 20°C sampai 140°C, sifat sifat mekanikal tidak dipengaruhi oleh temperatur [29].

Sebagai tambahan informasi, pada sistem kontainmen Korea Standar Nuclear Power Plants (KSNP) terdiri dari tendon yang terbuat dari material *strand* dengan spesifikasi, kode dan standar ASTM A416 grade 270 [30]. Saat ini industri baja nasional belum memiliki standar ASTM A416. Material baja S508 Grade 1a, Low Alloy Steels digunakan pada pipa sistem Pendingin utama [31]. Dari hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa industri baja nasional memiliki potensi dan kemampuan untuk memproduksi baja struktur dan pelat baja untuk konstruksi PLTN karena memiliki spesifikasi, kode dan standar baja ASTM A 572 dan ASTM A 36 sesuai dengan spesifikasi, kode dan standar internasional.

4. KESIMPULAN

Material baja nasional memiliki potensi dan kemampuan untuk digunakan sebagai baja struktur untuk konstruksi PLTN tipe LWR di Indonesia karena menggunakan standar ASTM A 572 dan A 36. Perlu pengembangan inovasi produk untuk ukuran/diameter sesuai dengan spesifikasi, kode dan standar yang ditentukan.

SARAN/REKOMENDASI

Untuk mengetahui kemampuan industri komponen baja nasional untuk dapat berpartisipasi secara optimal dalam program PLTN di Indonesia, maka perlu dilakukan survei

industri baja nasional secara menyeluruh dan rinci untuk mengetahui kecocokan spesifikasi, kode dan standar industri baja nasional dengan spesifikasi, kode dan standar internasional PLTN. Perlu dilakukan survei untuk industri yang memproduksi komponen baja seperti bejana tekan, generator, kondenser, turbin dan lain-lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada pihak PPKP KEMENRISTEK yang telah membantu mendanai kegiatan ini dan berbagai pihak industri baja yang telah membantu memberikan data dan informasi. Studi ini merupakan bagian dari Laporan Akhir "Pemetaan Rantai Pasokan Industri Pembangunan PLTN di Indonesia [32].

DAFTAR ACUAN

- [1]. D. Buckthorpe, A. Tashkinov, J. Brynda, L.M. Davies, C. Cueto-Felgeueroso, P. Detroux, K. Bieniussa, J. Guinovart, "Review and Comparison of WWER and LWR Codes and Standards", Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 17), Prague, Czech Republic, August, pp. 17 - 22.
- [2]. Pascal Yvon, Marion Le Flem, Céline Cabet, Jean Louis Seran, "Structural Materials for Next Generation Nuclear Systems: Challenges and the Path Forward", Nuclear Engineering and Design, vol. 294, December 2015, pp. 161-169.
- [3]. Qiang Xu, Jianyun Chen, Chaobi Zhang, Jing Li, and Chunfeng Zhao, "Dynamic Analysis of AP1000 Shield Building Considering Fluid and Structure Interaction Effects", Nuclear Engineering and Technology, vol. 48, 2016, pp. 246 - 258, <http://dx.doi.org/10.1016/j.net.2015.08.013>.
- [4]. Yongzheng Ma, Guang Ran, Nanjun Chen, Penghui Lei, Qiang Shen, "Investigation of mechanical properties and proton irradiation behaviors of SA-738Gr.B steel used as reactor containment", Nuclear Materials and Energy, vol. 8, 2016, pp. 18-22, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nme.2016.07.010>.
- [5]. E.A. Kenik, J.T. Busby, M.N. Gussev, P.J. Maziasz, D.T. Hoelzer, A.F. Rowcliffe, J.M. Vitek, "Structure and Mechanical Properties of Improved Cast Stainless Steels or Nuclear Applications", Journal of Nuclear Materials, vol. 483, Januari 2017, pp. 35 - 43. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2016.10.045>.
- [6]. Nancy Baddoo, Philip Francis, "Development of design rules in the AISC Design Guide for Structural Stainless Steel", Thin-Walled Structures, vol. 83, October 2014, pp. 200-208, <https://doi.org/10.1016/j.tws.2014.02.007>.

- [7]. M. Shojaati, B. Beidokhti, "Characterization of AISI 304/AISI 409 Stainless Steel Joints Using Different Filler Materials", *Construction and Building Materials*, vol. 147, 2017, pp. 608-615, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.185>.
- [8]. Dharu Dewi, Sahala Lumbanraja, "Rantai Pasok Industri Baja untuk Pembangunan PLTN di Indonesia", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, vol. 19, no. 1, 2017, pp. 51-60. <http://dx.doi.org/10.17146/jpen.2017.19.1.3549>
- [9]. Varun Patel, "What is difference between Code, Standard and Specification?", <https://hardhatengineer.com/what-is-the-difference-between-code-standard-and-specification/>, diunduh tanggal 11 April 2018.
- [10]. "Codes and Standards - Definitions & Requirements, 2010. http://www.cstools.org/WritingGuide/Writing_Guide/WG_1-3_Codes_and_Standards_-_Definitions_&_Requirements.htm diunduh tanggal 11 April 2018.
- [11]. Department Of Energy, 2005, "DOE NP 2010 Nuclear Power Plant Construction Infrastructure Assessment", Department Of Energy ,Washington DC. www.nuclear.gov/np2010/reports/mpr2776Rev0102105.pdf.
- [12]. Dharu Dewi, Sahala Lumbanraja, "Studi Penyiapan SDM, Manufaktur, Fabrikasi Dan Peralatan Konstruksi PLTN Gen III+ di Amerika Serikat" Seminar Nasional IV, SDM Teknologi Nuklir, 25 - 26 Agustus 2008, Yogyakarta.
- [13]. PPN - BATAN, "Indonesia User Requirements", 2007.
- [14]. Dharu Dewi, "Laporan Perjalanan Dinas ke Luar Negeri, Technical Meeting on Optimizing Local Industrial Involvement with Nuclear Power Programme", BATAN, Jakarta, Desember 2017.
- [15]. R.L. Klueh, A.T. Nelson, "Ferritic/ Martensitic Steels for Next-Generation Reactors", *Journal of Nuclear Materials*, vol. 371, 2007, pp. 37-52, doi:10.1016/j.jnucmat.2007.05.005.
- [16]. Meifang Yu, Zhen Luo, Y.J. Chao, "Correlations Between Charpy V-Notch Impact Energy and Fracture Toughness of Nuclear Reactor Pressure Vessel (RPV) Steels", *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 147, October 2015, pp. 187-202, <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2015.08.008>.
- [17]. Chuanyang Lu, Yanming He, Zengliang Gao, Jianguo Yang, Weiya Jin, Zhigang Xie, "Microstructural Evolution and Mechanical Characterization for the A508-3 Steel Before and After Phase Transition", *Journal of Nuclear Materials*, vol. 495, 2017, pp. 103-110, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2017.08.013>.
- [18]. Mingyue Sun, Luhan Hao, Shijian Li, Dianzhong Li, Yiyi Li, "Modeling Flow Stress Constitutive Behavior of SA508-3 Steel for Nuclear Reactor Pressure Vessels", *Journal of Nuclear Materials*, vol. 418, 2011, pp. 269-280, doi:10.1016/j.jnucmat.2011.07.011.
- [19]. K. Suzuki, I. Kurihara, T. Sasaki, Y. Koyoma, Y. Tanaka, "Application of High Strength MnMoNi Steel to Pressure Vessels for Nuclear Power Plant", *Journal of Nuclear Engineering and Design*, vol. 206, 2001, pp. 261 - 278.
- [20]. Min-Chul Kim, Sang-Gyu Park, Ki-Hyoung Lee, Bong-Sang Lee, "Comparison Of Fracture Properties In SA508 Gr.3 And Gr.4N High Strength Low Alloy Steels For Advanced Pressure Vessel Materials", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 131, 2015, pp. 60-66, <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2015.04.010>.
- [21]. American Institute of Steel Construction, "Specification for Safety-Related Steel Structures for Nuclear Facilities Including Supplement No. 1", ANSI/AISC N690-12, ANSI/AISC N690s1-15, 2015.
- [22]. PT. Krakatau Steel, "Company Profile PT. Krakatau Steel", 2012.
- [23]. PT. Gunung Garuda, "Company Profile PT. Gunung Garuda", 2012.
- [24]. PT. Gunung Steel Group, "Hot Rolled Plates, Hot Rolled Coils", Company Profile, 2018.
- [25]. PT. Gunung Raja Paksi, "Wire and Bar", Company Profile, 2018.
- [26]. PT. Gunawan Dian Jaya Steel, 2012, Company Profile PT. Gunawan Dian Jaya Steel
- [27]. PT. Krakatau Wajatama, "Company Profile PT. Krakatau Wajatama", 2013.
- [28]. PT. Krakatau Posco, Produk Krakatau Posco, 2019, <http://www.krakatauposco.co.id/product>, diunduh tanggal 11 April 2018.
- [29]. PT. Jaya Pari Steel, GDS quality products are divided into three, based on the user designations, 2018, <http://www.gunawansteel.com/en/spesification/> diunduh tanggal 11 April 2018.
- [30]. Wien Toumi Ajimi, "Influence of Low Elevated Temperature on the Mechanical behavior of steel rebars and prestressing wires in Nuclear Containment Structure", *Construction and Building Materials*, vol.134, 1 March 2017, pp. 462-467. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.117>.
- [31]. Jihong Park, Jaekeun Hong, "Present Status of Nuclear Containment and ISI in Korea", *Progress in Nuclear Energy*, vol.51, 2009, pp. 761 - 768. doi:10.1016/j.pnucene.2009.05.005.
- [32]. Changheui Jang, Hun Jang, Jong Dae Hong, Hyunchul Cho, Tae Soon Kim, Jae Gon Lee, "Environmental Fatigue of Metallic Materials in Nuclear Power Plants - A Review of Korean Test Programs", *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 45, no.7, December 2013, pp. 929-940. <http://dx.doi.org/10.5516/NET.07.2013.040>.
- [33]. Dharu Dewi, Sriyana dkk, "Pemetaan Rantai Pasokan Industri Pembangunan PLTN di Indonesia", Laporan Akhir Pelaksanaan Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa, Kemeristek, Jakarta, Desember 2012.