

## **TEKNIK INSPEKSI PROSES FABRIKASI PENUKAR PANAS REAKTOR NUKLIR**

Aep Saefudin Catur, Djaruddin Hasibuan

### **ABSTRAK**

**TEKNIK INSPEKSI PROSES FABRIKASI PENUKAR PANAS REKTOR NUKLIR.** Untuk menjamin bahwa proses fabrikasi penukar panas reaktor nuklir telah dilaksanakan sesuai dengan prosedur dan kriteria yang telah disetujui oleh pihak pemasok dan pembeli, perlu dilakukan inspeksi selama proses fabrikasi penukar panas tersebut. Tulisan ini dimaksudkan untuk menginformasikan suatu teknik inspeksi proses fabrikasi alat penukar panas reaktor berdasarkan standar *TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association)* dan standar *HEI(Head Exchange Institute)*. Dengan memahami setiap langkah kegiatan inspeksi, keakuratan dan kelengkapan pemeriksaan akan dapat dicapai.

Kata kunci : inspeksi, pembuatan, penukar panas

### **ABSTRACT**

**INSPECTION TECHNIQUES OF NUCLEAR REACTOR HEAT EXCHANGER FABRICATION PROCESS.** To assure that the nuclear reactor heat exchanger fabrication proces had been done according to the acceptable procedures and criterion by suppliers and buyers, it is neccessary to do the inspection during the fabrication proces of heat exchanger mention above. The intention of this paper is to inform a fabrication technique inspection of nuclear reactor equipment based on *TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association)* and *HEI (Heat Excanger Instute)* standards. By understanding of every inspection step, the complete verification objective can be fully reached

Key words : inspection, manufacturing, heat exchanger

## PENDAHULUAN

Penjual panas (*heat exchanger*) adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk memindahkan energi panas dari satu aliran fluida ke aliran fluida lain yang terpisah satu sama lain. Di dalam reaktor nuklir pembangkit daya (PLTN) penukar panas ini berfungsi untuk memindahkan energi panas yang terbangkit dari reaksi fisi di dalam teras reaktor ke fluida kerja yang berada di dalam pembangkit uap (*steam generator*). Oleh karena itu keberadaan penukar panas ini sangatlah penting dalam pengoperasian suatu reaktor daya. Sebagai suatu sistem atau bagian yang bekerja di daerah yang bersuhu tinggi dan beradiasi tinggi, penukar panas ini memerlukan inspeksi yang sangat teliti pada saat pabrikan atau pembuatannya. Hal ini dimaksudkan untuk menyediakan margin keselamatan yang sesuai dan memadai untuk mengakomodasi danantisipasi terhadap karakter material di penghujung umur pakainya<sup>[1]</sup>. Indonesia sebagai salah satu negara berkembang yang telah mencanakan PLTN sebagai sumber pemasok energi listrik di masa datang<sup>[2]</sup> perlu mempersiapkan diri secara dini dari segi sumber daya manusia. Hal ini dimaksud agar pada saat pembangunan PLTN nantinya keberadaan sumber daya manusia yang dapat memahami tahapan-tahapan pelaksanaan pembangunan telah tersedia, terutama untuk inspeksi proses fabrikasi penukar panas reaktor nuklir. Untuk tujuan tersebut di atas, maka telah disusun suatu teknik inspeksi penukar panas reaktor nuklir selama pelaksanaan proses fabrikasinya. Teknik inspeksi proses fabrikasi penukar panas reaktor nuklir ini meliputi: penentuan kualifikasi personil, penyiapan petunjuk pelaksanaan inspeksi, penyiapan peralatan inspeksi, petunjuk laporan hasil inspeksi. Teknik inspeksi pembuatan penukar panas reaktor nuklir ini didasarkan pada standar yang diterbitkan oleh Asosiasi Pembuat Penukar Panas yang disebut standar TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*) dan standar yang digunakan pada

instalasi pembangkit daya yang disebut standar HEI (*Heat Exchange Institute*).

Dengan memahami teknik inspeksi penukar panas reaktor nuklir ini diharapkan sumber daya manusia di Indonesia dapat mempersiapkan diri dalam pelaksanaan inspeksi proses fabrikasi penukar panas yang akan digunakan pada PLTN di Indonesia nantinya.

## TEORI

Pada umumnya penukar panas bekerja dengan bantuan media pengangkut panas dan beroperasi pada suhu yang relatif tinggi, oleh karena itu bagian ini sangat rentan terhadap pencapaian harga batas kerja maksimum yang diijinkan (*maximum allowable working condition*) yang meliputi:

- a) Tekanan (*pressure*);
- b) Tegangan (*stress*);
- c) Suhu (*temperature*);
- d) Pengkaratan (*corrosion*);
- e) Kondisi operasi (*operating condition*), dan lain-lain.

yang dapat menyebabkan kebocoran apabila konstruksi pembuatan tidak sesuai dengan spesifikasi rancangan (*vendor-requirement*)<sup>[3]</sup>. Untuk menghindari terjadinya kebocoran pada saat pengoperasian maka penukar panas ini perlu penanganan khusus dengan cara melakukan inspeksi pada saat fabrikasi. Pelaksanaan inspeksi secara comprehensive dan akurat dari penukar panas selama fabrikasi akan menjamin kesesuaian antara desain dengan produk yang dibuat. Hal ini dapat meminimumkan permasalahan yang mungkin terjadi pada saat pengoperasian dan perawatan. Dengan melakukan inspeksi secara menyeluruh pada saat proses fabrikasi penukar panas reaktor nuklir, akan diperoleh data permasalahan, sehingga urutan eksekusi dapat dilakukan secara cepat dan tepat.

## METODE PELAKSANAAN

Teknik inspeksi proses fabrikasi penukar panas reaktor nuklir ini dilakukan dengan

tahapan-tahapan sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

1. Penentuan kualifikasi personil pelaksana;
2. Penyiapan petunjuk pelaksanaan inspeksi;
3. Penyiapan peralatan inspeksi;
4. Penyiapan laporan inspeksi

#### **Penentuan kualifikasi personil pelaksana.**

Personil pelaksana inspeksi proses pabrikasi penukar panas reaktor nuklir adalah personil yang mempunyai latar belakang pengetahuan ilmu keteknikan yang luas. Diutamakan sarjana teknik mesin dan sarjana teknik kimia yang berpengalaman bekerja di instalasi nuklir. Seorang pelaksana inspeksi proses fabrikasi penukar panas harus berkemampuan membaca gambar teknik dengan baik, agar dalam pelaksanaan inspeksi dapat membandingkan gambar rancangan dengan keadaan penukar panas yang dibuat. Selain berkemampuan membaca gambar teknik, juga harus dapat memahami prinsip kerja dari penukar panas, serta berpengalaman bekerja dengan penukar panas. Selain itu personil pelaksana inspeksi pembuatan penukar panas reaktor nuklir ini harus mampu menyusun laporan singkat hasil inspeksi sebagai pertanggung jawaban pelaksanaan inspeksi. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan personil pelaksana yang cakap pada bidangnya, melalui uji kualifikasi yang disaksikan oleh perusahaan pembuat, pengawas pekerjaan dan pemesan. Perusahaan pembuat harus mengikuti prosedur yang ditetapkan dalam dokumen pemesanan atau yang telah disetujui pemesan atau ahli teknik pengguna. Pengawas pekerjaan diharuskan untuk menentukan bahwa perusahaan pembuat memiliki personil penyusun prosedur yang ahli untuk pengelasan, penyambungan pipa, pengujian tak merusak dan pengujian tekanan dari tabung (tubular atau vessel). Oleh karena itu, harus dipastikan bahwa prosedur inspeksi sudah benar. Pelaksana inspeksi bertanggung jawab atas ketersediaan prosedur yang akan digunakan sebagai acuan untuk melaksanakan tugas. Tanggung jawab pelaksana inspeksi tidak meluas pada aspek yang tidak terkodefikasi seperti pencucian, pembersihan

dengan zat kimia (*pickling*), pembersihan garam (*passivating*), pengikisan dengan pasir (*sandblasting*), pelapisan (*coating*), pembersihan (*cleaning*), penyorongan (*skidding*), pemetian (*crating*) dan pembebanan (*loading*).

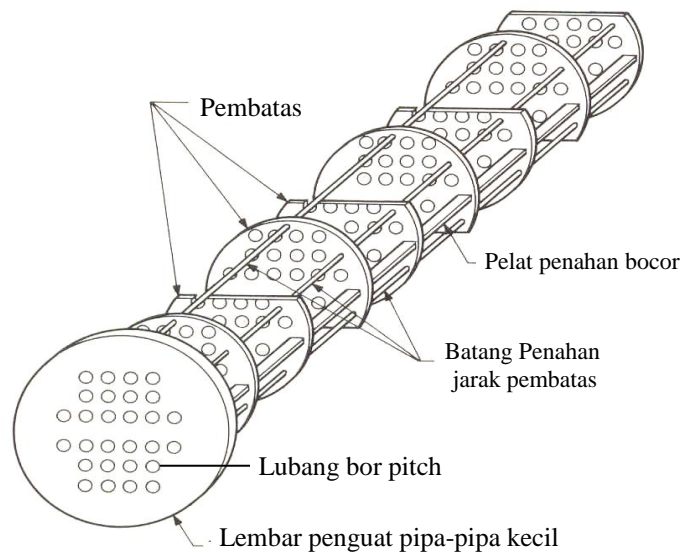
#### **Petunjuk pelaksanaan teknik inspeksi**

Pembuatan penukar panas reaktor nuklir yang tidak memenuhi aturan standar akan cenderung mengalami kerusakan pada saat pemasangan, pengoperasian dan perawatan. Oleh karena itu perlu penegasan bahwa pekerjaan harus disesuaikan dengan: material, dimensi dan toleransi yang ditunjukkan pada gambar teknik, kodefikasi dan spesifikasi standar yang telah disepakati. Inspeksi dan pengamatan menjamin bahwa bahan yang akan digunakan untuk fabrikasi penukar panas sesuai dengan spesifikasi. Jaminan yang lain adalah bahwa setiap tahap kegiatan selalu mengacu kepada prosedur yang telah disetujui. Hal ini sangat penting terutama untuk memeriksa tahapan-tahapan bagaimana pekerjaan itu dilakukan. Sebagian besar kode keselamatan tangki tekan mensyaratkan perusahaan pembuat untuk mengikuti manual kendali mutu yang telah disahkan untuk melakukan pekerjaan di bengkel mereka. Manual ini bisa mencakup persyaratan yang terkodefikasi dan tidak terkodefikasi, meskipun begitu persyaratan yang tidak terkodefikasi tidak menjadi perhatian pelaksana inspeksi. Cara yang paling efektif untuk mempersiapkan pelaksanaan pemeriksaan kendali kualitas adalah mengoreksi dan memperbaiki keadaan bahan berdasar kepada kodefikasi keteknikan. Setiap kegiatan inspeksi yang telah dilakukan diberi tanda sesuai dengan tahapan-tahapan prosedur inspeksi pemesan. Dalam pembuatan penukar panas reaktor nuklir, biasanya standar yang digunakan adalah standar TEMA dan standar HEI. Sebelum pabrikasi dimulai, jika terdapat pemesanan yang melampaui batasan standar, perlu dilakukan pemeriksaan ulang dengan perusahaan pembuat. Pada saat pemeriksaan ulang perlu ditetapkan bahwa, jika pabrikasi

terlambat maka pelaksanaan pemeriksaan harus ditunda sesuai dengan waktu tanggap maksimum yang disetujui oleh pemesan dan pembuat. Pada pelaksanaan inspeksi, setiap hasil inspeksi harus diklarifikasi antara pembuat, pelaksana inspeksi dan pemesan. Hasil inspeksi dirangkum dalam suatu laporan singkat dokumen pemeriksaan. Komponen yang perlu diinspeksi pada pembuatan penukar panas reaktor nuklir adalah:

- o **Lembar penguat pipa kecil (*tubesheet*)**

Pada lembar penguat pipa-pipa kecil yang perlu diinspeksi adalah: Perhitungan aktual pipa kecil dan lobang bor *pitch*. Orientasi pipa-pipa tersebut harus cocok dengan gambar yang sudah disetujui. Gambar 1. menjelaskan komponen/bagian dalam penukar panas, perhatikan Gambar 1 berikut



Gambar 1. Komponen bagian dalam penukar panas

Demikian juga dengan sambungan las antara lembar penguat pipa-pipa kecil dengan pipa-pipa kecil, harus sesuai dengan gambar. Setelah proses penyambungan semua pipa-pipa kecil diinspeksi untuk memeriksa kemungkinan terjadinya keretakan pada pipa-pipa kecil dengan lensa pembesar. Komponen harus sesuai standar kodefikasi, tidak boleh terjadi penyimpangan, kecuali kalau ada persetujuan dari bidang keteknikan. Jika bidang keteknikan menyetujui perbedaan,

perusahaan pembuat harus merevisi gambar teknik untuk memperlihatkan perbedaan itu.

- o **Pembatas (*Baffles*)**

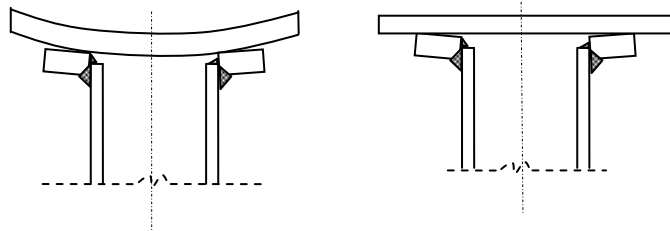
Pada pembatas materi yang diinspeksi adalah: ukuran lubang pembatas harus akurat (tidak ada toleransi) sesuai dengan gambar teknik. Apabila ukuran lobang terlalu kecil untuk pemasangan pipa-pipa, lubang yang kekecilan tersebut harus dimesin ulang. Sebaliknya ukuran lubang yang kebesaran  $\geq 2\%$  tidak diijinkan. Selain ukuran lobang

pembatas, kebersihan permukaan dari serpihan-serpihan logam sisa pengerjaan harus diinspeksi. Pemasangan pipa-pipa kecil pada lubang pembatas tidak diijinkan menggunakan pelumas.

o **Sambungan Flens**

Pada sambungan flens yang perlu diinspeksi adalah kedataran permukaan dari

flens setelah selesai disambungkan pada saluran atau tabung. Hal ini akan dapat menghindarkan suatu kesalahan dalam pembuatan. Deteksi pelengkungan yang terjadi pada flens dengan cara memutar alat pengukur permukaan (*straightedge*) pada permukaan flens untuk menampakkan penggelombangan dan pencekungan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



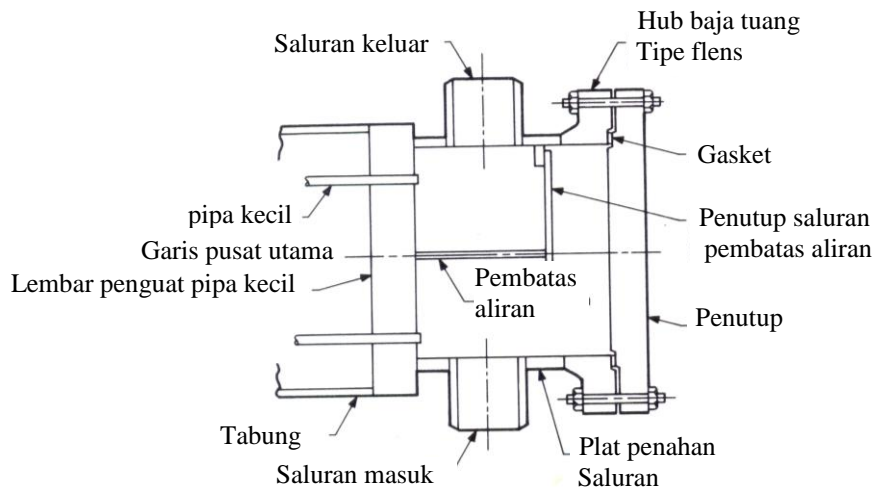
Gambar 2. Pemeriksaan pelengkungan flens sebagai akibat pengelasan.

Jika dalam inspeksi secara visual terlihat adanya pelengkungan yang berlebihan sebagai akibat suhu pengelasan, jarak penyimpanan ditentukan dari kedataran plat dengan menganjalkan “*dial indicator*” di atas alat pengukur permukaan (*straightedge*). Alat pengukur didorong bolak balik empat kali menyilangi permukaan plat flens. Pengukuran yang sama dilakukan pada 4 titik, 8 titik atau 16 titik. Hal ini sangat berguna untuk memastikan bahwa semua baut pengikat flens akan terbebani dengan beban yang sama. Untuk penukar panas reaktor nuklir dengan tekanan yang tinggi dimana kekencangan pengikatan baut akan mencapai kritis, pengencangan baut dilakukan dengan menggunakan kunci moment dan dipastikan penguncian telah mengikuti prosedur. Setelah penguncian selesai, diminta bengkel pembuat untuk menentukan momen yang timbul dari pemutaran gagang kunci moment pada masing-masing baut pengikat. Untuk penukar panas dengan tekanan tinggi, dengan beban tekanan yang berfluktuasi, atau penyebab

lainnya, tarikan baut mungkin telah ditentukan. Jika hal ini adalah permintaan pemesan, perlu disertakan beban penarikan untuk memastikan bahwa prosedur yang disetujui telah diikuti. Baut pengikat diberi nomor dengan arah berlawanan dengan jarum jam, mulai dengan No 1 pada lubang yang terletak pada 0°. Panjang baut diukur dan dicatat sebelum dan sesudah sambungan dikencangkan. Alat pengukur ultrasonik (*ultrasonic gauge*), digunakan untuk mengukur dan mencatat tegangan yang terjadi pada masing-masing baut. Jika ada baut yang mengalami perpanjangan melebihi batas elastis, rakitan tersebut tidak boleh digunakan. Pemesinan ulang dari setiap permukaan yang melengkung harus dilakukan, kemudian dipasang ulang dengan baut yang baru.

o **Saluran dan penutup**

Pada saluran dan penutup seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, yang perlu diinspeksi adalah kesimetrisan lingkaran penampang saluran dan penutup.



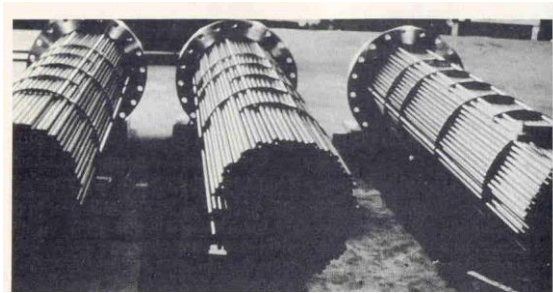
Gambar 3. saluran dan penutup

Posisi jarak garis pusat utama ke permukaan saluran, lingkaran saluran dan sambungan penutup diukur. Meter air (*water level*), *straightedge* dan penggaris baja (*steel rule*) digunakan untuk memastikan bahwa permukaan flens sejajar dengan yang lain. *Straightedge* digunakan untuk melihat apakah bagian-bagian tersebut melengkung atau tidak. Dipastikan bahwa sambungan las engsel, tutup pengangkat, pengikat belakang atau penyangga insulasi ke saluran tidak menyebabkan adanya penyimpangan (*distortion*). Untuk memeriksa kebenaran orientasi lubang baut digunakan *straightedge* dan baut atau pin. Celah partisi yang tidak segaris dengan bingkai gasket, perlu diinspeksi karena telah menggunakan gaya berlebihan untuk mendudukkan gasket. Sebagai tambahan, celah partisi ini dapat berperan penting sebagai celah *bypass* partisi untuk perbaikan. Oleh karena itu, perlu dipastikan bahwa partisi ditempatkan diantara 0,8 mm dari posisi yang ditunjukkan pada gambar.

Pengelasan celah partisi ke tabung dan lembar penguat pipa dapat menyebabkan pelebaran, sehingga tetesan cairan logam las mengendap menimbulkan gumpalan dan menutup celah partisi. Pengelasan yang tidak benar dapat menyebabkan korosi. Pada lokasi ini perlu dilakukan inspeksi persiapan penyambungan dan pelaksanaan pengelasan. Bila partisi-partisi berbentuk kerucut dan untuk tempat dudukan gasket, perlu diperhatikan apakah bentuk ketirusan partisi sama dan berada dalam toleransi yang sesuai.

o **Pipa-pipa kecil (Tube).**

Pipa-pipa kecil (*tube*) merupakan bagian penting pada proses perpindahan panas. Bentuk konstruksinya dapat dilihat pada Gambar 2. Sebelum dirakit, bahan pipa-pipa kecil perlu diinspeksi agar sesuai dengan kriteria rancangan. Pelaksanaan inspeksi terhadap pipa-pipa kecil dipilih secara random



Gambar 2. rakitan pipa-pipa kecil (bundel)

Pipa-pipa kecil diketuk dengan pelan dengan palu inspeksi. Pantulan suara yang dikeluarkan berdering nyaring menunjukkan bahwa pipa-pipa kecil tersebut terlalu keras. Bengkel diminta untuk menguji kekerasan setiap pipa kecil yang dicurigai dengan alat uji kekerasan portabel. Hal ini sangat penting mengingat tingkat kekerasan pipa-pipa kecil tidak dapat diturunkan dengan perlakuan panas. Semua pipa-pipa kecil yang kekerasannya melampaui batas yang diijinkan tidak dapat digunakan. Jika lebih dari 2 % dari pipa-pipa kecil yang diinspeksi melampaui harga batas, bagian keteknikan perlu dihubungi untuk menentukan tindak lanjut yang harus dilaksanakan. Jika perlu, pabrik pembuat harus menunda pemasangan sampai diperoleh instruksi dari bagian keteknikan. Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter pipa-pipa kecil dan keovalan dari sampel acak yang dipilih. Jika lebih dari 2 % dari pipa yang diinspeksi tidak sesuai dengan spesifikasi, seluruh pipa-pipa kecil harus diukur sebelum difabrikasi dan semua pipa yang melampaui batas toleransi tidak dapat digunakan. Uji visual dilaksanakan dengan cara melihat cacat permukaan (*scratch*), karat dan kekotoran diluar dan di dalam pipa-pipa kecil. Pipa yang kotor setelah dibersihkan dari debu dan gemuk dapat digunakan pada rakitan. Pipa-pipa yang berkarat, tergores atau mengalami kerusakan mekanik tidak boleh digunakan. Ujung pipa-pipa kecil harus sempurna kehalusannya waktu disentuh, tanpa pemotongan atau penggergisan. Kesempurnaan dan kesesuaian susunan dari pipa-pipa kecil berlapis dua sangat penting. Pipa

luar sudah dipotong sebelumnya tanpa merusak pada pipa bagian dalam. Ukur jarak pusat ke pusat dari beberapa pipa-pipa kecil bagian dalam pada masing-masing barisan pipa-pipa kecil U. Pipa-pipa kecil U yang membias melebihi batas dimensi pembengkokan yang ditentukan dalam gambar teknik harus dirijek. Bengkokan yang dibentuk dengan cara pemanasan diperiksa untuk mengetahui apakah bentuknya sudah sesuai dengan spesifikasi. Ketinggian pin dan permukaan bagian luar diperiksa supaya ukurannya sesuai dengan spesifikasi. Materi yang perlu diperhatikan adalah ketinggian pin, spasi dan permukaan bagian luar. Setelah pipa-pipa dimasukkan kedalam bundel dan belum diikat, panjang bundel harus dicek sesuai dengan batas yang diijinkan. Bila pada gambar spesifikasi diperlukan penyempurnaan pada satu atau kedua plat pengikat, bagian ujung harus diuji kembali setelah penyambungan selesai.

#### o **Tabung**

Yang perlu diinspeksi pada tabung penukar panas reaktor nuklir adalah item-item berikut:

1. Tebal tabung dan diameter dalam;
2. Keliling tabung, cacat plat dan las jepit (*weld shrinkage*);
3. Kecocokan sisi ke sisi untuk pengesetan aksial pada garis pusat.
4. Lokasi, dimensi, dan konstruksi dari pelindung gesekan (*impingement*).
5. Zona pemisah pasokan air masuk dan selimut dan sambungan plat penguat tube pada permukaan sisi dalam tabung
6. Rel pengarah bundel

7. Ketinggian pintu pembuangan kelebihan aliran dan celah pembuangan air sisa.
8. Kedalaman pencelupan pipa-pipa tegak dan pipa-pipa pembuangan udara.
9. Peralatan pengumpul untuk pembuangan zat-zat yang tidak terkondensasi.
10. Peralatan distribusi untuk pembuangan curahan air.

Celah diantara pembatas bundel dengan tabung tidak boleh melampaui standar acuan fabrikasi atau yang ditunjukkan pada gambar teknik yang telah disetujui. Bundel harus mudah disisipkan kedalam tabung dan ditarik keluar tanpa menggunakan gaya yang besar yang dapat membuat bundel rusak. Oleh karenanya, tabung harus bundar tidak berbentuk oval dan bebas dari noda yang berasal dari lelehan logam cair pengisi las, tidak boleh ada pengecilan diameter (*nozzle*), pengecilan diameter bagian dalam akibat penonjolan pada bagian pengelasan. Bila diminta dalam spesifikasi pemesan, pemasangan ulang bundel dilakukan untuk memastikan bahwa pemasangan bundel dilakukan dengan lancar tanpa paksaan. Keduanya harus didorong dengan cara memasukkan, membersihkan dan memasukkan kembali bundel. Jika penggunaan uji *template* telah disetujui perjalanan masuknya bundel secara keseluruhan sepanjang tabung harus diamati. Bagian yang dimasukkan terdiri dari dua piringan yang kokoh, diameternya sama dengan diameter penampang lintang aktual dari pembatas. Setiap pembatas mempunyai beda ketinggian sebesar 304,8 mm dan dihubungkan dengan suatu batang penahan dengan struktur yang kokoh. Inspeksi semua komponen yang dimasukkan ke dalam tabung dilakukan untuk mengkonfirmasi apakah komponen tersebut sesuai dengan dokumen pemesanan. Pada kondisi lain kadang-kadang perusahaan pembuat sudah mengetahui bahwa sebelum unit penukar panas dikirim pemesanan, diperlukan observasi dari komponen yang dimasukkan ke dalam tabung. Sewaktu menginspeksi tabung, harus diperhatikan letak tanda titik pengepasan (*Quarter point* = titik 0°, 90°, 180°, dan 270°) terhadap

garis sumbu tabung (garis sumbu adalah garis yang melalui titik potong 0-180° dan 90-270°) pada semua bagian yang dipasang padanya dan pada lembar penguat pipa. Posisi relatif flens tabung pada garis sumbu atau posisi relatif lubang baut dari plat penguat pada garis sumbu harus dibandingkan terhadap posisi lubang-lubang baut tersebut seperti pada gambar. Ketepatan tabung flens atau plat penguat pipa-pipa kecil pada *quarter point* diukur dengan menggunakan penanda baja (*steel tape*) dan level (*water pass*). Posisi relatif sambungan, penguat, plat ring penguat sambungan (*vapor belt*), sambungan ekspansi, dan semua peralatan diperiksa terhadap titik kerjanya. Panjang tabung pada *quarter point*, nozel dan jarak dasar penguat pada garis sumbu tabung harus diukur. Pelana (*saddle*) dan posisi lubang baut pengikat pada tabung diperiksa kesesuaiannya terhadap plana dan lubang baut bundel yang disisipkan. Dengan cara yang sama dimensi aksial dari nozel harus diperiksa. Untuk menentukan kekokohan nozel dan penguat digunakan meter air (*water pas*) dan *starightedges*. Kesalahan penempatan posisi nozel dan penguat tidak langsung menjadi dasar penolakan atau perbaikan ulang bila melebihi toleransi seperti yang diperlihatkan pada gambar dan spesifikasi. Setiap penyimpangan harus dikonfirmasi ke bagian keteknikan untuk menentukan jika mereka dapat menerimanya. Perbedaan yang masih dalam batas yang diijinkan dicatat pada buku inspektor dan gambar ditandai dengan dimensi aktual. Bengkel diminta untuk mengganti gambar asli agar dapat memperlihatkan dimensi seperti yang terdapat pada *print-out* untuk dokumentasi.

#### o **Bundel (*bundle*)**

Lokasi pembatas sangat berpengaruh terhadap pengoperasian *thermal* dan mekanis. Oleh karena itu jarak lembar penguat pipa kecil ke pembatas pertama, celah diantara pembatas, dan jarak dari pembatas akhir pada bengkakan pipa-pipa kecil berbentuk U atau penahan yang berdekatan dengan penguat



pipa kecil bagian belakang perlu diukur. Pada bundel pemanas pasokan air diperiksa apakah posisi aksial dan elevasi dari selubung zona pemanas lanjut dan zona pendinginan awal dari pembuangan telah disesuaikan dengan gambar detail. Sisi masuk dan sisi keluar dalam zona pemanas lanjut dan pendingin awal harus sesuai dengan gambar detail. Karena ketinggian pembatas pintu pemasukan air (*dam*) menentukan berapa banyak air yang harus disediakan untuk proses pendinginan awal pada pengembun (*condensers*), bagian ini harus dipotong pada

bagian sebelah kanan perlu diperiksa apakah pemotongan ini sudah sesuai dengan gambar detail. Dimensi, posisi plat pelindung gesekan dan plat pelindung pipa-pipa kecil yang ditempelkan, serta kualitas pekerjaan juga harus diperiksa.

**Penyiapan peralatan pengujian**

Banyak peralatan dan instrumen yang diperlukan untuk melakukan pemeriksaan penukar panas reaktor nuklir di bengkel yang sederhana dan mudah dibaca, seperti yang ditunjukkan pada Tabel (1) berikut.

Tabel 1. Peralatan dan instrumen untuk pemeriksaan di bengkel

<b>Apa yang akan diuji</b>	<b>Apa yang harus digunakan</b>
Memotong plat pembatas ( <i>baffle cuts</i> )	Pengukur panjang ( <i>scale</i> )
Pertambahan panjang baut ( <i>bolt elongation</i> )	Micrometer calipers, micrometer sonic
Penyesuaian lobang baut ( <i>Bolt hole orientation</i> )	Pin-baut pengukur lobang; <i>square, and</i> Pengukur kelurusan ( <i>straightedge</i> ).
Plat pengungkung saluran	Pengukur kelurusan dan <i>dial indicator</i>
Plat flens penguat tube	Pengukur kelurusan dan <i>dial indicator</i> Sampel pembandingan dan dial indikator
Kualitas pengerjaan permukaan ( <i>Finishing</i> )	Sampel pembandingan dan indikator optik
Plat flens ( <i>Flange flatness</i> )	Pengukur kelurusan dan <i>dial indicator</i>
Lekukan flens ( <i>Flange scalloping</i> ), penyimpangan di antara lobang baut.	Alat peraba ( <i>Feeler gauges</i> ) saat dipasang; Pengukur kelurusan dan <i>dial indicator</i> Sebelum dipasang
Penyimpangan ikatan ( <i>Ligament distortion</i> )	<i>Internal dial caliper; strain gauges</i>
Nozle dan penopang sudut	Water pas, pengukur kelurusan atau
Pelengkungan plat penutup pembatas aliran ( <i>Past partition bending</i> )	Meteran panjang, alat ukur kelurusan dan <i>dial indicator</i>
Lokasi <i>Past partition</i>	Meteran panjang dan alat pengukur kelurusan
Lenturan pipa kecil ( <i>Tube bowing</i> )	Cahaya intensitas tinggi ( <i>high intensity light</i> )
Diameter tube, keovalan dan ketebalan tube	Alat pengukur lubang, <i>internal dial calipers; outside micrometers calipers</i>
Diameter lubang tube	<i>Go-no-go gauge; hole gauge; internal dial calipers</i>
Kesejajaran dua buah lembar penguat tube yang berdekatan	Pita ukur baja
Rotasi lembar penguat tube ke arah memanjang	Water pas, alat pengukur kelurusan, <i>plumb line, and protractor</i>
Pengelombangan lembar penguat pipa kecil ( <i>Tubesheets waviness</i> )	Alat pengukur kedataran permukaan dan <i>dial indicator</i>

Tabel 1. Lanjutan

<b>Apa yang akan diuji</b>	<b>Apa yang harus digunakan</b>
Lenturan sudut sambungan ekspansi	<i>Trammels and scale; level and Straighttdge</i>
Penggelombangan sambungan ekspansi ( <i>Expansion- joint squirm</i> )	<i>Trammels and scale</i>
Ukuran las ( <i>Weld size</i> )	Alat pengukur ketebalan las ( <i>Welding gauge</i> )

Siapkan alat tulis untuk penandaan bagian yang tidak memenuhi syarat dan buku log pemeriksa (*inspector log*) untuk tempat pencatatan hasil akhir pemeriksaan.

### Penyiapan laporan hasil inspeksi

Cara yang paling efektif untuk mencapai tujuan inspeksi yang konsisten dari penukar panas reaktor nuklir adalah mempersiapkan laporan singkat yang jelas dari pelaksanaan inspeksi yang dilakukan secara jujur dengan format yang baku. Oleh karena itu perlu dipersiapkan suatu dokumen berupa buku log pemeriksaan (*inspector log book*). Dokumen ini menetapkan personal pelaksana pemeriksaan (*inspector*) yang akan melakukan pekerjaan, apa saja yang akan diperiksa, bagaimana melakukannya, dan kapan dilakukan serta mengatur batasan pemeriksaan, tanggung jawab dan kewenangannya. Seseorang yang ditugasi sebagai pelaksana inspeksi bertanggung jawab untuk menyusun dan menggabungkan kedalam bentuk laporan singkat hasil inspeksi, spesifikasi pemesanan (*vendor requirement*), penentuan rencana, gambar terpasang, gambar *rinci* (*detail*) dan daftar kebutuhan material dari perusahaan pembuat. Yang termasuk dalam daftar kebutuhan material perusahaan pembuat adalah: (1) peralatan pemasangan dan instrumen yang diperlukan untuk pemeriksaan, (2) pengujian konstruksi dan dokumentasinya, (3) prosedur pemeriksaan dan pengkualifikasian personil, (4) memastikan bahwa pelaksanaan kendali mutu sesuai dengan yang disetujui, (5) melakukan pengukuran dan pengujian fisik dari pekerjaan dan (6) mengumpulkan dokumen yang diperlukan untuk menetapkan tahapan-tahapan kegiatan.

Dengan laporan rinci dari hasil inspeksi yang dilakukan akan diketahui permasalahan-permasalahan yang timbul selama proses fabrikasi agar penukar panas tersebut sesuai dengan desainnya.

### PEMBAHASAN

Penukar panas adalah suatu sistem yang sangat penting dalam pengoperasian reaktor nuklir. Oleh karena itu pemesan atau pemilik reaktor perlu memberikan perhatian khusus dalam proses perwujudan penukar panas ini. Salah satu kegiatan yang mendukung perhatian khusus ini, diaplikasikan dalam bentuk inspeksi proses fabrikasi. Hal ini dimaksudkan agar penukar panas yang dipesan benar-benar sesuai dengan kriteria desain yang telah disepakati oleh pemesan dan pembuat. Pelaksanaan inspeksi proses fabrikasi penukar panas reaktor nuklir ini meliputi: penentuan kualifikasi personil pelaksana, penyiapan petunjuk pelaksanaan pengujian, penyiapan peralatan pengujian, penyiapan laporan pengujian. Dalam penentuan kualifikasi personil pelaksana inspeksi proses pabrikan ini diperlukan persyaratan-persyaratan khusus, yang meliputi tingkat pendidikan, keahlian dan keterampilan ataupun pengalaman. Personil yang memenuhi persyaratan kualifikasi akan memahami keperluan apa yang dibutuhkan dalam pelaksanaan inspeksi proses fabrikasi penukar panas tersebut. Selain itu, personil tersebut akan memahami kewenangan dan tanggung jawab yang dimilikinya, serta tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan inspeksi yang dilakukan. Hasil temuan pemeriksaan dapat mengakibatkan: pergan-

tian personil pelaksana fabrikasi, perbaikan prosedur, penerapan prosedur yang benar, pergantian bahan, kelengkapan peralatan yang diperlukan untuk pembuatan maupun pemeriksaan. Semua ini bertujuan untuk mendapatkan penukar panas yang dikerjakan dengan baik dan teliti agar penggunaan penukar panas tersebut dapat mencapai tujuan, beropersai dengan baik, mudah dirawat, dapat beroperasi minimum sesuai dengan umur pemakaian yang didesain. Seluruh hasil kegiatan yang dilakukan harus didokumentasikan dalam suatu dokumen yang disusun secara lengkap, ringkas dan jujur berupa laporan singkat pemeriksaan. Dokumen ini sangat berguna untuk pelaksanaan perawatan, perbaikan maupun pergantian dimasa datang.

Dengan uraian-uraian yang dikemukakan, diharapkan masyarakat pembaca dapat memahami bagaimana inspeksi proses fabrikasi penukar panas reaktor nuklir ini dilakukan. Sehingga dengan pemahaman yang diperoleh, kepercayaan masyarakat terhadap teknologi nuklir semakin meningkat. Di sisi lain, akan tersedia calon-calon *inspector* proses pabrikasi penukar panas yang mampu melaksanakan tugasnya dengan baik, terutama di lingkungan Badan Tenaga Nuklir Nasional yang oleh pemerintah ditugasi untuk menangani ketenaga nukliran di Indonesia.

## KESIMPULAN

Dari uraian-uraian yang dikemukakan di atas dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Pemahaman yang baik terhadap pemeriksaan pembuatan penukar panas reaktor nuklir akan menghasilkan pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan standarisasi yang berlaku.
- 2) Pelaksanaan pemeriksaan pembuatan penukar panas reaktor nuklir yang benar akan menghasilkan produk penukar panas yang sesuai dengan desain dan dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan desainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1) Anonimous, Dokumen Managemen Penuaan RSG-GAS, No.Ident: TRR.KP. 01.09.90.04, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong 2003.
- 2) Anonimous, Landmark BATAN, batan.go.id
- 3) DONALD. Q. KERN, *Paralel-Counter-flow Shell and Tube Excchanger*, McGrawhill, Kogakusha, LTD, Tokyo, 1950.
- 4) STANLEY YOKELL, *A Working Guide To Shell and Tube Heat Exchanger*, McGraw-Hill Publishing Company, New-York 1990.