

# PENGUKURAN PANJANG SIMULASI RETAK PERMUKAAN DENGAN TEKNIK PERAMBATAN GELOMBANG ULTRASONIK PERMUKAAN

**Ashadi Salim**

Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Binus University  
Jl. KH. Syahdan No. 9, Palmerah, Jakarta Barat 11480.  
ashadisalim@binus.ac.id

## ABSTRACT

*The length measurement of the surface crack simulation using surface ultrasonic wave method is performed for surface crack length of 5, 10, 15, 17.5, 20 and 22.5 mm. Each crack has the orientation of 22.5<sup>0</sup>, 45<sup>0</sup>, 67.5<sup>0</sup>, and 90<sup>0</sup> against the surface of the sample. The method is similar to the transmission technique, where the transmitting and receiving probes are arranged face-to-face against the crack mouth. The surface wave pulse is high enough to be distinguished from the pulse of the coming waves as the result of mode conversion that occurs from the crack tip. The deviation of the measurement of the length was 8% in the average.*

**Keywords:** *length measurement, surface crack simulation, ultrasonic wave.*

## ABSTRAK

*Pengukuran panjang simulasi retak permukaan dengan teknik gelombang ultrasonik permukaan dilakukan untuk retak permukaan dengan panjang 5 ; 10 ; 15 ; 17,5 ; 20 ; dan 22,5 mm , yang masing-masing berorientasi sebesar: 22,5<sup>0</sup> ; 45<sup>0</sup>; 67,5<sup>0</sup> dan 90<sup>0</sup> terhadap permukaan cuplikan dural. Dalam pengukuran digunakan teknik 2 probe gelombang permukaan, yang diletakan berseberangan terhadap retak permukaan. rangkaian peralatan seperti pada pengujian tak merusak dengan teknik transmisi . Pulsa gelombang permukaan adalah cukup tinggi dari pulsa lain yang muncul karena terjadinya mode conversion di ujung-ujung pembelokan retak, sehingga keraguan menentukan pulsa dapat dihindari. Penyimpangan rata-rata dari pengukuran panjang retak adalah 8%.*

**Kata kunci:** *Pengukuran panjang, simulasi retak permukaan, gelombang ultrasonik.*

## PENDAHULUAN

Keberadaan retak permukaan pada komponen-komponen struktur merupakan salah satu objek perhatian, karena retak ini dapat menyebabkan komponen tersebut patah. Teknik pencarian yang sering dilakukan serta murah adalah mengamati permukaan komponen tersebut. Bila ada garis yang terbentang di permukaannya, bagian ini dievaluasi lebih lanjut, bila perlu menggunakan peralatan tambahan yang sederhana seperti kaca pembesar atau menggunakan teknik perembesan cairan (B. Hull et al., 1988). Untuk retak yang sangat kecil, keberadaannya dapat terlewat pada waktu diuji. Untuk mendapatkan kepercayaan yang penuh bahwa retak permukaan terdeteksi, digunakan teknik partikel magnetik, baik yang biasa maupun teknik fluorescent, atau dengan teknik arus Eddy. Sayangnya panjang dan orientasi dari retak permukaan tidak dapat diketahui dengan teknik ini. Keberhasilan teknik ultrasonik untuk mengukur besarnya cacat di dalam material telah mendorong digunakannya teknik ini untuk retak permukaan. Ada dua cara yang telah berkembang yaitu teknik ultrasonik yang berdasarkan prinsip difraksi (Rogerson et al., 1980) dan yang berdasarkan perambatan gelombang permukaan (Silk, 1977).

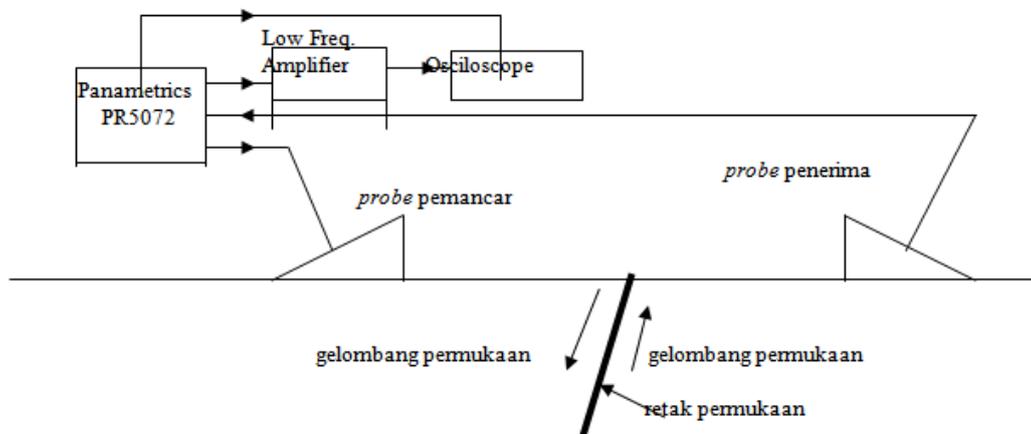
Telah dilaporkan bahwa teknik perambatan gelombang permukaan dapat mengukur retak permukaan dengan ketelitian sebesar kurang lebih 5 % (Silk, 1977). Akan tetapi, detail dari percobaan tersebut, seperti pengaruh dimensi probe, frekuensi gelombang yang dipakai, dan kesulitan-kesulitan yang muncul tidak dilaporkan, sehingga kepraktisan cara ini tidak diketahui. Percobaan di bawah ini menggunakan teknik perambatan gelombang permukaan untuk mengevaluasi retak permukaan dengan mempergunakan probe miniatur yang bekerja pada frekuensi 2.25 MHz. Dengan menggunakan probe semacam ini diharapkan alat pulser-receiver dengan tegangan pulsa maksimum 245 volt masih bisa menghasilkan pulsa datang yang cukup tinggi untuk dapat diamati pada layar penerima.

## METODE

Diagram balok peralatan yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1. Probe gelombang yang digunakan terdiri dari probe pemancar dan penerima dengan frekuensi kerja adalah 2.25 MHz, dimana kedua jenis probe ini adalah sama. Probe ini, terdiri dari sebuah transduser sebagai devais pengubah getaran listrik ke mekanik dan kebalikannya, tergantung fungsi yang diembannya saat bekerja. Sebuah baji untuk pengubah arah perambatan ditempatkan di depannya. Transduser pemancar, yang menerima getaran listrik dari generator alat *Pulser/Receiver* mengubah getaran listrik menjadi getaran ultrasonik longitudinal yang dipancarkan ke dalam baji. Sudut jatuh gelombang ini pada perbatasan baji-benda uji dibuat sama dengan sudut kritis ke-3, sehingga gelombang yang merambat pada benda uji berupa gelombang permukaan. Gelombang permukaan hanya dapat merambat dipermukaan perbatasan dua bahan, dan penetrasi dalam bahan hanya sampai satu panjang gelombang (Krautkramer et al, 1990). Gelombang ini dapat membelok di sudut yang runcing dari bahan perambat, dan akan terjadi kehilangan energi dalam perambatan serta waktu membelok.

Pada waktu gelombang permukaan ini mengenai dinding retak, sebagian energinya dipantulkan balik dan sebagian lagi berupa gelombang permukaan yang dibelokkan di pojok retak. Di setiap belokan energi gelombang terpecah menjadi gelombang longitudinal, gelombang transversal dan gelombang permukaan. Kedua jenis gelombang pertama merambat kesegala arah dan energinya lemah hingga pengaruhnya pada transduser dapat diabaikan. Gelombang ketiga, yaitu gelombang permukaan, merambat di kedua dinding dari retak hingga sampai di pojok mulut retak yang lain. Di pojok ini gelombang permukaan dirambatkan terus hingga sampai di baji probe penerima, dan akan dibiaskan sesuai dengan hukum Snellius. Karena konstruksi probe penerima sama dengan probe pemancar maka gelombang ini merambat dalam baji sebagai gelombang longitudinal yang kemudian

menggetarkan transduser penerima. Setelah melalui rangkaian elektronik penerima, getaran listrik dari transduser ditampilkan pada layar *oscilloscope*.



Gambar 1. Diagram balok peralatan untuk mengukur panjang retak permukaan dengan metode ultrasonik gelombang permukaan.

Pada gambar 1 ditunjukkan secara skematis perambatan gelombang dari *probe* pemancar ke *probe* penerima, dimana kedua *probe* diletakkan berseberangan terhadap retak permukaan. Waktu tempuh gelombang ini terdiri dari: waktu tempuh di dalam baji *probe* pemancar dan penerima, waktu tempuh perambatan dari titik ke luar di baji pemancar sampai mulut retak, waktu tempuh mengelilingi retak permukaan dan waktu tempuh dari mulut retak ke titik masuk di baji *probe* penerima. Secara matematis waktu tempuh ini dapat ditulis sebagai:

$$t = \frac{l_1 + 2h + l_2}{V_{SW}} + t_T + t_R \quad (1)$$

Dengan:

$t$  = waktu tempuh gelombang ultrasonik dari muka transduser pemancar sampai muka transduser penerima,

$t_T$  = waktu tempuh gelombang ultrasonik longitudinal dari transduser pemancar sampai titik keluar baji *probe* pemancar,

$t_R$  = waktu tempuh gelombang ultrasonik longitudinal dari titik masuk baji *probe* penerima sampai di transduser penerima,

$l_1$  = jarak antara titik keluar baji *probe* pemancar sampai ke mulut retak (*crack mouth*),

$l_2$  = jarak antara mulut retak sampai titik masuk baji *probe* penerima,

$h$  = panjang retak ( panjang ke arah dalam benda uji )

$V_{SW}$  = cepat rambat gelombang permukaan di permukaan benda uji.

Panjang retak  $h$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$h = \frac{V_{SW}t - t_T - t_R - l_1 - l_2}{2} \quad (2)$$

Dalam percobaan digunakan beberapa simulasi retak permukaan yang dibuat pada balok dural. Jarak antara dua retak berdekatan, serta jarak dengan pinggir balok berkisar antara 100 - 150 mm. Retak permukaan yang dibuat mempunyai panjang 5; 10; 15; 17.5; 20 dan 22.5 mm dengan kemiringan terhadap permukaan  $22.5^0$ ,  $45^0$ ,  $67.5^0$  dan  $90^0$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan yaitu pengukuran waktu perambatan gelombang permukaan dari transduser pemancar sampai penerima, setelah mengelilingi dinding retak, untuk masing-masing panjang retak serta untuk setiap sudut kemiringan retak ditunjukkan pada tabel 1 kolom 3.

Pengukuran waktu tunda (*delay time*), yaitu waktu perambatan gelombang longitudinal dalam kedua baji. dilakukan dengan mengimpitkan kedua baji, dengan titik keluar berkas berimpit. Dari hasil pengukuran diperoleh waktu yang diperlukan gelombang longitudinal merambat dari transduser pemancar sampai transduser penerima adalah 44.3  $\mu$ s. Pengukuran cepat rambat gelombang permukaan pada bahan uji dilakukan dengan merambatkan gelombang permukaan didekat ujung siku-siku suatu balok dural. Untuk jarak *probe* sampai ujung siku-siku balok sama dengan 100 mm, diperoleh waktu perambatan pulang pergi gelombang adalah 114,4  $\mu$ s. Jadi, cepat rambat gelombang permukaan tersebut adalah 2,85 mm/ $\mu$ s.

Dengan menggunakan persamaan (2) dapat dihitung panjang retak hasil pengukuran ( $h'$ ), dan hasilnya ditunjukkan pada kolom 4 Tabel 1. Dari tabel tersebut terlihat bahwa panjang retak yang diperoleh relatif mendekati dari panjang retak sesungguhnya, kecuali untuk panjang retak 5 mm dan kemiringan 45<sup>0</sup> mempunyai tingkat kesalahan yang relatif cukup besar. Persentasi penyimpangan mutlak dari harga yang sesungguhnya diberikan dalam kolom 5 Tabel 1. Dari Table 1 terlihat bahwa penyimpangan rata-rata untuk seluruh retak adalah  $(8 \pm 6)\%$  dengan penyimpangan terbesar dari harga sesungguhnya sebesar 52%, yaitu pada panjang 5 mm dengan retak menyudut 45<sup>0</sup> terhadap permukaan. Bila 2 x standar deviasi dipakai sebagai daerah prediksi, hasil pengukuran dengan metode ini maksimal menyimpang 16%. dari hasil yang diperoleh. Oleh karena itu, hasil pengukuran kedalaman retak permukaan dengan metode ini dapat dikatakan relatif cukup baik.

Tabel 1

*Data Pengukuran Panjang Retak Permukaan dengan Metode Gelombang Ultrasonik Permukaan*

h=5 mm					h=15 mm				
$\phi$ (°)	L (mm)	t ( $\mu$ dt)	$h'$ (mm)	$\Delta$ (%)	$\phi$ (°)	L (mm)	t ( $\mu$ dt)	$h'$ (mm)	$\Delta$ (%)
45	30	57,6	3,95	21	22,5	30	65,2	14,8	1,4
	50	66,0	5,92	19		50	71,2	13,3	11,0
	70	73,0	5,90	18		70	78,8	14,2	5,6
	90	81,2	7,58	52		90	86,0	14,5	3,8
	110	87,4	6,42	28		110	93,8	15,5	3,6
67,5	30	58,6	5,38	7,6	45	30	65,4	15,1	0,5
	50	65,4	5,07	1,4		50	72,4	15,1	0,5
	70	72,8	5,61	12,0		70	79,6	15,3	2,0
	90	80,0	5,87	18,0		90	86,4	15,0	0,0
	110	86,6	5,28	5,5		110	94,2	16,1	7,4
90	30	58,0	4,52	9,5	67,5	30	66,8	17,1	14,0
	50	65,2	4,78	4,3		50	73,0	15,9	5,8
	70	72,0	4,47	11,0		70	80,0	15,9	5,8
	90	78,6	3,88	23,0		90	86,6	15,3	2,8
	110	85,2	3,28	34,0		110	94,8	17,0	13,0

h=10 mm				
22,5	30	62,6	11,1	0,6
	50	69,0	10,2	0,9
	70	76,4	10,7	1,1
	90	83,4	10,7	9,9
	110	90,0	10,1	4,5
45	30	61,8	9,94	0,4
	50	68,6	9,91	3,4
	70	75,8	9,89	0,6
	90	82,2	9,01	9
	110	89,6	9,55	3,8
67,5	30	62,4	10,8	7,9
	50	69,0	10,2	2,0
	70	75,8	9,89	1,1
	90	82,6	9,01	9,9
	110	90,0	9,55	4,5
90	30	63,6	10,8	7,9
	50	70,8	12,8	28,0
	70	77,8	12,7	27,0
	90	84,8	12,7	27,0
	110	86,4	7,84	22,0

90	30	65,2	14,8	1,4
	50	71,2	13,3	11,0
	70	78,6	13,9	7,5
	90	84,8	12,7	15,0
	110	92,0	13,0	14,0
h=17,5 mm				
22,5	30	67,0	17,4	0,9
	50	73,6	16,8	4,3
	70	81,0	17,3	1,2
	90	88,0	17,3	1,3
	110	95,2	17,5	0,0
45	30	67,6	18,2	4,0
	50	74,8	18,5	5,5
	70	82,4	19,3	10,0
	90	88,8	18,4	5,2
	110	96,2	19,0	8,3
67,5	30	68,0	18,8	7,3
	50	74,8	18,5	5,5
	70	81,8	18,4	5,4
	90	88,6	18,1	3,6
	110	95,8	18,4	5,1
90	30	66,6	16,8	4,1
	50	72,8	15,6	11,0
	70	80	15,9	9,4
	90	87	15,9	9,4
	110	94,8	16,0	3,1

h=20 mm				
$\phi (^{\circ})$	L ( mm )	t ( $\mu$ dt )	h'(mm)	$\Delta$ ( % )
22,5	30	68,4	19,3	3,3
	50	75,2	19,0	4,8
	70	82,4	19,3	3,5
	90	93,2	24,7	23,0
	110	96,6	19,5	2,4
45	30	69,2	20,5	2,4
	50	76,4	20,8	3,7
	70	83,2	20,4	2,2
	90	90,2	20,4	2,0
	110	96,8	19,8	0,9
67,5	30	69,2	20,5	2,4
	50	76,4	20,7	3,7
	70	83,2	20,4	2,2
	90	90,2	20,4	2,0
	110	96,8	19,8	0,9
90	30	68,2	19,1	4,7
	50	75,4	19,3	3,4
	70	81,6	19,2	9,2
	90	88,8	18,4	7,9
	110	95,2	17,5	12,3

h=22,5 mm				
$\phi (^{\circ})$	L ( mm )	t ( $\mu$ dt )	h'(mm)	$\Delta$ ( % )
22,5	30	68,8	19,9	12,0
	50	75,4	19,3	14,0
	70	82,6	19,6	13,0
	90	90,4	20,7	8,1
	110	97,8	21,2	5,6
45	30	71,4	23,6	5,0
	50	77,2	22,9	2,7
	70	84,8	22,7	0,9
	90	92,4	23,5	4,5
	110	99,4	23,5	4,5
67,5	30	70	21,6	3,9
	50	78	23,0	2,3
	70	84	21,6	4,1
	90	92,2	23,3	3,4
	110	99	23,0	2,0
90	30	68,8	19,9	12,0
	50	76,4	20,7	7,8
	70	83,6	21,0	6,7
	90	90,2	20,4	9,3
	110	97,4	20,7	8,1

Catatan:

h= panjang retak permukaan

t = waktu tempuh gelombang permukaan dari transduser pemancar ke penerima

L = jarak antara *probe* pemancar dan penerima  
h' = panjang retak hasil pengukuran  
 $\phi$  = sudut kemiringan retak terhadap permukaan  
 $\Delta$  = penyimpangan/ukuran retak sesungguhnya

Panjang gelombang dari gelombang permukaan dalam percobaan ini adalah  $2.85 \times 10^6 / (2.25 \times 10^6) = 1.27$  mm. Jadi, untuk retak dengan panjang 5 mm dan menyudut  $22.5^\circ$  terhadap permukaan, panjang gelombang ini relatif cukup besar, yaitu kira-kira 0.7 kali tinggi retak, sehingga peristiwa hamburan bisa terjadi. Hal tersebut menerangkan, mengapa pulsa untuk percobaan dengan panjang retak 5 mm dan kemiringan  $22.5^\circ$  sangat besar. Disamping itu, *mode conversion* yang terjadi pada titik belok di ujung retak yang menghadap *probe* penerima menyebabkan menjalarnya gelombang longitudinal dan transversal dengan energi yang cukup berarti ke arah *probe* penerima. Kecepatan kedua gelombang ini jauh lebih tinggi dari cepat rambat gelombang permukaan, maka kedua gelombang ini jatuh di kaki titik awal pulsa gelombang permukaan, akibatnya titik awal pulsa gelombang permukaan tidak dapat ditentukan sehingga percobaan untuk panjang retak 5 mm dan kemiringan  $22.5^\circ$  tidak menghasilkan data yang dapat diinterpretasikan.

## PENUTUP

Pengukuran panjang retak permukaan dengan teknik perambatan gelombang ultrasonik permukaan telah dilakukan untuk panjang simulasi retak sebesar 5, 10, 15, 17.5, 20 dan 22.5 mm dengan orientasi  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $67.5^\circ$  dan  $90^\circ$  terhadap permukaan benda uji. Prediksi teknik ini menyimpang rata-rata 8% , dengan satu pengamatan mempunyai penyimpangan 52%. Dengan kemampuan teknik ini untuk mengukur panjang retak permukaan maka didapat suatu cara untuk mengevaluasi retak permukaan pada sebuah komponen secara terukur dan rasional. Teknik ini tidak dapat dipakai untuk panjang retak yang dangkal, dalam percobaan ini adalah 5 mm dengan kemiringan  $22.5^\circ$ , karena kaki awal pulsa gelombang permukaan tertutup oleh pulsa gelombang longitudinal dan transversal yang muncul sebagai akibat adanya *mode conversion*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hull, B. and John, V. (1988). *Non-Destructive Testing*, 1 – 3. London: Macmillan Education.
- Krautkramer, J. and Krautkramer, H. (1990). *Ultrasonic Testing of Materials*, 33 – 37. Berlin: Springer-Verlag.
- Rogerson, A. and Murgatroyd, R.A. (1980). Defect Characterization Using Ultrasonic Techniques. *Research Techniques in Non-destructive Testing*, 4, 485 – 488. London: Academic Press.
- Silk, M. G. (1977). Sizing Crack-like Defects by Ultrasonic Means. *Research Techniques in Non-destructive Testing*, 3, 79 – 92. London: Academic Press.