

PRE-SERVICE INSPECTION BEJANA TEKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

Sri Nitiswati, Mudi Haryanto

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - BATAN

ABSTRAK

PRE-SERVICE INSPECTION BEJANA TEKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR. Keselamatan operasi PLTN tidak terlepas dari jaminan mutu saat pabrikasi atau konstruksi struktur, sistem dan komponen (SSK) PLTN. Pabrikasi atau konstruksi SSK PLTN harus mengacu pada standar atau *code* tertentu dan dilakukan dengan ketat, artinya semua ketentuan atau persyaratannya harus dipatuhi. Oleh karena itu setelah proses pabrikasi atau konstruksi, harus dilakukan pemeriksaan atau inspeksi yang disebut dengan *pre-service inspection (PSI)*. *PSI* dilakukan dengan tujuan untuk mengkonfirmasi bahwa semua SSK telah dipabrikasi atau dikonstruksi dengan benar dan aman. Makalah ini membahas peran *PSI* pada bejana tekan PLTN dengan tujuan untuk mengetahui jenis metode yang digunakan dalam melakukan *PSI* dan pentingnya melakukan *PSI* pada bejana tekan PLTN. Metode pembahasan adalah dengan mengidentifikasi bagian bejana tekan yang rentan mengalami kegagalan serta metoda inspeksinya. Bagian bejana tekan yang rentan mengalami kegagalan adalah bagian-bagian yang dilas *circumferential*, *longitudinal* dan *meridional* pada bagian badan (*shell*), kepala (*head*), katup dan nosel, serta daerah *beltline*. Metode inspeksinya adalah metode permukaan yang terdiri dari visual, penggunaan cairan penetran dan partikel magnetik, serta metode volumetrik seperti radiografi dan ultrasonik. Dengan metode-metode tersebut semua jenis cacat yang ada pada bejana tekan PLTN setelah proses pabrikasi atau konstruksi dapat terdeteksi. Hal ini penting untuk dipahami khususnya bagi BATAN yang akan membangun reaktor daya eksperimental (RDE), karena *PSI* mutlak dilakukan.

Kata kunci: pembangkit listrik tenaga nuklir, bejana tekan, *pre-service inspection*, pabrikasi, konstruksi

ABSTRACT

PRESSURE VESSEL PRE-SERVICE INSPECTION OF NUCLEAR POWER PLANT. *Quality assurance during structure, system and components (SSCs) fabrication and construction have a significant role in the safety of nuclear power plant operation. Fabrication or construction of SSCs of the NPP shall strictly follow a certain standard or code, meaning that all procedures and requirements shall be fulfilled. Therefore after fabrication or construction processes, examination or inspection to the main of SSCs shall be conducted and called as pre-service inspection (PSI). The aim of PSI is to confirm that all SSCs have been well and safely fabricated and constructed. This paper discusses the PSI of pressure vessel with the aim to obtain the PSI method and its importance to the pressure vessel. The review method is achieved by identifying weak areas of pressure vessel and its inspection methods. Susceptible areas of pressure vessel are those, which are circumferential, longitudinal and meridional welded, such shell, head, nozzles and flanges, and beltline region. Inspection methods are surface method consisting of visual, dye penetrant and magnetic particle, and volumetric method such as radiography and ultrasonic. By these methods, all defects in the nuclear power plant pressure vessel after fabrication and construction can be detected. This is important to understand especially for BATAN, who has a plan to construct an experimental power reactor, since the PSI has to be performed.*

Keywords: nuclear power plant, pressure vessel, *pre-service inspection*, fabrication, construction

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) terdiri dari beberapa struktur, sistem dan komponen (SSK) utama diantaranya bejana tekan reaktor, pembangkit uap, pengatur tekanan (*pressurizer*), pipa pendingin reaktor, dan pompa pendingin reaktor. Pengelasan adalah metode yang paling umum digunakan untuk menyatukan bagian-bagian menjadi satu kesatuan komponen pada proses pabrikasi atau konstruksi SSK PLTN. Prinsip dasar proses pengelasan terdiri dari pelelehan dan pendinginan. Kemungkinan terjadi cacat komponen seperti porositas, inklusi, laminasi dan retak akibat proses *casting*, pengerolan dan pengelasan tidak dapat dihindari. Hasil dari siklus panas proses pengelasan menimbulkan tegangan sisa yang merupakan tegangan internal dan mempunyai potensi dapat menimbulkan permasalahan^[1].

Proses pendinginan yang tidak merata setelah pengelasan dapat memicu timbulnya cacat komponen berupa retak atau sobekan yang dikenal dengan istilah *hot tear* dan *cold tear*. Semua permasalahan yang timbul akibat proses pabrikasi atau konstruksi yang berupa cacat komponen harus teridentifikasi, dan satu-satunya cara adalah dengan melakukan inspeksi untuk mengetahui kondisi SSK setelah pabrikasi atau konstruksi yang disebut dengan *pre-service inspection* (PSI)^[2,3]. Di negara-negara yang sudah mengoperasikan PLTN, PSI harus dilakukan dan bersifat *mandatory* khususnya untuk SSK utama PLTN termasuk bejana tekan dan keharusan melakukan PSI diatur oleh badan regulasi setempat^[2-5].

Hal yang sama juga berlaku untuk reaktor

penelitian, dimana PSI setelah pabrikasi atau konstruksi untuk SSK utama juga bersifat *mandatory*. Metode yang paling umum digunakan untuk menyatukan bagian-bagian menjadi satu kesatuan komponen pada proses pabrikasi atau konstruksi SSK reaktor penelitian adalah juga dengan proses pengelasan. Apabila PSI tidak dilakukan dengan benar dan konsisten berdasarkan standar atau *code* tertentu yang diacu, dapat berakibat terjadi penuaan dini (*premature aging*) SSK PLTN atau SSK reaktor penelitian yang akan diketahui atau terdeteksi ketika dilakukan inspeksi pada masa layanan yang disebut dengan *in-service inspection* (ISI).

Makalah ini akan membahas peran PSI untuk bejana tekan PLTN karena bejana tekan PLTN adalah komponen utama paling kritis. Tujuannya adalah untuk mengetahui jenis metode yang digunakan untuk melakukan PSI dan pentingnya melakukan PSI pada bejana tekan PLTN. Metode pembahasan yang digunakan meliputi identifikasi bagian bejana tekan yang rentan mengalami degradasi / kegagalan dan metode inspeksinya. Pada makalah ini diberikan contoh hasil ISI pada bejana reaktor penelitian G.A. Siwabessy dan TRIGA2000, dimana kondisi yang sama juga terjadi dan terdeteksi pada bejana tekan PLTN apabila PSI tidak dilakukan dengan benar dan konsisten. Contoh kondisi SSK dari hasil ISI yang diberikan ini tidak terjadi seandainya setelah proses pabrikasi atau konstruksi dilakukan PSI dengan mengacu pada standar atau *code* tertentu yang direkomendasikan dan dipatuhi / dilakukan dengan benar dan konsis-

ten. Diharapkan dengan melakukan kajian / bahasan ini akan dipahami metode dan pentingnya melakukan PSI khususnya oleh BATAN yang akan membangun reaktor daya eksperimental.

PRE-SERVICE INSPECTION

Pre-service inspection (PSI) adalah inspeksi yang dilaksanakan selama masa dekomisioning atau setelah proses pabrikasi dari suatu pembangkit daya termasuk PLTN^[3] dan merupakan bagian dari kegiatan konstruksi suatu PLTN. Tujuan PSI adalah untuk mengkonfirmasi bahwa semua komponen PLTN telah dikonstruksi dengan tepat dan aman, dan memberikan data kondisi awal suatu komponen setelah pabrikasi atau konstruksi^[2]. Hasil dari PSI disebut dengan “*as built manufacturing and construction data*”, yang selanjutnya digunakan sebagai data dasar (data awal) untuk dibandingkan dengan hasil-hasil inspeksi selanjutnya untuk komponen yang sama pada masa layanan (*service*) yang disebut dengan *in-service inspection* (ISI)^[3]. Oleh karena itu PSI dilakukan untuk meyakinkan bahwa SSK utama PLTN mempunyai kualitas yang dapat diterima berdasarkan standar atau *code* tertentu dan hasilnya digunakan sebagai koleksi data dasar sebelum PLTN beroperasi.

a. Standar dan code

Standar dan *code* yang digunakan sebagai pedoman pelaksanaan *PSI* tergantung dari vendor/pemasok teknologi PLTN. Misalnya pemasok teknologi PLTN dari negara Jepang, maka digunakan standar dan *code* dari

negara Jepang. Demikian pula apabila pemasok teknologi PLTN dari Amerika, maka digunakan standar atau *code* dari Amerika. *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) *Boiler and Pressure Vessel Code* adalah standar dan *code* yang berlaku di Amerika. ASME *Boiler and Pressure Vessel Code Section III: “Rules for Construction of Nuclear Facility Components”*, adalah standar dan *code* yang berisi persyaratan-persyaratan untuk perancangan dan konstruksi dan persyaratan-persyaratan untuk melakukan PSI dan ISI pada komponen-komponen PLTN. ASME *Section III, Division 1 - Subsection NB* dikhususkan untuk komponen kelas 1, dimana bejana tekan termasuk di dalamnya^[6]. ASME *Boiler and Pressure Vessel Code Section XI: “Rules for In-service Inspection of Nuclear Power Plant Components”*, adalah standar dan *code* yang berisi aturan-aturan untuk melakukan PSI dan ISI pada komponen-komponen PLTN. ASME *Section XI, Subsection IWB: “Requirements for Class 1 Components of Light-Water Cooled Plant”*, berisi persyaratan dan ketentuan untuk melakukan *PSI* dan *ISI*, evaluasi, pemeriksaan tambahan, standar dan kriteria penerimaan untuk komponen-komponen kelas 1. Bejana tekan PLTN termasuk komponen kelas 1, sehingga standar dan *code* untuk PSI digunakan ASME *Section XI, Subsection IWB*^[7].

b. Filosofi PSI bejana tekan

ASME Section XI, Subsection IWB dikembangkan dengan tujuan untuk meyakinkan bahwa bagian/area yang kritis dari bejana tekan yaitu bagian las-lasan di daerah *belt line*, katup-katup dan nosel-nosel harus terjaga integritasnya sepanjang umur operasi PLTN. Bagian yang dilas merupakan bagian yang paling lemah karena mendapat panas yang tinggi sehingga pada bagian tersebut ada tegangan sisa yang lebih besar dari bagian lainnya, hal ini bisa memicu terjadinya retak atau yang dikenal dengan *stress corrosion cracking*. Untuk menjaga integritas las-lasan, maka setelah bejana tekan selesai dipabrikasi dan dikonstruksi harus segera dilakukan PSI. ASME Section XI, Subsection IWB mempersyaratkan pemeriksaan tambahan yaitu uji tekanan (*pressure test*) terhadap bejana tekan untuk memastikan bahwa bejana tekan mampu menahan tekanan tinggi sesuai desainnya dan tidak bocor [7]. Pemeriksaan secara visual dan pembersihan untuk memastikan bahwa bagian las-lasan dan seluruh bagian *shell* (badan) bejana tekan sudah benar-benar bersih dari serbuk-serbuk (*debris*) akibat pekerjaan pabrikan dan konstruksi harus dilakukan [1]. Semua aktivitas harus terdokumentasi sebagai data dasar yang akan digunakan sebagai pembanding dengan kondisi terkini pada saat melakukan ISI bejana tekan.

c. Pre-service inspection (PSI) bejana tekan

Bejana tekan PLTN adalah satu-satunya komponen yang tidak mempunyai *back-up*

atau tidak redundan. Kegagalan katastrofik bejana tekan dapat mengakibatkan pelelehan teras reaktor dengan cepat sehingga temperatur dan tekanan naik menjadi tinggi, dimana kondisi ini tidak dirancang untuk pengungkung PLTN jenis PWR. Oleh karena itu bejana tekan PLTN jenis PWR berada di peringkat nomor 1 di dalam prioritas SSK utama PWR dan termasuk komponen kelas 1 [8]. Untuk mencegah atau meminimalkan kegagalan bejana tekan PLTN, maka PSI bejana tekan harus dilakukan sehingga dapat diketahui ada tidaknya cacat pada bejana tekan sebelum dioperasikan. Apabila diketahui ada cacat dan berdasarkan standar dan *code* tertentu ukuran cacatnya diluar toleransi yang dapat diterima / diijinkan maka harus dilakukan perbaikan sehingga kondisi bejana tekan benar-benar bebas dari cacat.

METODOLOGI

Metodologi pembahasan meliputi identifikasi bagian bejana tekan PLTN yang rentan mengalami degradasi / gagal dan identifikasi metode PSInya. PSI bejana tekan harus dilakukan 100% terhadap semua sambungan las-lasan maupun material induknya (*base metal*). Bagian-bagian bejana tekan yang rentan mengalami degradasi adalah seluruh sambungan las-lasan *circumferential* dan *longitudinal* yang ada pada daerah *beltline* dan badan bejana tekan (*shell*) bagian atas serta bagian bawah, las-lasan *circumferential* dan *meridional* kepala bejana tekan bagian atas (*upper head*) dan bagian bawah (*bottom head*), las-lasan antara katup-katup / nosel-

nosel yang terdapat pada badan bejana tekan dan kepala bejana tekan bagian atas dan bagian bawah, serta las-lasan antara nosel dengan sistem instrumentasi. Metode PSI nya adalah secara visual menggunakan *boroscope / videoscope*, secara permukaan dengan menggunakan cairan penetran dan partikel magnetik serta metode volumetrik terdiri dari radiografi dan ultrasonik.

Dari referensi ^[1-5, 7], metode yang digunakan untuk PSI bejana tekan maupun metode PSI komponen-komponen utama lainnya untuk PLTN secara umum adalah sama, yaitu metode visual, metode permukaan dan metode volumetrik. Ketiga metode tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing yang tergantung pada tujuan dan obyek yang diperiksa. Oleh karena itu dalam melakukan PSI bejana tekan selalu digunakan lebih dari 1 metode sehingga saling mengisi berdasarkan jenis cacat dan lokasi/area yang diinspeksi. Penerapan metode visual menggunakan *boroscope / videoscope* selalu dilakukan pada urutan yang pertama pada pelaksanaan PSI sebelum metode lainnya diterapkan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi secara umum permukaan badan bejana tekan dan bagian-bagian lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dijelaskan di atas bahwa proses pengelasan tidak mungkin dihindari pada proses fabrikasi dan konstruksi bejana tekan PLTN. Akibat pengelasan ada kemungkinan terjadi cacat komponen juga tidak bisa dihindari. Jenis cacat-cacat yang mungkin terjadi akibat proses

pengelasan adalah porositas dan retakan. Porositas terjadi karena ketidaksempurnaan proses pengelasan dan dapat disebabkan oleh faktor manusia maupun karena material lasnya. Adanya porositas mengakibatkan komponen menjadi getas sebelum digunakan. Selain itu bagian yang dilas merupakan bagian yang paling lemah karena mendapat panas yang tinggi sehingga pada bagian tersebut ada tegangan sisa yang lebih besar dari bagian lainnya dan bisa memicu terjadinya retak atau yang dikenal dengan *stress corrosion cracking* (SCC). Retak jenis lain adalah *hot tear* dan *cold tear* yang terjadi karena proses pendinginan yang tidak merata yang berlangsung setelah proses pengelasan. Porositas, SCC, *cold tear* dan *hot tear* adalah jenis-jenis cacat akibat pengelasan yang harus dihindari.

Untuk mengetahui ada/tidaknya cacat-cacat seperti disebutkan di atas, maka setelah proses pabrikan dan konstruksi selesai segera dilakukan PSI dengan metode visual dengan menggunakan *boroscope / videoscope*. Apabila dari hasil PSI ditemukan / diketahui ada porositas, SCC, *cold tear* dan *hot tear*, maka bagian las-lasan yang ada cacatnya tersebut harus diperbaiki (*repair*) dengan cara dilakukan pengelasan ulang seperti diatur pada ASME Section XI ^[7]. Untuk memastikan bahwa cacat yang ditemukan / diketahui dengan metode visual adalah porositas, SCC, *cold tear* dan *hot tear*, maka perlu dipastikan kembali dengan metode volumetrik radiografi. Oleh karena itu setelah proses pengelasan selesai dan sebelum dilakukan PSI harus diikuti dengan pemberian perlakuan panas (*heat*

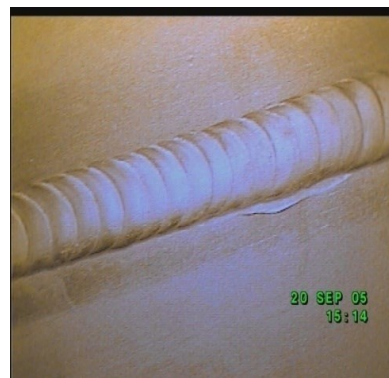
treatment) dengan tujuan untuk menurunkan tegangan sisa dan mengurangi kebolehjadian terjadinya SCC seperti diatur pada ASME *Section III, Subsection NB* [6]. Apabila PSI metode visual tidak dilakukan berdasarkan standar dan *code*, maka akan terjadi cacat porositas dan *hot tear* yang dapat diketahui dari hasil ISI seperti ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 1 untuk bejana tekan TRIGA 2000 dan Gambar 2 untuk



Gambar 1. Porositas pada bagian pengelasan bejana reaktor TRI-GA2000 [9]

ASME *Section IX: "Welding And Brazing Qualification"* mengizinkan dilakukan penggerindaan pada bagian yang dilas dengan tujuan agar permukaan badan bejana tekan reaktor yang ada lasnya menjadi rata [11]. Selama proses penggerindaan akan timbul serbuk-serbuk (*debris*) hasil dari penggerindaan dan pengotor lainnya yang tersebar di seluruh permukaan bagian yang di las maupun permukaan badan bejana tekan reaktor. Oleh karena itu setelah proses penggerindaan lasan harus segera dilakukan PSI dengan metode visual menggunakan *boroscope / videoscope*. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa permukaan badan bejana tekan bersih dari *debris* hasil penggerindaan dan pengotor lainnya. Apabila hasil dari

bejana tekan RSG-GAS di bawah ini [9,10]. Sedangkan metode volumetrik dengan ultrasonik digunakan untuk mengukur ketebalan badan bejana tekan secara random dan mengetahui ada / tidaknya cacat retak pada bagian / daerah yang sulit dilakukan PSI dengan radiografi, seperti nosel-nosel dan katup-katup.



Gambar 2. *Hot tear* pada bagian pengelasan bejana reaktor RSG-GAS [10]

PSI ditemukan *debris*, maka serbuk-serbuk pengotor tersebut harus segera dibersihkan sampai benar-benar bersih dengan cairan tertentu dan dipastikan bahwa tidak ada serbuk-serbuk dan pengotor lainnya tertinggal baik pada permukaan lasan maupun pada permukaan badan bejana tekan. Apabila PSI metode visual untuk melihat ada / tidaknya serbuk-serbuk hasil penggerindaan dan pembersihan tidak dilakukan dengan benar berdasarkan standar dan *code*, maka akan terjadi korosi sumuran yang diketahui dari hasil ISI, seperti ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 3 untuk bejana tekan TRIGA 2000 dan Gambar 4 bejana tekan RSG-GAS [9,10].



Gambar 3. Korosi sumuran pada bagian pengelasan dan badan bejana reaktor TRIGA2000^[9]



Gambar 4. Korosi sumuran pada badan bejana reaktor RSG-GAS^[10]

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan diketahui metode yang digunakan untuk PSI bejana tekan PLTN adalah metode visual dan metode permukaan yang terdiri dari cairan penetran dan partikel magnetic, serta metode volumetrik yang meliputi radiografi dan ultrasonik. PSI sangat penting dilakukan dengan ketat berdasarkan standar dan *code* yang direkomendasikan. Ketidapatuhan dalam melaksanakan PSI dapat mengakibatkan penuaan dini bejana tekan PLTN dan dapat berakibat fatal yaitu gagalnya fungsi keselamatan bejana tekan PLTN karena adanya produk cacat bejana tekan PLTN yang tidak diketahui / terdeteksi dan tidak terdokumentasi sejak awal sebelum PLTN beroperasi. Oleh karena itu cacat pada masa pabrikasi/konstruksi harus dihindari semaksimal mungkin. Untuk itu peran PSI sangat penting dan *mandatory* dilakukan untuk mencegah penuaan dini atau suatu keadaan dimana bejana tekan gagal menjalankan fungsinya karena terjadi retak yang tidak terdeteksi sejak awal.

DAFTAR PUSTAKA

1. S.NITISWATI, dkk. "Peran Uji Tak Rusak Pada Masa Konstruksi Dan Operasi PLTN", Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir Bapeten, 2008.
2. R. F. SAMMATARO, "Preservice Inspection And Inservice Inspection Requirements For Containment Structures in The United States-A Status Report", Nuclear Engineering and Design (2006).
3. ATOMIC ENERGY REGULATORY BOARD, "In-Service Inspection of Nuclear Power Plants", AERB Safety Guide No.AERB/NPP/SG/O-2,(2004).
4. G. MAES et. al, "Experience Gained From Inservice Inspection of PWR Main Coolant Pump Welds, Conducted from the Inner Surface, using a Qualified UT and ECT Procedure", NDT-Net, Vol. 4, No.10, 1999.
5. IAEA / NEA, "Nuclear Power Plant Operating Experiences-Incident Reporting System", 2003-2006.

6. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, “Rules for Construction of Nuclear Facility Components”, Subsection NB-Class 1 Components, 2008.
7. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI, “Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components”, 2008.
8. V.N. SHAH, P.E. MACDONALD, “Aging And Life Extension of Major Light Water Reactor Components”, Elsevier Science, ISBN: 9780444894489, 1993.
9. S. NITISWATI, “Laporan Inspeksi Tangki Reaktor TRIGA 2000 – PTNBR Dengan Metode Visual”, No. Dokumen PTRKN-0011/2006, September (2006).
10. S. NITISWATI, “Laporan Inspeksi Tangki Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy Dengan Metode Visual”, No. Dokumen P2TKN-5020014/2005, September (2005).
11. ASME Boiler And Pressure Vessel Code, Section IX, “Welding and Brazing Qualifications”, 2008.