

MONITORING KERUSAKAN FATIK MATERIAL SS304 METODE TAK MERUSAK DENGAN MENGGUNAKAN ULTRASONIK

Alim Mardhi dan Roziq Himawan

Pusat Teknologi Reaktor Dan Keselamatan Nuklir – BATAN
Gedung 80 PUSPIPTEK Serpong, 15310
alim_mardhi@yahoo.com; roziqh@yahoo.com

ABSTRAK

MONITORING KERUSAKAN FATIK MATERIAL SS304 METODE TAK MERUSAK DENGAN MENGGUNAKAN ULTRASONIK. Material SS304 banyak digunakan di reaktor nuklir jenis PWR dan BWR sebagai baut penyokong perisai panas, tabung surveillance specimen dan core barrel. Untuk itu perlu dilakukan perawatan pencegahan (preventive maintenance) untuk mengetahui lebih awal kondisi material sehingga dapat dilakukan pencegahan kecelakaan. Dalam penelitian ini dilakukan monitoring proses kerusakan fatik dengan metode tak merusak menggunakan gelombang ultrasonik. Material SS304 diuji fatik menggunakan mesin fatik rotating bending dan dilakukan monitoring setelah mencapai siklus tertentu untuk mengamati kerusakan akibat proses fatik yang terjadi menggunakan gelombang ultrasonik. Dari hasil pengamatan, retak dapat diamati setelah siklus mencapai 77% dari jumlah siklus keseluruhan dengan terbentuknya pola gelombang yang menandakan adanya cacat retak. Sebagai kesimpulan adalah metode ultrasonik dapat diterapkan dalam memonitoring proses kerusakan fatik yang pada akhirnya dapat menjaga kehandalan dan keselamatan komponen dalam operasi reaktor nuklir.

Kata kunci: Monitoring kerusakan fatik, metode tak merusak, ultrasonik.

ABSTRACT

NON DESTRUCTIVE METHOD FOR MONITORING SS304 FATIGUE DAMAGE BY USING ULTRASONIC. SS304 material commonly use for components in nuclear reactor type PWR and BWR such as the thermal shield bolts, surveillance specimen holder tubes and core barrel. For this reasons, preventive maintenance should be done to know early condition of material to prevent from accident. In this research was done the monitoring of fatigue damage with non destructive method by using ultrasonic. Monitoring is subjected to rotating bending fatigue test of SS304 specimen by using ultrasonic method after several cycles to observe the damage initiation. The result of the monitoring is the crack can be supervision after 77% of the total life reached and signed by getting trend of wave. The conclusion is the ultrasonic method can be applied in monitoring process of fatigue damage that finally keeps reability and safety in operation component.

Key word: Fatigue damage monitoring, non destructive test, ultrasonik

PENDAHULUAN

Retak sebagai cacat inisiasi yang menyebabkan kerusakan fatik sangat penting untuk dapat dideteksi lebih awal dan dikontrol sehingga kerusakan yang terjadi dapat diantisipasi. Salah satu cara adalah dengan metode uji tak merusak menggunakan gelombang ultrasonik. Keunggulan metode ini adalah sangat sensitif untuk *discontinuity* di permukaan dan di bawah permukaan, memiliki kedalaman dari penetrasi untuk deteksi cacat atau pengukuran mengungguli metode uji tak merusak lainnya, sangat akurat dalam menentukan posisi cacat, estimasi ukuran dan bentuk cacat^[1].

Pada penelitian kali ini digunakan material SS304 yang diuji fatik menggunakan mesin fatik *rotating bending*. Material SS304 banyak digunakan pada komponen struktur bagian dalam

reaktor seperti pada *core support barrel assembly, lower support structure, upperguide structure*^[2]. Komponen ini berfungsi sebagai pendukung pada teras reaktor. Komponen ini sering mengalami beban fatik akibat vibrasi sehingga diperlukan monitoring untuk menghindari kerusakan yang terjadi secara tiba-tiba.

Pada penelitian ini monitoring dilakukan terhadap spesimen yang diuji fatik dan dalam jumlah siklus tertentu pengujian dihentikan untuk dimonitor inisiasi retaknya menggunakan alat uji ultrasonik. Metode ultrasonik yang dipakai adalah metode *water immersion* dengan sudut probe yang diatur sebesar 30° untuk menghasilkan pola rambatan gelombang permukaan (*Rayleigh wave*).

Penelitian ini adalah sebagai studi awal metode monitoring inisiasi retak pada proses kerusakan fatik metode tak merusak

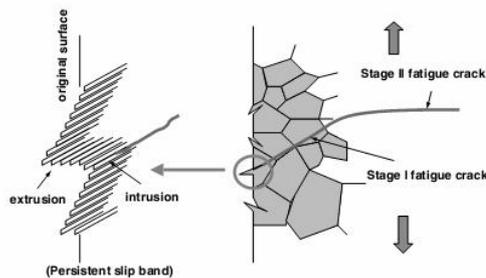
menggunakan ultrasonik yang bertujuan untuk mendapatkan pola gelombang pantul akibat cacat retak serta dapat mengestimasi posisi dan besar dimensi retak dan dapat mengestimasi umur fatik material.

TEORI

Kerusakan Fatik

Mekanisme kerusakan fatik dibagi menjadi tiga tahap yaitu inisiasi atau pembentukan retak (*crack initiation*), pertumbuhan dan perambatan retak (*crack growth, crack propagation*) dan kerusakan fatik (*fatigue damage*). Tiga parameter yang menjadi penyebabnya adalah adanya pembebanan berulang, tegangan tarik dan regangan plastis. Bila salah satu dari parameter ini tidak ada maka retak sebagai inisiasi kerusakan fatik tidak akan merambat menjadi kerusakan fatik^[3]. Proses kerusakan fatik dimulai dari pembebanan berulang pada material selama waktu tertentu sehingga terbentuk regangan plastis pada daerah konsentrasi tegangan. Regangan plastis ini akan memicu terbentuknya inisiasi retak. Tegangan tarik kemudian akan memicu inisiasi retak untuk tumbuh dan merambat sampai terjadinya kerusakan^[4].

Selama pembebanan siklis pada material secara mikro terjadi deformasi plastis setempat yang disebabkan oleh besarnya konsentrasi tegangan sehingga terbentuklah bidang slip. Slip setempat ini akan menimbulkan cacat permukaan yang berupa ekstrusi dan intrusi. Semakin lama siklus pembebanan akan menyebabkan terbentuk lebih banyak lagi bidang-bidang slip khususnya disekitar daerah ekstrusi dan intrusi sehingga munculah inisiasi retak^[3].



Gambar 1. Proses Terbentuknya Inisiasi Retak Uji Ultrasonik

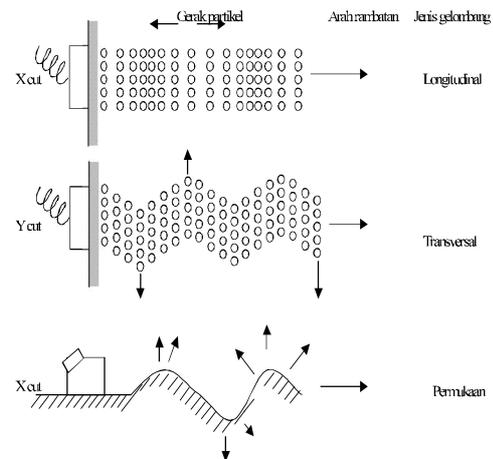
Prinsip uji ultrasonik adalah menggunakannya gelombang pendek ultrasonik dengan frekuensi berkisar antara 5 kHz sampai dengan 10 MHz yang dihasilkan oleh alat elektronik pulser, dikuatkan oleh transduser dan dipancarkan oleh probe. Gelombang yang

merambat akan dipantulkan kembali dan ditangkap oleh *receiver* untuk ditampilkan pada layar.

Pada kondisi normal hanya ada dua pola gelombang yang ditampilkan, gelombang pantulan dari permukaan pertama dan gelombang pantulan dari batas geometri. Bila pantulan mengenai *discontinuity* seperti retak, sebagian energi akan dipantulkan kembali dari permukaan cacat menjadi pola sinyal baru yang terletak antara gelombang pertama dan gelombang terakhir pantulan dari batas geometri. Jarak (*S*) *discontinuity* material dapat di ketahui dengan menggunakan hubungan persamaan kecepatan (*v*) dan waktu (*t*) seperti ditampilkan pada persamaan 1^[5].

$$v = \frac{2s}{t} \quad (1)$$

Berdasarkan pola rambat gelombang, gelombang ultrasonik dibagi menjadi beberapa tipe antara lain gelombang longitudinal, gelombang transversal dan gelombang permukaan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

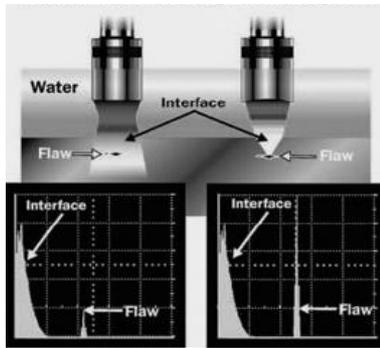


Gambar 2. Pola Rambat Gelombang Ultrasonik.

Metode Immersion

Ada dua metode inspeksi dengan menggunakan ultrasonik yaitu metode kontak langsung dan metode rendam (*immersion*). Untuk metode *immersion* biasanya menggunakan media berupa air. Pada metoda ini baik material maupun probe direndam dalam suatu tangki *couplant* seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pada pemeriksaan *immersion*, sudut yang diperlihatkan oleh indikator sudut pada manipulator adalah sudut datang. Perlu diketahui aplikasi hukum *Snell* dan menghitung sudut bias pada benda uji untuk mendapatkan pola rambat gelombang yang diinginkan. Untuk aplikasi *immersion* dibutuhkan pancaran suara yang lebih

tajam, untuk itu harus digunakan *focused transducer* untuk memfokuskan energi suara ke suatu diskontinuiti yang kecil.



Gambar 3. Metoda Pengujian *Immersion*^[3].

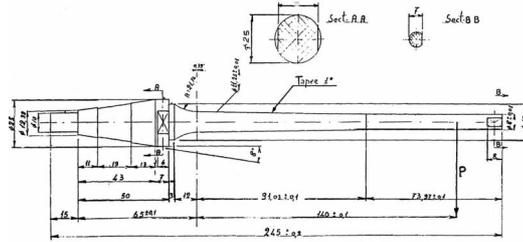
Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh adalah gelombang permukaan dimana gelombang longitudinal dan transversal merambat bersamaan pada kecepatan yang sama. Kecepatan rambat gelombang ini berkisar 0,87 dan 0,95 dari kecepatan gelombang transversal. Pada metode *immersion* ada fenomena yang disebut bocoran energi gelombang Rayleigh (*leaky Rayleigh wave*) terjadi pada perambatan gelombang Rayleigh yang melalui *interface solid-liquid*. Energi akustik yang dipancarkan kedalam cairan dengan sudut Rayleigh sebesar 30° (untuk mendapatkan pola rambat gelombang permukaan) akan mengeksitasi bocoran energi Rayleigh ke permukaan *solid*. Energi gelombang Rayleigh akan di atenuasikan pada komponen berdasarkan perambatan pada bidang permukaan normal^[6].

METODOLOGI

Uji Fatik

Dalam penelitian ini digunakan spesimen dari material baja nir karat SS304. Bentuk dan dimensi spesimen untuk pengujian fatik mengacu pada standar pengujian fatik ISO 1143 dan ISO R375 dan disesuaikan dengan spesifikasi mesin uji fatik yang digunakan. Pada pengujian ini digunakan jenis spesimen Toroidal sebagaimana di tampilkan dalam Gambar 4. Jenis pembebanan untuk spesimen jenis ini adalah tipe *cantilever* yaitu dengan ujung yang digantung beban sebesar P pada jarak 155 mm dari titik tumpu kemudian diputar sehingga menjadi pembebanan bolak-balik yang merupakan jenis pembebanan dalam fenomena fatik.



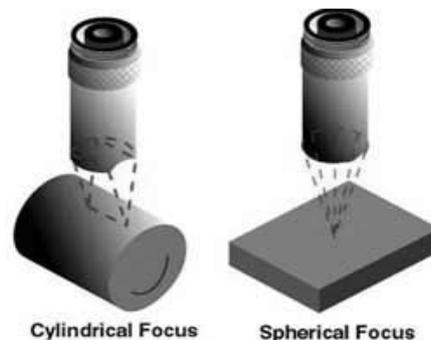
Gambar 4. Spesimen Jenis Toroidal yang Digunakan dalam Pengujian^[7]

Dalam pengujian ini digunakan mesin uji fatik dengan tipe pembebanan *rotating bending* buatan ANSALDO Italia. Pengujian dilakukan pada lingkungan temperatur suhu ruang dengan beban 230 MPa serta kecepatan putaran motor diambil 3000 rpm dari pilihan kecepatan motor 1000, 2000 dan 3000 rpm yang dimiliki mesin. Kecepatan ini diambil untuk mendapatkan pencapaian siklus yang di inginkan lebih cepat agar mudah diamati.

Pada saat pengujian fatik dilakukan akan dihentikan pada jumlah siklus tertentu dan kemudian spesimen akan dimonitor dengan menggunakan alat uji ultrasonik. Dari pengujian ini diharapkan dapat dimonitornya proses pertumbuhan retak pada pengujian fatik.

Uji Ultrasonik

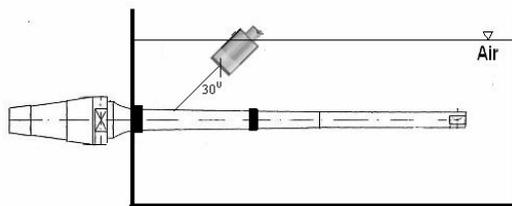
Peralatan pengujian ultrasonik yang digunakan antara lain *Ultrasonik Pulsar-Receiver* yaitu komponen untuk membangkitkan gelombang ultrasonik secara elektronik. Kemudian *probe* atau *transducer* jenis *immersion* mempunyai frekuensi maksimum 10 MHz yang dirancang untuk beroperasi pada lingkungan cair dan dilengkapi dengan lensa fokus berbentuk bola atau *spherical* sehingga dapat meningkatkan kepekaan dan resolusi aksial oleh konsentrasi energi suara ke daerah yang lebih kecil. Ada juga probe yang sejenis lainnya berbentuk silinder namun tidak dipergunakan pada pengujian ini seperti ditampilkan pada Gambar 5.



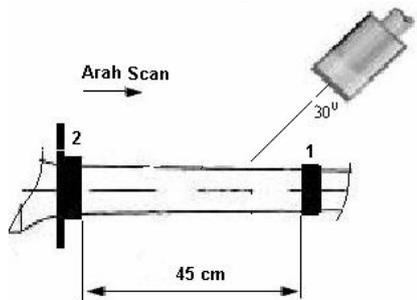
Gambar 5. Probe fokus^[3].

Gelombang yang dipancarkan oleh *probe* akan ditampilkan pada layar osiloskop dalam bentuk sinyal dengan domain waktu (mikro second) versus energi dalam bentuk tegangan (*volt*). Data dari osiloskop dapat direkam dengan menggunakan perangkat lunak *Open Choice* yang telah terinstall di komputer untuk selanjutnya dapat diolah dengan menggunakan program pengolah data yang tersedia pada sistem operasi komputer tersebut.

Spesimen yang telah diuji fatik akan di *scan* untuk dapat memonitor proses fatik dengan ditandai munculnya retak. Metode yang digunakan adalah metode *immersion* dengan posisi sudut *probe* 30^0 untuk mendapatkan pola gelombang permukaan. Skema pengujian ditampilkan pada Gambar 6 dimana spesimen dimasukkan kedalam bak air dengan posisi masih terpasang pada mesin uji fatik, luasan penyisiran dilakukan dari batas 2 ke batas 1 seperti ditampilkan pada Gambar 7. luasan dipusatkan pada daerah yang kemungkinan terbesar terbentuknya retak.



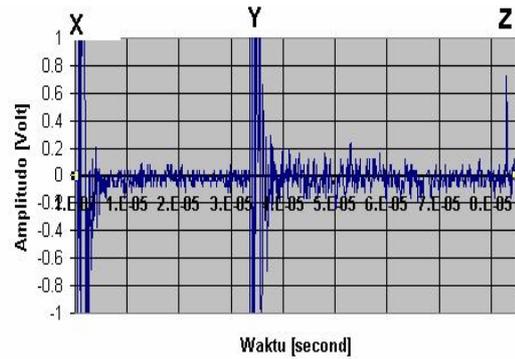
Gambar 6. Skema Pengujian Ultrasonik



Gambar 7. Daerah dan Batas Penyisiran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penyisiran dengan material baru tanpa cacat diperoleh tampilan dilayar osiloskop seperti tertera pada Gambar 8. Data ini berisi informasi proses perambatan gelombang dan tingkat energi. Pola ini digunakan sebagai pembandingan untuk mengetahui adanya pola baru karena adanya cacat. Dari gambar dapat diperoleh informasi bahwa sumbu absis adalah waktu tempuh gelombang dalam detik dan sumbu ordinat adalah amplitudo gelombang dalam satuan volt.



Gambar 8. Pola Gelombang Untuk Material Baru Tanpa Cacat

Untuk informasi proses perambatan gelombang ditandai dengan tiga puncak X, Y dan Z. Puncak X adalah inisiasi pulsa yang keluar dari *probe* dapat diartikan sebagai energi awal atau energi total. Jenis gelombang yang dipancarkan dari *probe* adalah gelombang longitudinal. Puncak Y adalah pantulan balik pertama setelah gelombang longitudinal mengenai permukaan spesimen. Dengan cepat rambat gelombang longitudinal sebesar 5900 m/s maka waktu antara puncak pertama dan puncak kedua sebesar 33,3 mikro detik adalah setara dengan jarak 1 inci, jarak ini adalah sama dengan jarak fokus lensa *probe*. Terakhir adalah puncak Z yaitu pantulan balik dari gelombang permukaan yang mengenai pembatas nomor 2. Daerah antara puncak Y dan puncak Z adalah daerah rambat gelombang permukaan. Jika dipermukaan terdapat *discontinuity* maka akan timbul puncak gelombang baru pada daerah ini.

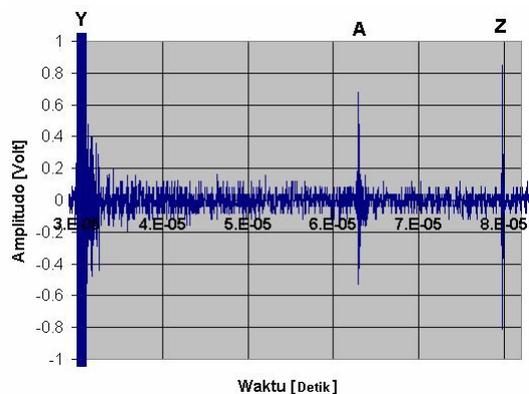
Setelah diperoleh informasi pola gelombang awal, dilakukan pengujian fatik dengan menggunakan mesin uji fatik tipe *rotating bending*. Sebagai data awal menentukan batas jumlah siklus yang dicapai untuk dihentikan dan dilakukan pemantauan, dipergunakan estimasi umur fatik dengan menggunakan grafik S-N hasil pengujian terdahulu^[6]. Estimasi umur fatik untuk beban sebesar 230 MPa adalah 95000 siklus. Dari umur ini direncanakan untuk pemantauan pengujian dibagi menjadi 10 tahap. Namun kenyataannya umur fatik sebenarnya adalah sebesar 270230 siklus.

Perbedaan yang besar antara hasil estimasi dengan hasil eksperimen karena hasil estimasi diperoleh dari hasil pendekatan menggunakan persamaan matematik dan perhitungan ini biasanya digunakan untuk keperluan perhitungan desain komponen dengan faktor keamanan yang besar. Sedangkan hasil eksperimen adalah kondisi sebenarnya dimana hasil pengujian tidak dapat diprediksi dan ditentukan besarnya. Namun secara analisis umur fatik hasil pengujian lebih lama dari hasil

estimasi adalah karena adanya sifat mekanik material pada daerah elastis yaitu resiliensi (*resilience*) yang di definisikan kemampuan material untuk menyerap energi tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi plastis.

Material yang diberi pembebanan terus menerus akumulasi energi yang diserap akan bertambah terus seiring dengan bertambahnya waktu sampai material tersebut tidak mampu lagi menyerap energi sehingga mengalami deformasi atau patah. Namun pada kasus ini, pembebanan tidak dilakukan secara terus menerus tetapi dihentikan beberapa kali pada siklus tertentu. Ini menyebabkan akumulasi energi yang diserap akan kembali ke keadaan semula atau lebih rendah dari keadaan terakhir dikarenakan sifat elastis material. Sehingga waktu yang diperlukan untuk menyebabkan material mengalami deformasi plastis menjadi lebih lama jika dibandingkan dengan material yang mengalami pembebanan terus menerus.

Cacat retak termonitor pada jumlah siklus mencapai 209000 siklus dengan ditandai munculnya puncak gelombang baru diantara puncak Y dan Z. Pada Gambar 9 ditampilkan pola gelombang untuk jumlah siklus 266000 atau sesaat sebelum material mengalami kerusakan fatik. Terlihat antara puncak Y dan Z ada puncak baru A yang merupakan pantulan dari *discontinuity* yang terdapat dipermukaan material.

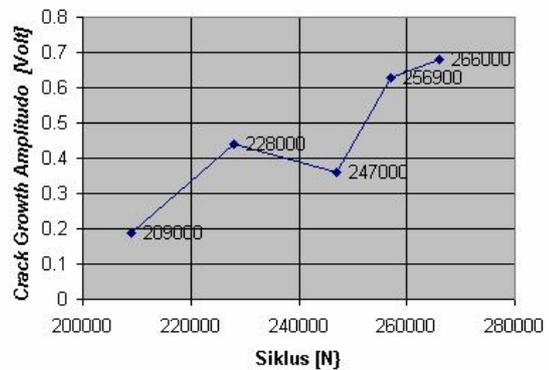


Gambar 9. Gelombang pada 266000 Siklus

Puncak A berada pada posisi waktu 6,59 mikro detik, posisi waktu batas awal penyisiran atau batas 2 adalah 8,27 mikro detik dan dinyatakan dengan puncak Z diperoleh selisih waktu sebesar 1,68 mikro detik. Dari selisih waktu ini dan kecepatan gelombang permukaan sebesar 2880 m/detik, menggunakan persamaan hubungan jarak, kecepatan dan waktu akan diperoleh jarak *discontinuity* terhadap batas 2 adalah sebesar 2,41 cm yang merupakan posisi tumbuhnya retak pada permukaan material.

Awal mula terdeteksinya pertumbuhan retak terjadi pada siklus 209000 dan akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah siklus yang dicapai. Pertumbuhan retak ditandai dengan kenaikan amplitudo dari setiap siklus. Gambar 10 menunjukkan data kenaikan amplitudo seiring bertambahnya siklus. Walau ada sedikit catatan pada pengambilan data untuk siklus 247000 amplitudonya menurun. Hal ini bisa disebabkan karena berubahnya posisi fokus lensa atau penyisiran tidak tepat pada jalur dimana ada retak terjadi.

Dari kenaikan amplitudo ini dapat diamati bahwa proses pertumbuhan retak pada proses fatik adalah retak akan semakin tumbuh sampai kekuatan fatik material sudah tidak dapat menahan pertumbuhan retak tersebut sehingga terjadilah kerusakan fatik.



Gambar 10. Grafik Pertumbuhan Retak

Keunggulan metode ini adalah dapat mendeteksi keberadaan retak lebih awal. karena bentuk fisik retak itu sendiri sangat sulit diamati dengan mata telanjang atau berukuran mikro juga inisiasi dan pertumbuhannya berlangsung sangat cepat yaitu terjadi setelah 77% dari umur fatik material tercapai atau tinggal 30% dari sisa umur untuk bertahan, maka metode untuk monitoring retak sangat mutlak diperlukan.

Seperti pada kasus diatas, retak telah terdeteksi lebih awal sebelum kerusakan terjadi, maka dapat dilakukan evaluasi estimasi sisa umur fatik komponen sehingga bila terjadi kerusakan akan gagal aman. Atau dapat diambil tindakan pencegahan kerusakan dengan melakukan perbaikan dan penggantian material yang terdeteksi adanya retak.

Dengan adanya monitoring pertumbuhan retak secara tak merusak dengan metode ultrasonik, pengawasan dan pencegahan terhadap kegagalan sistim instalasi akibat kerusakan fatik yang terjadi secara tiba-tiba dapat di minimalisir sehingga keselamatan pengoperasian komponen lebih terjamin.

KESIMPULAN

Sebagai studi awal metode monitoring inisiasi retak pada proses kerusakan fatik metode tak merusak menggunakan ultrasonik diperoleh pola gelombang pantul cacat retak yang ditandai munculnya puncak gelombang baru diantara puncak gelombang pantulan pertama permukaan dan gelombang pantulan dari ujung batas penyisiran setelah tercapai 77% dari jumlah siklus keseluruhan.

Selisih waktu rambat gelombang puncak gelombang pantulan *discontinuity* dan puncak batas penyisiran dapat diperoleh estimasi jarak dan letak retak pada permukaan. Dan untuk penelitian ini posisi retak berada pada jarak 2,41 cm dari batas penyisiran dan ini mendekati dengan batas sesungguhnya pada jarak specimen patah yaitu sepanjang 2 cm dari batas penyisiran.

Dengan bertambahnya amplitudo puncak gelombang akibat pantulan *discontinuity* seiring bertambahnya jumlah siklus yang dicapai dapat memberikan informasi bahwa retak pada proses fatik akan tumbuh dan merambat sampai pada batas ketahanan fatik komponen terlampaui.

DAFTAR PUSTAKA

1. GILLARDONI ARTURO, NonDestructive Testing NDT, Tipolitografia A.C. Italy 1981.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Status of Advanced LWR 2004, IAEA Tecdoc 1391, 2004.
3. ASM INTERNATIONAL, ASM Metal Handbook, Vol 19 Fatigue and Fracture, 1996.
4. H.O.FUCHS, RALPH I STEPHEN, Metal Fatigue in Engineering, John Willey & Sons, New York, 1983.
5. www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/cc_ut_index.htm . 17 Agustus 2009, 20.00 WIB.
6. DAVID N. CHEEKE, Fundamentals and Applications of Ultrasonik Waves, Physics Department Concordia University Montreal, Qc, Canada, 2002.
7. Fatigue Bending Test Machines Operation and Maintenance Manual, Ansaldo ESL 35820I0003, Italy, 1989.
8. ALIM MARDHI DAN ROZIQ HIMAWAN, Estimasi Umur Fatik Material SS304 Menggunakan Grafik S-N (*unpublished*)

TANYA JAWAB

Pertanyaan:

Apakah eksperimen ini dapat diterapkan untuk material komposit?

(Desi-Mahasiswa S2 Teknik Metalurgi ITS)

Jawaban:

Secara prinsip bisa saja dilaksanakan. Jika material tersebut dapat dibuat menjadi benda uji yang cocok sesuai standar mesin fatiknya.