

INSPEKSI CACAT RETAKAN PADA MATERIAL DENGAN UJI TAK MERUSAK ULTRASONIK MENGGUNAKAN METODA ANALISIS FREKUENSI SPEKTROSKOPI

Oleh: Nehru

Abstrak

Pada uji tak merusak ultrasonik biasanya suatu gelombang ultrasonik diradiasikan ke dalam material oleh sebuah transduser. Bila ada cacat, maka akan terjadi interaksi antara berkas gelombang ultrasonik dan cacat tersebut yang dapat berupa pantulan atau difraksi. Setelah terjadi interaksi, berkas gelombang ultrasonik yang dipantulkan atau didifraksikan oleh cacat ini akan diterima oleh suatu transduser lain atau transduser yang sama. Sinyal yang diterima ini kemudian diproses lebih lanjut agar diperoleh informasi mengenai karakteristik cacat. Bila cacatnya tegak lurus pada berkas gelombang, maka ukurannya dapat ditentukan dengan menggunakan analisis amplituda misalnya dengan menggunakan diagram DGS (Distance Gain Scale). Bila posisi cacatnya miring terhadap berkas gelombang, dapat digunakan analisis waktu untuk menentukan ukuran dan kemiringan cacat seperti misalnya dengan menggunakan metoda time of flight diffraction (TOFD). Tetapi bila cacatnya kecil atau terdapat derau yang cukup besar, maka harus digunakan analisis frekuensi. Di dalam pembahasan ini akan dibahas metoda dengan analisis frekuensi yang dapat digunakan untuk menanggulangi kedua masalah tersebut di atas, yaitu spektroskopi ultrasonik.

Kata kunci : Uji tak rusak ultrasonik, analisis frekuensi, spektroskopi ultrasonik

1. Pendahuluan

Uji tak merusak pada suatu material biasanya dilakukan bila kita ingin tahu apakah ada cacat atau tidak di dalam material tersebut. Kadang-kadang informasi ada atau tidak adanya cacat ini sudah cukup digunakan sebagai dasar dari suatu pengambilan keputusan, misalnya bagian material yang ada cacatnya dipotong dan dibuang atau dilebur kembali. Tetapi umumnya bila sudah diketahui terdapat suatu cacat, maka biasanya juga ingin diketahui jenisnya. Mungkin saja jenis cacatnya tidak begitu membahayakan sehingga tidak perlu dibuang atau dilebur

kembali. Cacat-cacat volume seperti porositas atau *inclusion* dianggap tidak berbahaya dibandingkan dengan cacat-cacat berbentuk bidang seperti retakan (*cracklike*). Bila sudah diketahui terdapat suatu retakan, selanjutnya ingin diketahui juga ukurannya, mungkin saja retakan tersebut tidak begitu besar sehingga tidak perlu ada bagian yang dibuang atau dapat dilakukan perlakuan mekanik atau pemanasan pada material untuk menghilangkan cacat kecil tersebut. Posisi dari retakan di dalam material (sejajar dengan permukaan, tegak lurus terhadap permukaan atau miring) juga merupakan informasi yang penting

untuk menentukan langkah selanjutnya terhadap material yang sedang diperiksa. Jadi secara umum dapat dikatakan bahwa dengan uji tak merusak kita ingin mengetahui cacat, yaitu menentukan jenis, ukuran dan orientasi cacat di dalam material.

Pada uji tak merusak ultrasonik suatu gelombang akustik berfrekuensi tinggi diradiasikan kedalam material oleh transducer/*probe* ultrasonik. Gelombang ultrasonik yang diradiasikan oleh transduser ini dapat berupa gelombang longitudinal, transversal ataupun gelombang permukaan (*Rayleigh wave*) tergantung jenis transduser yang digunakan. Bila ada cacat pada permukaan atau di dalam material, maka akan terjadi interaksi antara berkas gelombang ultrasonik dan cacat tersebut yang dapat berupa pantulan atau difraksi. Setelah terjadi interaksi, berkas gelombang ultrasonik yang dipantulkan atau didifraksikan oleh cacat ini akan diterima oleh suatu transducer lain atau oleh transducer yang sama. Sinyal yang diterima ini kemudian diproses lebih lanjut agar diperoleh informasi mengenai karakteristik cacat dan letaknya di dalam material. Pemrosesan sinyal yang biasanya dilakukan dapat berupa analisis amplituda, analisis waktu dan analisis frekuensi.

Untuk cacat yang tegak lurus pada berkas gelombang, sinyal yang dihasilkan oleh transduser penerima berasal dari pantulan cacat yang amplitudanya sebanding dengan ukuran cacat. Jadi ukuran cacat dapat diperkirakan besarnya dengan menggunakan analisis amplituda. Bila posisi cacatnya miring terhadap

berkas gelombang, maka sinyal yang diperoleh berasal dari difraksi pada kedua tepi cacat sehingga ukuran cacat tidak dapat ditentukan dari amplitudanya melainkan dari selang waktu antara kedua sinyal difraksi tersebut. Dengan melakukan beberapa pengukuran menggunakan analisis waktu, ukuran dan kemiringan cacat dapat ditentukan. Tetapi bila cacatnya juga kecil sedemikian rupa sehingga kedua sinyal difraksinya saling tumpang tindih, maka dalam hal ini analisis waktu tidak dapat digunakan. Demikian juga halnya bila terdapat derau yang cukup besar sehingga sinyalnya terbenam dalam derau. Kedua masalah ini dapat ditanggulangi dengan metoda-metoda yang menggunakan analisis frekuensi.

Pada pembahasan ini, mula-mula akan dibahas secara singkat mengenai metoda-metoda konvensional yang menggunakan analisis amplituda misalnya yang menggunakan cacat-cacat acuan dan diagram DGS (*Distance Gain Scale*). Kemudian akan dikemukakan metoda non-konvensional yang dilakukan dengan menggunakan analisis waktu seperti *Time of Flight Diffraction* (TOFD). Selanjutnya akan dibahas metoda yang menggunakan analisis frekuensi, yaitu spektroskopi ultrasonik.

2. Analisis Amplituda

Pada keadaan-keadaan tertentu dimana orientasi dari cacat telah diketahui, maka ukuran cacat dapat ditentukan hanya dengan analisis amplituda, misalnya menggunakan cacat-cacat acuan biasanya *flat*

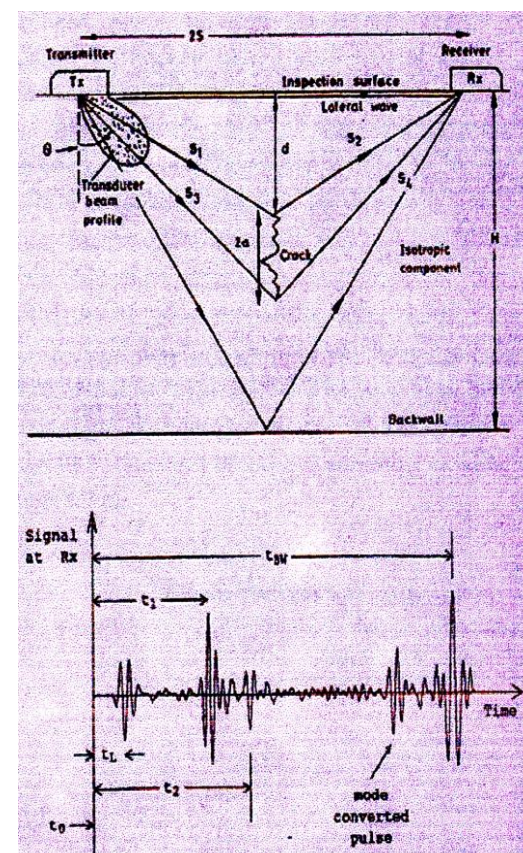
bottom hole pada blok acuan (*reference block*). Cara ini dilakukan dengan membandingkan amplituda sinyal pantulan cacat terhadap amplituda sinyal pantulan cacat-cacat buatan yang telah diketahui besarnya. Dari perbandingan amplituda ini dapat ditentukan kira-kira besarnya cacat yang sedang dideteksi. Tetapi cara ini hanya berhasil dengan baik bila material yang sedang diperiksa sama dengan material dari blok acuan. Hal ini disebabkan karena material yang berbeda mempunyai atenuasi yang berbeda pula yang akan mempengaruhi amplituda sinyal yang diterima. Selain itu meskipun materialnya sama, bila jarak cacat dari permukaan berbeda dengan jarak cacat buatan pada blok acuan, maka hasil pemeriksaan dengan cara ini tidak teliti. Hasil yang teliti baru bisa diperoleh bila tersedia cukup banyak blok-blok acuan dengan berbagai ukuran cacat dan berbagai kedalaman cacat.

Pengukuran ukuran cacat yang lebih teliti dapat dilakukan dengan menggunakan diagram *Distance Gains Scale*^[1]. Cara ini bisa digunakan untuk material apa saja dan jarak cacat berapa saja sehingga dapat menanggulangi kekurangan-kekurangan menggunakan blok acuan tersebut di atas. Diagram DGS itu sendiri berupa grafik dua dimensi dengan sebuah parameter. Ordinatnya menunjukkan amplituda sinyal yang biasanya dinyatakan dengan satuan dB, yaitu besarnya penguatan (*gain*) yang ada pada *ultrasonic Flaw Detector*. Disini juga dilakukan perbandingan antara amplituda pantulan cacat dan amplituda pantulan dari dinding bagian belakang dari material (*back*

wall echo). Absisnya menunjukkan jarak cacat yang dinyatakan dengan jarak dekat (*near zone*) dari transduser sedangkan parameternya menunjukkan ukuran cacat yang dinyatakan dengan diameter transduser. Oleh karena itu diagram DGS ini baru dapat digunakan bila frekuensi transduser dan diameternya diketahui. Jadi setiap transduser ultrasonik memiliki DGS sendiri-sendiri. Seperti yang telah disebutkan terdahulu kedua metoda konvensional tersebut di atas hanya bisa dilakukan bila orientasi dari cacat telah diketahui. Yang paling mudah adalah bila cacatnya sejajar dengan permukaan dimana dapat digunakan transduser longitudinal (*straight beam probe*). Bila kemiringan tertentu (45° , 60° atau 75°) dapat digunakan transduser transversal (*single beam probe*). Untuk cacat dengan kemiringan sembarang harus digunakan *universal angle beam probe*, yaitu transduser yang sudut pembiasannya (*refraction angle*) dapat diubah-ubah besarnya.

3. Analisis waktu

Untuk menentukan ukuran cacat yang



kemiringannya belum diketahui dapat digunakan metoda non-konvensional yang dilakukan dengan analisis waktu, yaitu *Time-of-Flight Diffraction*^[2], seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Ada berbagai sinyal yang diterima oleh transduser Rx, tetapi yang diperlukan untuk menentukan ukuran cacat hanya dua, yaitu sinyal-sinyal difraksi yang datang dari kedua ujung cacat. Sinyal-sinyal difraksi tersebut sangat kecil bila dibandingkan dengan sinyal-sinyal pantulan sehingga diperlukan penguatan yang cukup besar agar dapat mendeteksinya. Untuk posisi cacat vertikal seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, letak cacat dan ukurannya dapat dihitung dari persamaan 1 dan 2.

$$d = \frac{1}{2} \sqrt{V^2 t_1^2 - 4S^2} \quad (1)$$

$$2a = \frac{1}{2} \sqrt{V^2 t_2^2 - 4S^2} - d \quad (2)$$

Dimana :

d = Posisi atau kedalaman cacat

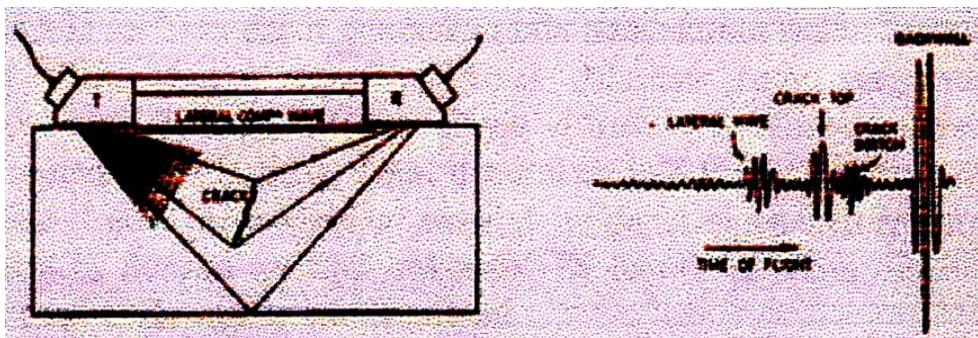
2a = Ukuran cacat

V = Kecepatan gelombang ultrasonik

2S = Jarak antara kedua transduser

t₁ = Waktu tempuh sinyal difraksi dari ujung atas.

t₂ = Waktu tempuh sinyal difraksi dari ujung bawah.



Gambar 2. Metoda TOFD untuk cacat miring

Pada gambar 3 diperlihatkan bagaimana menentukan posisi kedua

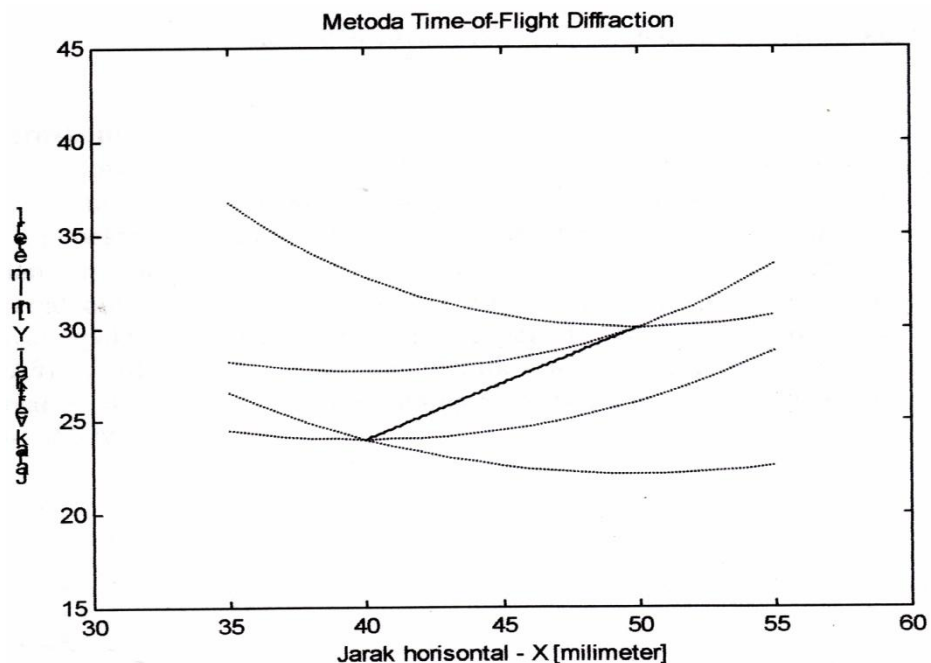
ujung cacat menggunakan metoda TOFD sehingga ukuran dan

Gambar 1. Uji tak merusak ultrasonik menggunakan metoda *Time-of-Flight Diffraction*

Pada gambar 2 diperlihatkan metoda TOFD dan sinyal-sinyal yang diperoleh bila cacatnya mempunyai kemiringan tertentu^[3]. Oleh karena baik ukurannya maupun kemiringannya tidak/belum diketahui, maka diperlukan paling sedikit dua kali pengukuran waktu tempuh t₁ dan t₂ dengan posisi transduser yang berbeda.

kemiringannya dapat dihitung. Gambar ini merupakan simulasi untuk bahan aluminium (kecepatan gelombang transversal $V = 3100$ m/s) setebal 50 mm dimana terdapat cacat berukuran 12,5 mm dengan sudut kemiringan $37,8^\circ$ terhadap horizontal. Pengukuran pertama dilakukan dengan posisi transduser pemancar dititik T(0,50) dan transduser penerima dititik R₁(80,50). Pada pengukuran pertama ini diperoleh waktu tempuh sinyal difraksi melalui cacat masing-masing adalah $t_1(T-R_1)=20,9 \mu\text{s}$ dan $t_2(T-R_1) = 24,6 \mu\text{s}$. Pengukuran kedua dilakukan dengan posisi transduser

pemancar tetap sedangkan transduser penerima diubah posisinya ke titik R₂(100,50). Pada pengukuran kedua ini diperoleh $t_1(T-R_2)=21,8\mu\text{s}$ dan $t_2(T-R_2) = 26,1\mu\text{s}$. Keempat waktu tempuh ini kemudian digunakan untuk menentukan empat buah kurva yang akan berpotongan di kedua ujung cacat. Prinsip yang digunakan mirip dengan cara memperkirakan letak pusat gempa. Pada gambar 4 ditunjukkan posisi transduser dan cacat di dalam bahan yang digunakan pada simulasi komputer ini.



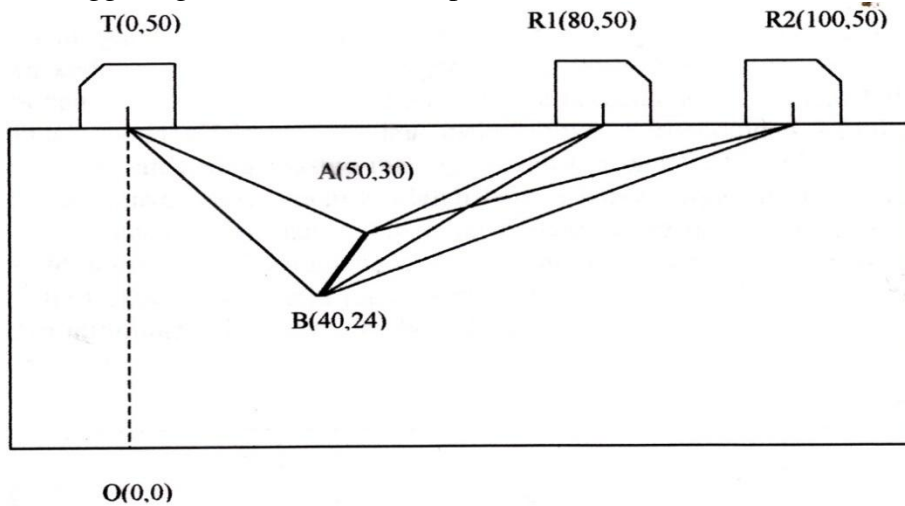
Gambar 3. Penentuan posisi ujung-ujung cacat menggunakan TOFD

Metoda TOFD ini baru dapat digunakan bila pengukuran waktu t_1 dan t_2 dapat dilakukan. Bila ukuran

cacatnya kecil dan/atau sudut kemiringannya tertentu sedemikian rupa sehingga kedua sinyal

difraksinya saling tumpang tindih, maka tentunya metoda TOFD tidak dapat digunakan lagi karena hanya t_1 atau t_2 saja yang dapat diukur. Untuk menanggulangi masalah ini dapat

digunakan spektroskopi ultrasonik yang dilakukan dengan analisis frekuensi.

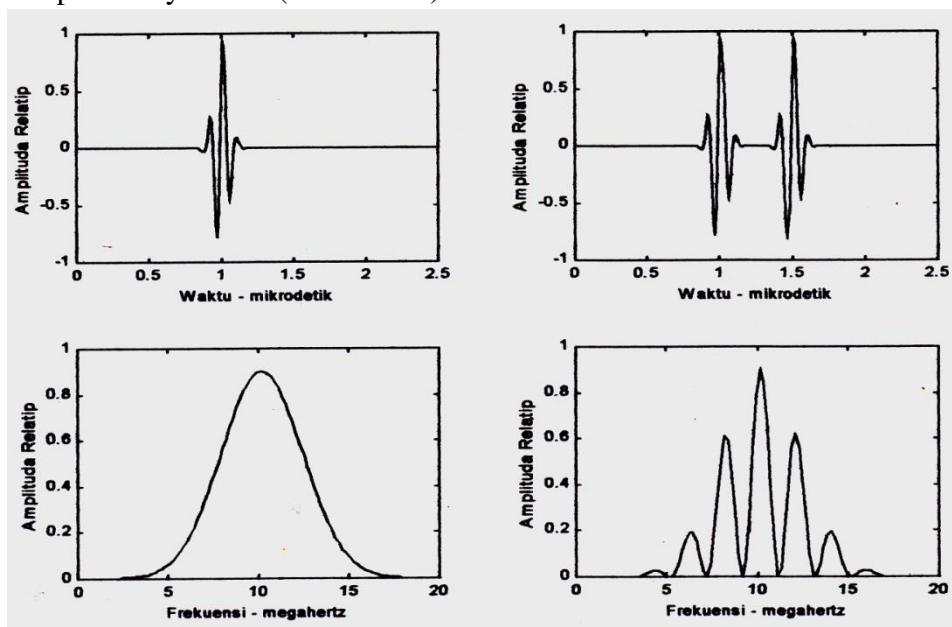


Gambar 4. Posisi transduser dan cacat yang digunakan dalam simulasi komputer

4. Spektroskopi Ultrasonik

Menurut teori spektroskopi^[4], bila $F(\omega)$ adalah transformasi Fourier (spektrum) dari suatu fungsi tunggal $f(t)$, maka fungsi ganda identik dengan selang waktu ΔT akan mempunyai spektrum yang merupakan modulasi antara $F(\omega)$ dan suatu fungsi kosinus sedemikian rupa sehingga selang frekuensi ΔF dari puncak-puncaknya (maksimum)

adalah kebalikan dari ΔT . Pada gambar 5a ditunjukkan suatu fungsi tunggal yang mempunyai spektrum dengan frekuensi tengah 10 MHz dan lebar pita frekuensi (*bandwidth*) 6 MHz. Fungsi ganda identik yang ditunjukkan pada gambar 5b mempunyai selang waktu 0,5 μs sehingga spektrumnya akan mempunyai selang frekuensi 2 MHz.

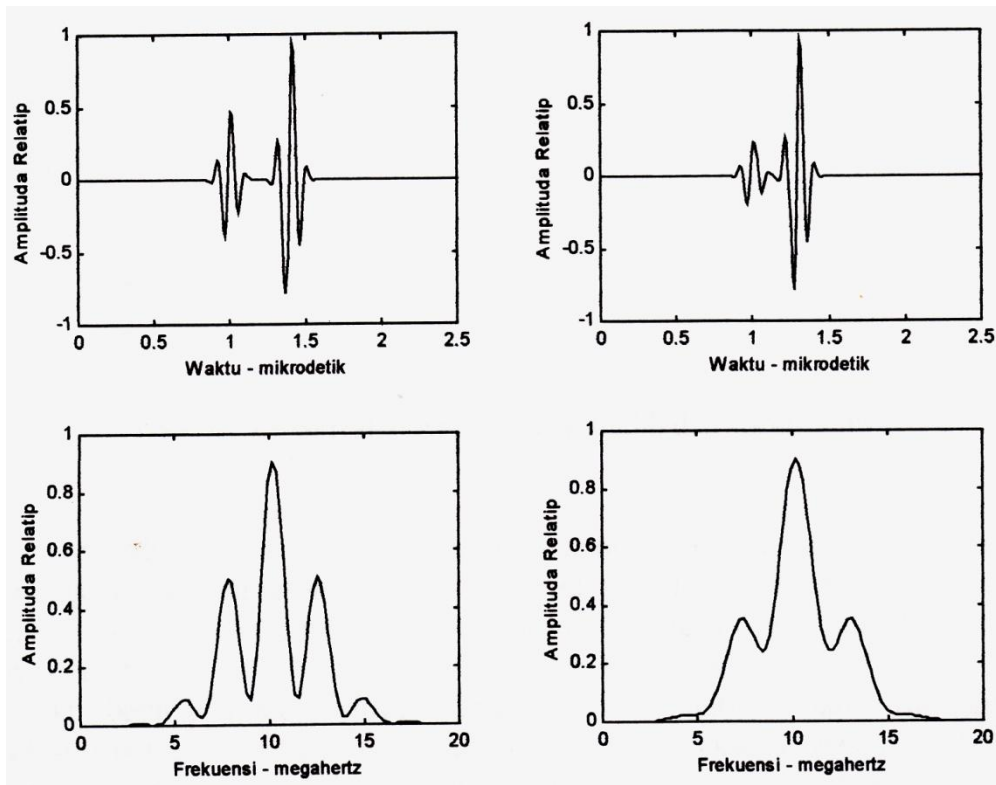


(a)

(b)

Gambar 5. Sinyal tunggal, sinyal ganda identik dan spektrumnya
Sinyal-sinyal ganda yang identik jarang dijumpai dalam prakteknya karena pada umumnya kedua sinyal ini menempuh jarak yang berbeda di dalam material sehingga akibat mengalami atenuasi amplitudanya pun juga berbeda. Pada gambar 6 ditunjukkan sinyal-sinyal ganda tidak identik dan spektrumnya. Perbandingan antara sinyal pertama dan kedua masing-masing adalah 0,5 dan 0,25. Perbedaannya dengan

spektrum dari sinyal ganda identik adalah bahwa harga-harga minimumnya (lembah) tidak pernah mencapai nol dan makin besar perbedaannya makin tinggi (besar) harga-harga minimumnya. Terlihat juga pada gambar ini, makin kecil selang waktunya makin besar selang frekuensinya. Perlu juga disebutkan disini, selang frekuensinya dapat juga diukur dari minimum-minimum yang berdekatan.



Gambar 6. Sinyal-sinyal ganda identik dan spektrumnya.

Apa yang terjadi bila selang waktunya kecil sekali sehingga kedua sinyalnya saling tumpang tindih? Ternyata selang frekuensinya masih bisa diamati seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Hal ini dapat terjadi

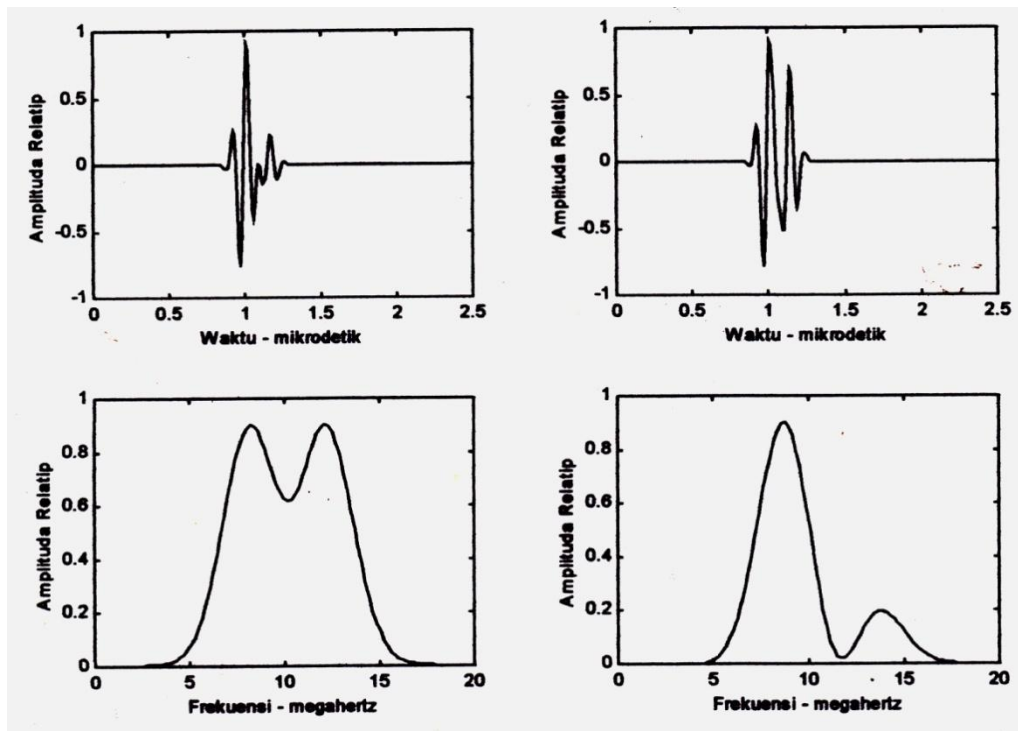
karena lebar pita frekuensinya yang cukup lebar. Sinyal-sinyal ini dapat diperoleh dengan menggunakan *wide-band/broad band ultrasonic transducers*. Jadi masalah mengenai selang waktu dari sinyal-sinyal

tumpang tindih yang sulit diukur dengan metoda TOFD dapat ditanggulangi dengan spektroskopi ultrasonik. Selang waktu dari sinyal ganda yang sangat kecil ini dapat ditentukan secara tidak langsung, yaitu dengan mengukur selang frekuensi pada spektrumnya.

Sinyal-sinyal yang digunakan pada gambar 5, 6 dan 7 adalah sinyal-sinyal yang berbentuk gaussian

sehingga spektrumnya juga simetris, indah dilihat dan mudah mengukur selang frekuensinya. Dalam prakteknya sinyal-sinyal difraksi yang berbentuk gaussian tidak pernah atau jarang dijumpai meskipun menggunakan transduser ultrasonik yang baik. Hal ini disebabkan karena dua hal, yaitu atenuasi yang berbeda untuk frekuensi yang berbeda dan amplitudanya yang kecil sekali.

Gambar 7. Sinyal-sinyal tumpang tindih dan spektrumnya

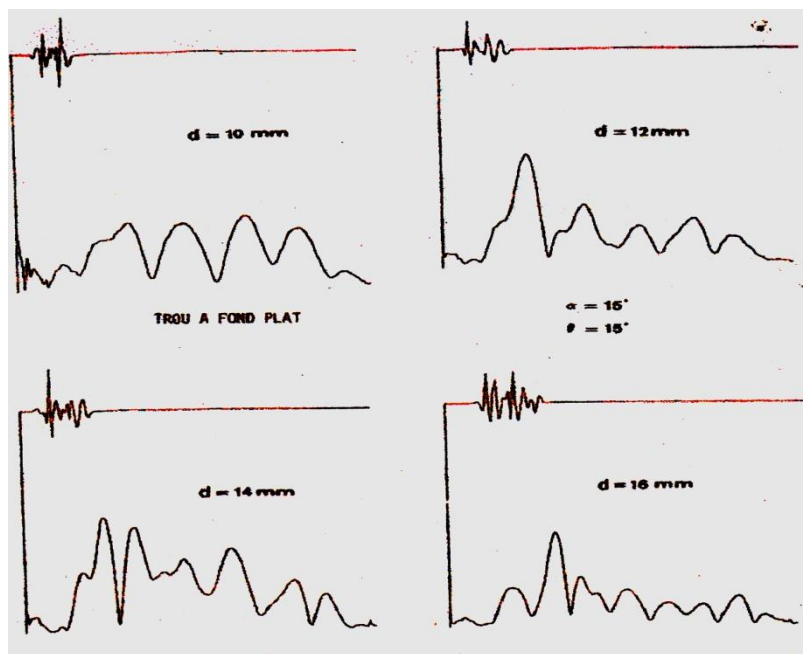


Meskipun transduser pemancar mengeluarkan gelombang ultrasonik yang berbentuk gaussian, gelombang ultrasonik yang sampai di transduser penerima sudah bukan gaussian lagi karena selama menjalar di dalam material akan mengalami atenuasi yang besarnya tergantung pada frekuensi. Seperti kita ketahui semakin besar frekuensinya, maka makin besar pula atenuasinya.

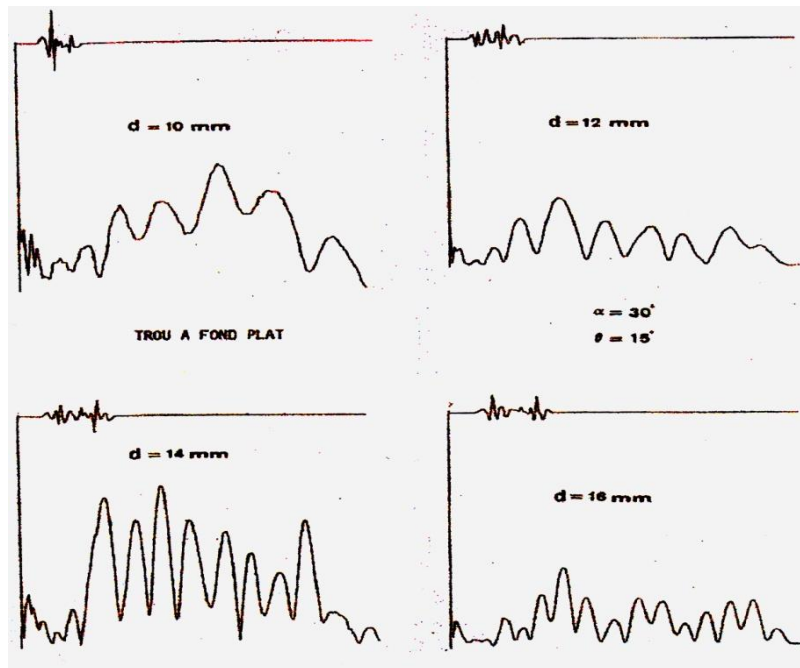
Menurut teorema Fourier setiap sinyal gaussian merupakan gabungan dari berbagai sinyal-sinyal dengan frekuensi yang berbeda, maka tentunya gelombang ultrasonik yang diterima oleh transduser penerima akan menghasilkan sinyal yang sudah tidak gaussian lagi. Sinyal-sinyal yang didifraksikan oleh ujung-ujung cacat biasanya kecil sekali sehingga untuk mendeteksinya

diperlukan perangkat elektronik dengan penguatan yang cukup besar. Oleh karena biasanya penguat elektronik dengan penguatan besar mempunyai bandwidth yang terbatas, maka sinyal yang akan diproses lebih lanjut makin tidak karuan bentuknya. Pada gambar 8 dan 9 ditunjukkan sinyal-sinyal difraksi dan spektrumnya yang berasal dari cacat berupa *flat bottom hole* dari berbagai diameter dengan sudut kemiringan terhadap horisontal $\alpha = 15^\circ$ yang berada di dalam bahan aluminium^[5]. Dimana θ adalah sudut antara sumbu transduser pemancar dan transduser penerima. Terlihat disini bahwa

spektrumnya tidak gaussian dan selang frekuensinya tidak seragam. Biasanya selang frekuensi yang akan digunakan dalam perhitungan adalah harga rata-ratanya. Dengan mengukur selang frekuensi rata-rata ini untuk dua posisi transduser yang berbeda ($\alpha = 15^\circ$ dan $\alpha = 30^\circ$) diameter dan sudut kemiringannya dapat ditentukan. Pada tabel 1 ditunjukkan hasil pengukuran selang frekuensi dan hasil perhitungan diameter dan sudut kemiringannya. Terlihat disini bahwa hasil-hasil perhitungan ini tidak jauh berbeda dengan yang sebenarnya.



Gambar 8. Sinyal-sinyal difraksi dari *flat bottom hole* dengan sudut $\alpha = 15^\circ$



Gambar 9. Sinyal-sinyal difraksi dari *flat bottom hole* dengan sudut $\alpha = 30^\circ$

Tabel. Hasil pengukuran diameter dan sudut kemiringan cacat berupa *flat bottom hole* menggunakan spektroskopi ultrasonik

Selang frekuensi [MHz] pada		Diameter [mm]		Sudut kemiringan	
$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	Hasil perhitungan	Sebenarnya	Hasil perhitungan	Sebenarnya
0,97	0,75	9,1	8	$13,7^0$	15^0
0,81	0,63	10,7	10	$14,2^0$	15^0
0,72	0,57	11,3	12	$15,7^0$	15^0
0,58	0,45	15,1	14	$14,0^0$	15^0
0,53	0,42	16,7	16	$13,7^0$	15^0
0,48	0,38	17,0	18	$15,7^0$	15^0

Pada gambar 10 ditunjukkan sinyal-sinyal difraksi dari cacat berupa retakan permukaan dengan kedalaman 10 mm pada berbagai posisi transduser penerima. Sinyal yang dibelakang adalah difraksi dari dasar retakan sedangkan yang didepan adalah difraksi dari ujung

retakan yang jauh lebih kecil. Meskipun demikian selang frekuensinya masih bisa diamati. Retakan permukaan ini sering dijumpai pada percobaan-percobaan untuk menentukan ketangguhan (*fracture toughness*) dari suatu material terhadap beban tarik^[6].

5. Kesimpulan

Dalam uji tak merusak menggunakan gelombang ultrasonik

perlu dilakukan pemrosesan lebih lanjut terhadap sinyal-sinyal yang diperoleh baik dengan analisis amplituda, analisis waktu maupun

dengan analisis frekuensi tergantung pada masalah yang harus dihadapi. Bila yang diperoleh adalah sinyal-sinyal pantulan dari cacat, maka cukup digunakan metoda-metoda konvensional dengan analisis amplituda seperti metoda perbandingan dan diagram *Distance Gains Scale* (DGS). Sinyal-sinyal difraksi yang lebih lanjut dapat ditangani dengan analisis waktu seperti metoda *Time of Flight Diffraction* (TOFD) asalkan sinyal-sinyalnya tidak saling tumpang tindih. Bila sinyal-sinyalnya saling tumpang tindih, maka harus digunakan analisis frekuensi seperti spektroskopi ultrasonik. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan untuk diameter dan sudut kemiringan retakan dengan menggunakan spektroskopi ultrasonik didapat bahwa hasil pengukuran tidak jauh berbeda dengan diameter dan kemiringan retakan yang sebenarnya.

Daftar Pustaka

1. Krautkramer J. And Krautkramer H., "*Ultrasonic Testing of Material*", Springer-verlag, Berlin, 1977.
2. Charlesworth J.P. and Temple J.A.G., "*Engineering Applications of Ultrasonic Time of Flight Diffraction*", John Wiley & Sons Inc., New York, 1989.
3. Coffey, J.M., "*Ultrasonic Measurement of Crack Dimensions in Laboratory Specimens*", *The Measurement of Crack length and shape during fracture and fatigue*, The Chameleon press Ltd., London, pp 345-386.
4. Amoranto T., "*Spektroskopi Ultrasonik*", Pertemuan dan presentase ilmiah KIM-LIPI, september 1989.
5. Amoranto, T., "*Etude et Caracterisation par ultrasons de defauts dans un solide elastique*", These de Docteur Ingenieur, 1983.
6. Amoranto T "*The Application oleh ultrasonic wave in fracture mechanics*" Proceeding of Experimental and Theoretical Mechanics, Departement of Mechanical Engineering, Bandung Institute Of Technologi, Bandung, Juni 2000
7. Amoranto T., "*Uji Tak Merusak Ultrasonik Untuk meningkatkan Kemampuan Pemeriksaan cacat di dalam bahan menggunakan split spectrum processing*" Lokakarya komputasi dalam sains dan teknologi nuklir IX, pusat pengembangan informatika BATAN, Pebruari 1999.

