

## EDITOR

*B. Sutjiatmo (Ketua), A. Suwono, D. Suharto, K. Bagiasna, S. D. Jenie, S. S. Brodjonegoro, Abdurrachim, I. Nurhadi, R. Suratman, P. S. Darmanto.*

## MITRA BESTARI

*I. P. Nurprasetio (ITB)  
I. S. Putra (ITB)  
A. I. Mahyuddin (ITB)  
Y. Yuwana (ITB)  
Z. Abidin (ITB)  
P. Sutikno (ITB)  
T. Hardianto (ITB)  
T. A. F. Soelaiman (ITB)  
N. P. Tandian (ITB)  
S. Wiryolukito (ITB)  
A. Basuki (ITB)*

## REDAKSI PELAKSANA

*A. D. Pasek (Ketua), I. G. W. Puja, Indrawanto, W. Adriansyah, A. Wibowo, I. N. Diasta.*

## ALAMAT REDAKSI

*Gedung LITBANG Sarana dan Prasarana-Lt.III  
Institut Teknologi Bandung  
Jalan Tamansari 126  
Bandung 40132  
Tel. :(022)-2502342  
Fax: (022)-2502342  
E-mail: ari@termo.pauir.itb.ac.id*

## CARA BERLANGGANAN

*Permintaan berlangganan dapat dikirimkan ke alamat redaksi di atas.*

*Terbit 2 (dua) kali dalam satu tahun Bulan April dan Oktober.*

## EDITORIAL

Pada volume ini Jurnal Mesin terbit dengan lima buah makalah. Makalah pertama yang ditulis oleh I Gede Parwata dkk. berjudul Studi Numerik Pengaruh Jumlah dan Puntiran Swirler Vanes Pada Aliran Masuk Tabung dari Departemen Teknik Penerbangan ITB. Makalah ini membahas pengaruh jumlah dan sudut *vanes* pada distribusi kecepatan axial dan *swirl* pada medan aliran di belakang *Swirler Vanes*. Kajian dilakukan secara numerik terhadap model medan aliran yang dikembangkan sendiri. Salah satu kesimpulan dari hasil kajian adalah jumlah dan sudut *vanes* tidak mempengaruhi distribusi kecepatan aksial tetapi sangat mempengaruhi kecepatan *swirl*.

Makalah kedua berjudul Analysis Using Alternative Refrigerant for Energy Saving in Design Framework of Air-Conditioning System, ditulis oleh I Made Astina dkk. dari Departemen Teknik Mesin ITB. Makalah ini membahas tentang perbandingan karakteristik beberapa refrigeran alternatif pengganti refrigeran HCFC-22. Beberapa refrigeran dari kelompok refrigeran hidrokarbon, dan halokarbon non CFC dibandingkan performansinya pada temperatur kondensor dan evaporator yang tetap. Performansi refrigeran tersebut pada beberapa konfigurasi sistem refrigerasi kompresi uap juga ditunjukkan dalam makalah ini.

Agus Hermanto, mahasiswa program doktor Departemen Teknik Mesin ITB, beserta para pembimbingnya menulis makalah ketiga yang diberi judul: Pengembangan Metode Simulasi Sistem Pengkondisian Udara Energi Surya. Makalah ini berisi informasi parameter-parameter penting di pengumpul surya, penyimpan panas temperatur tinggi dan temperatur rendah, mesin refrigerasi absorpsi dan pengaruhnya terhadap sistem pengkondisian udara secara keseluruhan. Disamping itu dalam makalah ini juga dikemukakan perbandingan hasil-hasil simulasi dengan data pengujian.

Makalah keempat adalah makalah yang ditulis dalam bahasa Inggris oleh Phan Anh Tuan, mahasiswa program magister Departemen Teknik Mesin ITB, dan para pembimbingnya. Makalah ini berjudul Measuring and Compensating for Off-Line to Running Machinery Movement. Dalam makalah ini dibahas karakteristik ketidakseimbangan poros dalam keadaan panas dan dingin dan cara-cara mengkompensasi pergerakan mesin dari keadaan diam hingga mesin berputar (OL2R). Hasil-hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa kondisi ketidakseimbangan poros berubah selama beroperasi dan hal tersebut sangat mempengaruhi tingkat getaran pada mesin-mesin rotasi. Kompensasi OL2R dapat dilakukan dengan merendahkan posisi kaki motor listrik penggerak relatif terhadap beban yang digerakan (generator).

Makalah terakhir ditulis oleh Amoranto Trisnobudi dari Departemen Teknik Fisika ITB. Makalah ini berjudul Analisis Frekuensi pada Uji Tak Merusak Ultrasonik. Dalam makalah dibahas kesuksesan analisis frekuensi pada prediksi cacat kecil dalam material yang posisinya miring terhadap berkas gelombang ultrasonik.

Akhir kata Redaksi mengucapkan selamat membaca semoga makalah-makalah dalam Jurnal Mesin ini memberi informasi dan pengetahuan yang bermanfaat.

---

# MESIN

Jurnal Teknik Mesin

*Vol. 20, No. 2, Oktober 2005*

No. ISSN: 0852-6095

---

Diterbitkan oleh : Departemen Teknik Mesin, FTI  
Institut Teknologi Bandung

Surat ijin : STT No. 964/DIT-JEN/PPG/STT/1982.

---

## DAFTAR ISI

<i>Studi Numerik Pengaruh Jumlah dan Puntiran Swirler Vanes pada Aliran Masuk Tabung</i> <b>I Gede Parwatha, Firman Hartono, Hisar M. Pasaribu, Djoko Sardjadi dan Aryadi Suwono</b>	<b>40</b>
<i>Analysis of Using Alternative Refrigerants for Energy Saving in Design Framework of Air-Conditioning System</i> <b>I Made Astina, Prihadi Setyo Darmanto, Warsito and Edwin Adryanto</b>	<b>49</b>
<i>Pengembangan Metode Simulasi Sistem Pengkondisian Udara Energi Surya</i> <b>Agus Hermanto, Aryadi Suwono, Abdurrachim dan Ari D. Pasek</b>	<b>58</b>
<i>Measuring and Compensating for Off-Line to Running Machinery Movement</i> <b>Phan Anh Tuan, Zainal Abidin and Komang Bagiasna</b>	<b>68</b>
<i>Analisis Frekuensi pada Uji Tak Merusak Ultrasonik</i> <b>Amoranto Trisnobudi</b>	<b>73</b>

---

**M E S I N**

**Jurnal Teknik Mesin**

***Vol. 20, No. 2, Oktober 2005***

---

# ANALISIS FREKUENSI PADA UJI TAK MERUSAK ULTRASONIK

Amoranto Trisnobudi

Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung  
Jalan Ganesha 10 Bandung 40132  
e-mail : amoranto@tf.itb.ac.id

## Ringkasan

*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 pemantulan atau difraksi. Setelah terjadi interaksi, berkas gelombang ultrasonik yang dipantulkan atau didifraksikan oleh cacat ini akan diterima oleh suatu transduser lain atau oleh 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 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 makalah ini akan dibahas dua metoda dengan analisis frekuensi yang dapat digunakan untuk menanggulangi kedua masalah tersebut di atas, yaitu spektroskopi ultrasonik dan split spectrum processing.*

## Abstract

*In ultrasonic nondestructive testing an ultrasonic wave is usually radiated through a material by a transducer. If there is a flaw inside the material, reflected or diffracted waves caused by the interaction between the ultrasonic wave and the flaw, are received by the same or another transducer. The received signals must be processed in order to obtain information about the flaw characteristics. For the flaw which perpendicular to the beam wave, the flaw size can be determined by amplitude analysis, for example by using DGS (Distance Gain Scale) diagram. The oblique flaw can be characterized by time analysis such as Time of Flight Diffraction (TOFD) method. But if the flaw is small or there is a large enough noise, frequency analysis must be used. This paper deals with the two methods using frequency analysis, i.e. ultrasonic spectroscopy and split spectrum processing, to overcome the above problems.*

**Keywords:** *Ultrasonic nondestructive testing, frequency analysis, ultrasonic spectroscopy, split spectrum processing.*

## 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 mengenai ada atau tidak adanya cacat ini sudah cukup untuk digunakan sebagai dasar dari suatu pengambilan keputusan, misalnya bagian material yang ada cacatnya dipotong dan dibuang atau dilebur kembali. Bila sudah diketahui terdapat cacat di dalam material, misalnya 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/panas 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 rusak kita ingin mengetahui karakteristik cacat, yaitu menentukan ukuran dan orientasi cacat di dalam material.

Pada uji tak merusak ultrasonik biasanya suatu gelombang akustik berfrekuensi tinggi diradiasikan ke dalam material oleh sebuah transduser. Bila terdapat suatu cacat 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 transduser lain atau oleh transduser 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 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. Masalah ini dapat ditanggulangi dengan metoda-metoda yang menggunakan analisis frekuensi.

Pada makalah ini, mula-mula akan dibahas secara singkat mengenai metoda-metoda konvensional yang menggunakan analisis amplituda seperti 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 dua metoda yang menggunakan analisis frekuensi, yaitu spektroskopi ultrasonik dan *split spectrum processing*.

## 2. ANALISIS AMPLITUDA

Pada keadaan-keadaan tertentu dimana orientasi dari cacat telah diketahui, maka ukuran cacat dapat ditentukan hanya dengan analisis amplituda, misalnya dengan menggunakan cacat-cacat acuan, biasanya berupa *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 jarak dari cacat buatan ke permukaan (kedalaman cacat).

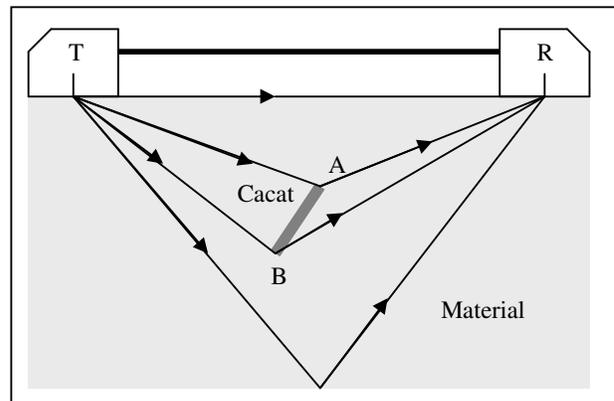
Pengukuran ukuran cacat yang lebih teliti dapat dilakukan dengan menggunakan diagram *Distance Gain Scale* [1]. Cara ini bisa digunakan untuk material apa saja dan jarak cacat berapa saja sehingga dapat menanggulangi kekurangan-kekurangan menggunakan blok acuan tersebut di atas. Diagram DGS itu sendiri 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 mempunyai diagram DGS-nya 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 cacat sejajar dengan permukaan material (tegak lurus pada berkas gelombang), yaitu dengan menggunakan transduser longitudinal (*straight beam probe*). Bila cacatnya miring dan diketahui kira-kira sudut kemiringannya dapat digunakan transduser transversal (*angle beam probe*) bersudut 35°, 45°, 60°, 70° yang banyak dijual dipasaran.

## 3. ANALISIS WAKTU

Untuk menentukan ukuran cacat yang kemiringannya belum diketahui dapat digunakan metoda non-konvensional yang dilakukan dengan analisis waktu, yaitu yang sering disebut sebagai *Time-of-Flight Diffraction*<sup>[2]</sup> seperti yang terlihat pada Gambar 1.



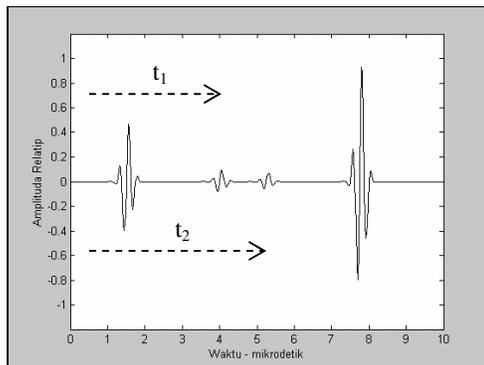
**Gambar 1.** Uji tak merusak ultrasonik menggunakan metoda *Time-of-Flight Diffraction*

Disini digunakan transduser pemancar T dan transduser penerima R yang dipasang sebagai *tandem system*. Gelombang ultrasonik yang diradiasikan ke dalam benda uji oleh transduser pemancar akan diterima oleh transduser penerima setelah mengalami berbagai peristiwa gelombang. Sinyal pertama yang sampai berupa gelombang permukaan yang kadang-kadang disebut sebagai gelombang lateral. Sinyal kedua dan ketiga berasal dari gelombang difraksi oleh ujung atas A dan ujung bawah B dari retakan sedangkan sinyal terakhir berasal dari gelombang pantul oleh permukaan bawah benda uji.

Hanya sinyal-sinyal difraksi yang dapat digunakan untuk menentukan ukuran dan kemiringan retakan. Kedua sinyal ini sangat kecil bila dibandingkan dengan sinyal-sinyal yang lain seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Dengan mengukur waktu tempuh  $t_1$  dan  $t_2$  serta jarak antara kedua transduser, ukuran dan kemiringan retakan dapat ditentukan. Oleh karena baik ukuran maupun kemiringan retakan belum diketahui, maka diperlukan dua kali pengukuran dengan dua posisi yang berbeda.

Metoda TOFD ini tentu saja baru dapat digunakan bila pengukuran waktu tempuh  $t_1$  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. Di bawah ini akan dibahas secara singkat mengenai teori spektroskopi ultrasonik ini.



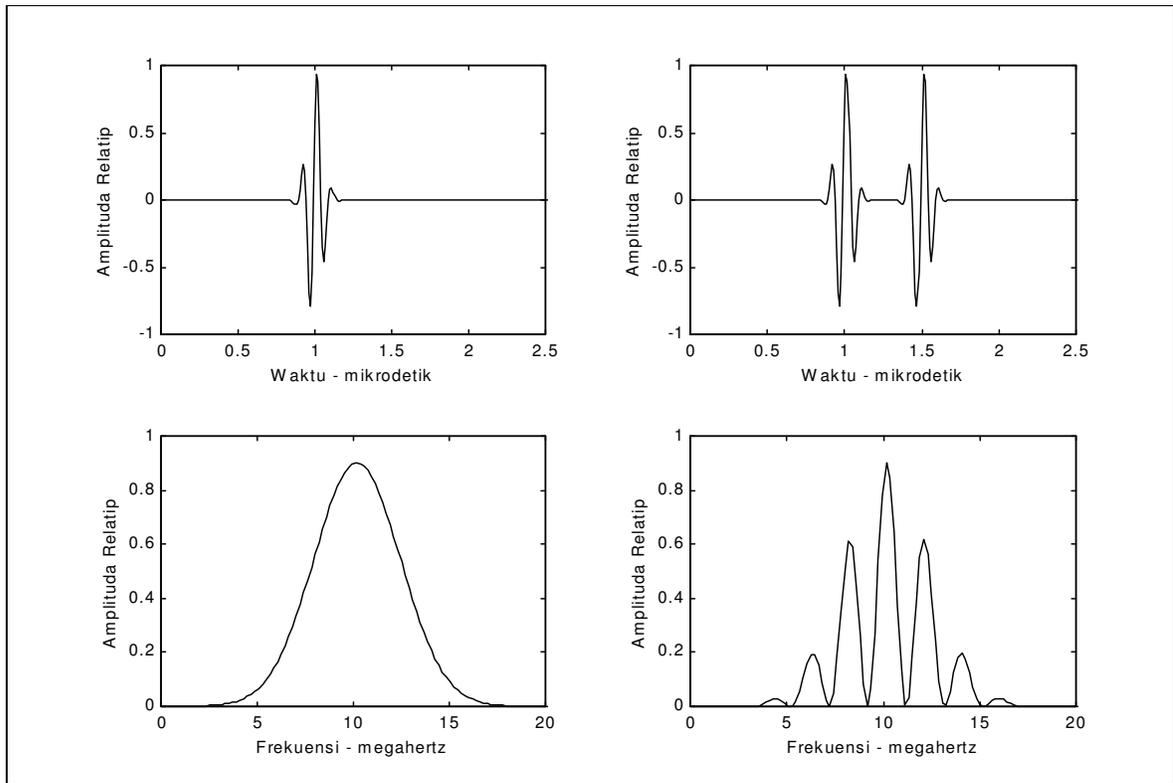
**Gambar 2.** Sinyal-sinyal yang berasal dari gelombang lateral, gelombang difraksi dan gelombang pantul.

#### 4. SPEKTROSKOPI ULTRASONIK

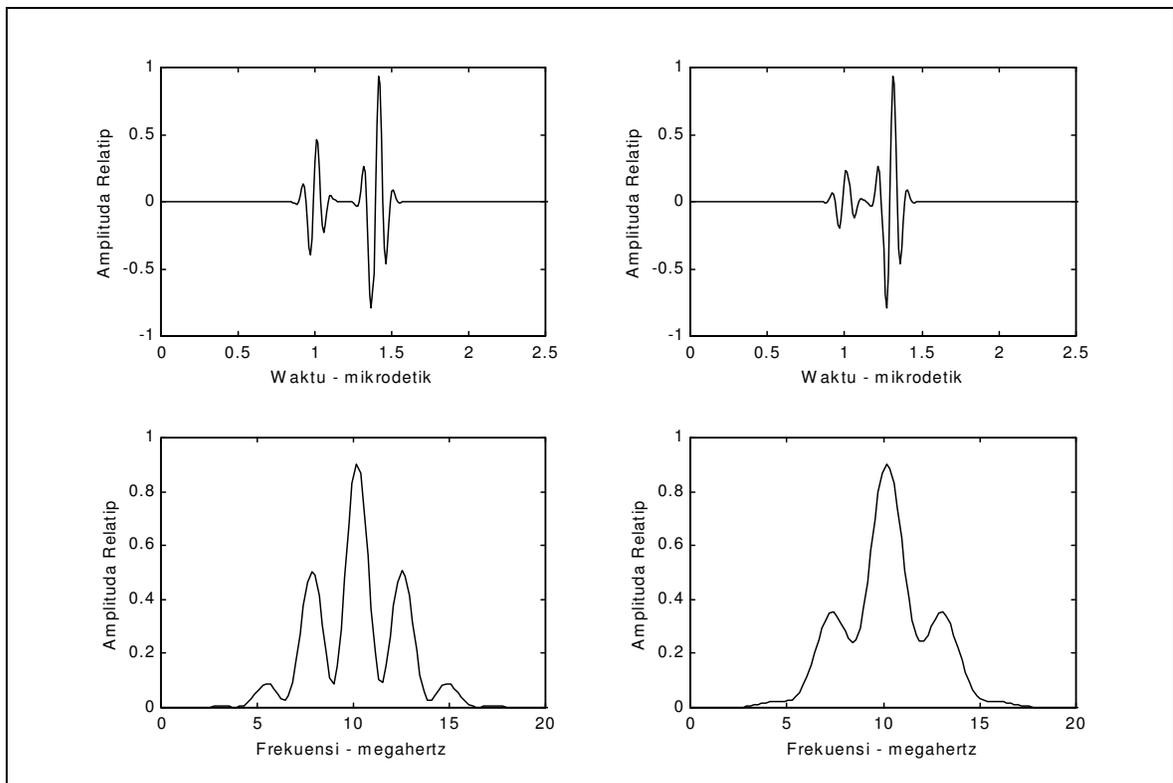
Menurut teori spektroskopi [3], bila  $F(\omega)$  adalah transformasi Fourier (spektrum) dari suatu fungsi tunggal  $f(t)$ , maka fungsi ganda identik dengan selang waktu  $\Delta T$  akan mempunyai spektrum yang merupakan modulasi antara  $F(\omega)$  dan suatu fungsi kosinus sedemikian rupa sehingga selang frekuensi  $\Delta f$  dari puncak-puncaknya (maksimum) adalah kebalikan dari  $\Delta T$ . Pada Gambar 3a 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 3b mempunyai selang waktu  $0,5 \mu\text{s}$  sehingga spektrumnya akan mempunyai selang frekuensi 2 MHz.

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 amplitudanyapun juga berbeda. Pada Gambar 4 ditunjukkan sinyal-sinyal ganda tidak identik dan spektrumnya. Perbandingan amplituda 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.

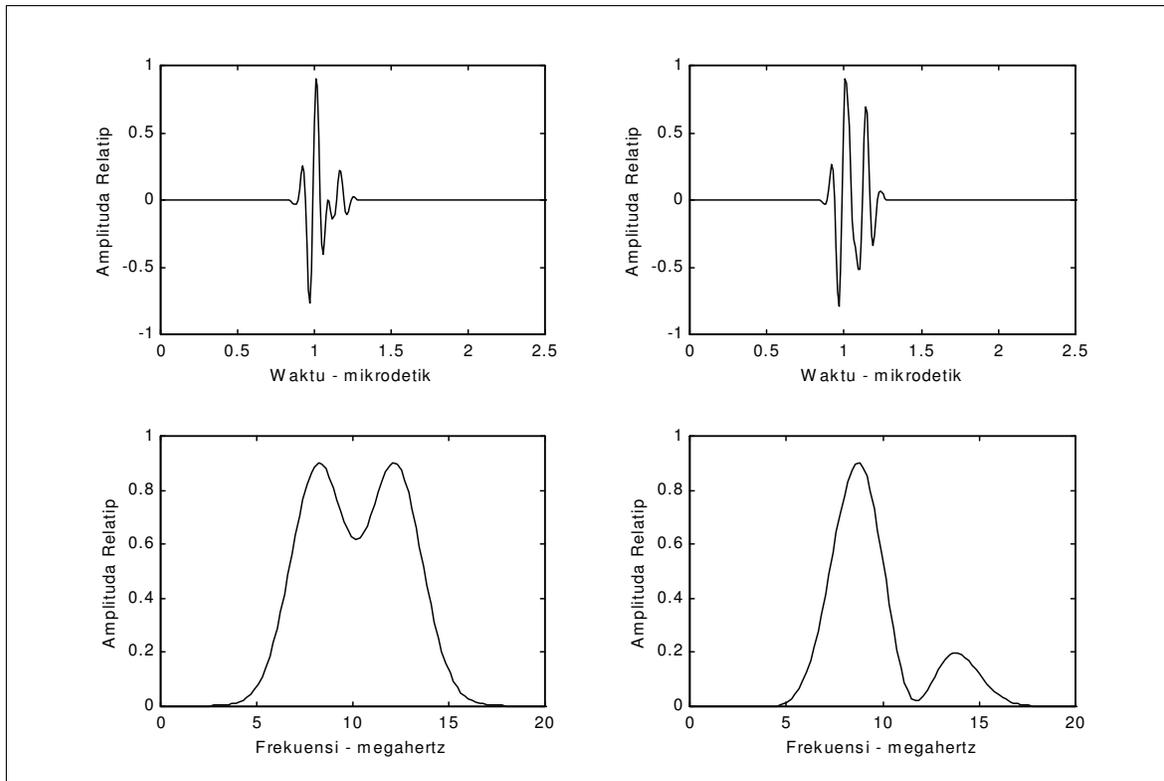
Apa yang terjadi bila selang waktunya kecil sekali sehingga kedua sinyalnya saling tumpang tindih? Ternyata selang frekuensinya masih bisa diamati seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Hal ini dapat terjadi karena lebar pita frekuensinya yang cukup lebar.



**Gambar 3.** Sinyal tunggal, sinyal ganda identik dan spektrumnya.



**Gambar 4.** Sinyal-sinyal ganda tidak identik dan spektrumnya.



**Gambar 5.** Sinyal-sinyal tumpang tindih dan spektrumnya.

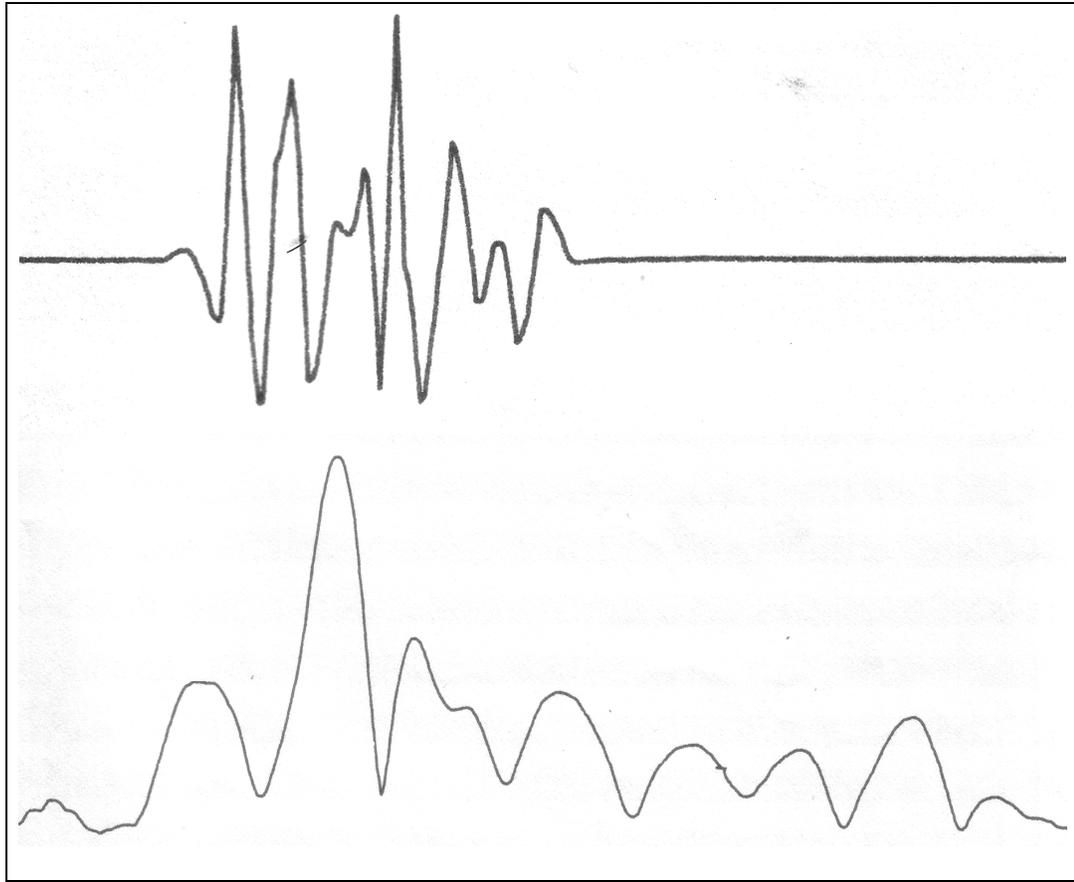
Sinyal-sinyal ini dapat diperoleh dengan menggunakan *wide-band/broad-band ultrasonic transducers*. Jadi masalah mengenai selang waktu dari sinyal-sinyal tumpang tindih yang sulit diukur dengan metoda TOFD ini dapat ditanggulangi dengan spektroskopi ultrasonik. Selang waktu dari sinyal ganda yang sangat kecil ini dapat ditentukan secara tidak langsung, yaitu dengan mengukur selang frekuensi pada spektrumnya.

Sinyal-sinyal yang digunakan pada gambar-gambar 3, 4 dan 5 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 akibat atenuasi yang berbeda untuk frekuensi yang berbeda dan amplitudanya yang kecil sekali.

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 makin besar frekuensinya, maka makin besar pula atenuasinya. Menurut teorema Fourier setiap sinyal merupakan gabungan dari berbagai sinyal-sinyal dengan frekuensi yang berbeda. Oleh karena sinyal-sinyal ini mengalami atenuasi 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 teratur bentuknya. Pada Gambar 6 ditunjukkan sinyal-sinyal difraksi dan spektrumnya yang berasal dari cacat berupa *flat bottom hole* berdiameter 16 mm dengan  $\theta = 15^\circ$  dan  $\alpha = 15^\circ$  yang berada di dalam bahan aluminium dimana  $\theta$  adalah sudut kemiringan cacat terhadap horisontal dan  $\alpha$  adalah sudut antara sumbu transduser pemancar dan transduser penerima. Terlihat disini bahwa sinyal-sinyal difraksinya saling tumpang tindih sehingga sulit ditentukan selang waktunya. Tetapi selang frekuensi dari spektrumnya masih bisa ditentukan, meskipun 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, diameter dan sudut kemiringannya dapat ditentukan. Pada Tabel 1 ditunjukkan hasil pengukuran selang frekuensi dan hasil perhitungan diameter dan sudut kemiringannya [4].



**Gambar 6.** Sinyal-sinyal difraksi (atas) dan spektrumnya (bawah) dari *flat bottom hole* berdiameter 16 mm dengan kemiringan  $\theta = 15^\circ$ , pada sudut  $\alpha = 15^\circ$ .

**Tabel 1.** 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	$13,7^\circ$	$15^\circ$
0,81	0,63	10,7	10	$14,2^\circ$	$15^\circ$
0,72	0,57	11,3	12	$15,7^\circ$	$15^\circ$
0,58	0,45	15,1	14	$14,0^\circ$	$15^\circ$
0,53	0,41	16,7	16	$13,7^\circ$	$15^\circ$
0,48	0,38	17,0	18	$15,7^\circ$	$15^\circ$

## 5. SPLIT SPECTRUM PROCESSING

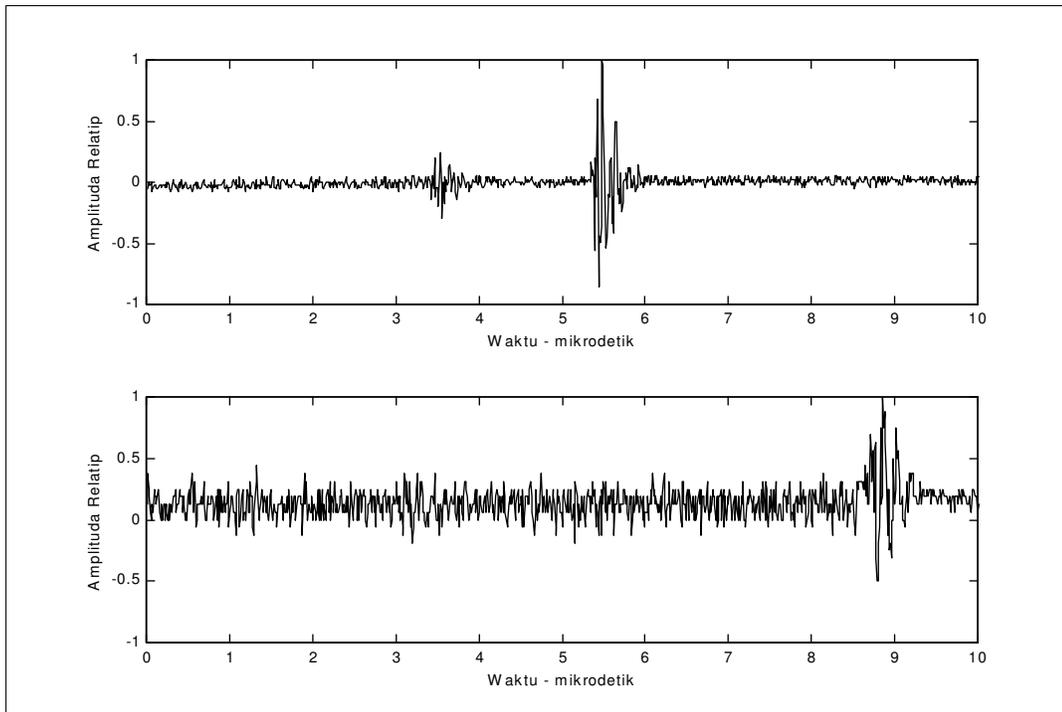
Semua metoda-metoda tersebut di atas tentunya baru bisa digunakan bila interaksi antara berkas gelombang dan cacat menghasilkan sinyal-sinyal yang dapat dikenali keberadaannya seperti terlihat pada bagian atas Gambar 8. Waktu tempuh dari kedua sinyal ini dengan mudah dapat diukur. Berbeda halnya bila cacatnya kecil sekali dimana amplituda sinyalnya tidak jauh berbeda dengan amplituda dari derau elektronik sehingga tidak dapat dikenali keberadaannya karena terbenam di dalam derau. Demikian juga bila atenuasi di dalam material sangat besar, misalnya seperti yang terjadi pada material dengan butiran-butiran grain yang kasar (*coarse grained material*). Disini sinyalnya terbenam di dalam pantulan-pantulan akibat butiran-butiran grain (*grain echoes*). Pada bagian bawah dari Gambar 7 ditunjukkan sinyal cacat yang terbenam di dalam derau dimana signal-to-noise rasionya (S/N ratio) berharga disekitar satu. Sinyal yang lebih besar disebelah kanan adalah *back wall echo* (BWE) dari sebuah batang aluminium sedangkan sinyal cacatnya berada kira-kira ditengah sedang diperoleh dari pantulan oleh *flat bottom hole* berdiameter 1 mm. Transduser yang digunakan mempunyai frekuensi tengah sebesar 10 MHz dengan rentang frekuensi (bandwidth) sebesar 3 MHz. Untuk menanggulangi masalah ini perlu dilakukan usaha-usaha yang dapat meningkatkan S/N ratio agar dapat mendeteksi sinyal yang terbenam ini. Salah satu cara untuk meningkatkan S/N ratio adalah dengan menggunakan apa yang disebut sebagai *Split Spectrum Processing* (SSP), yaitu suatu pemrosesan sinyal yang biasa digunakan pada sistem Radar[5]. Dasar dari pemrosesan sinyal menggunakan SSP ini akan dijelaskan di bawah ini.

Meskipun mempunyai amplituda yang rendah, sehingga terbenam di dalam derau, sinyal cacat ini memiliki rentang frekuensi yang lebar. Bandwidth yang lebar ini dimanfaatkan oleh teknik SSP, yaitu

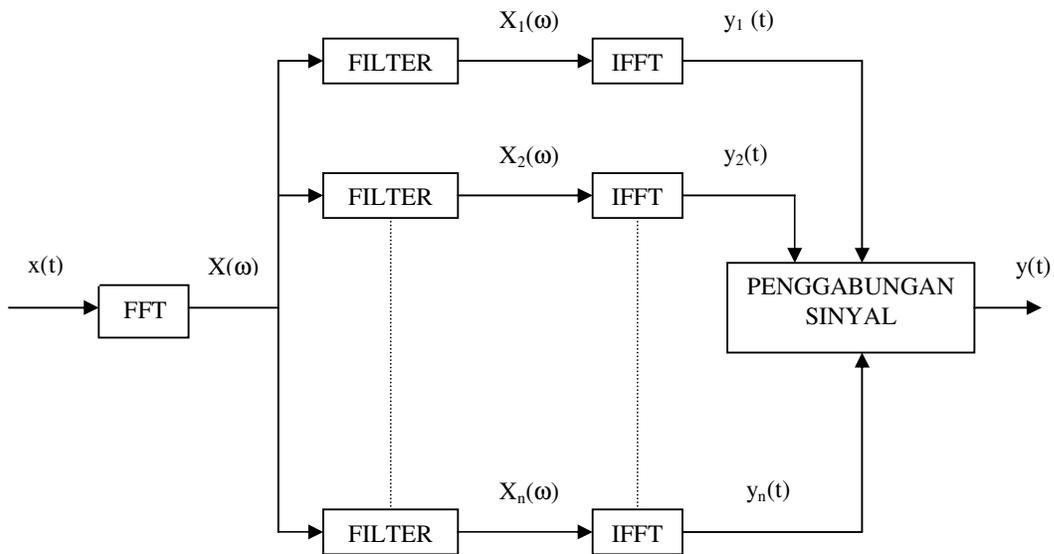
dengan membagi-bagi bandwidth tersebut oleh sejumlah filter, sehingga diperoleh sejumlah sinyal dengan rentang frekuensi yang berbeda-beda. Setiap sinyal terdiri atas sinyal yang akan diproses di tambah derau yang berbeda frekuensinya antara sinyal yang satu dan yang lainnya. Sinyal-sinyal yang sudah difilter ini kemudian digabungkan kembali menggunakan beberapa metoda misalnya seperti metoda rata-rata dari kuadrat sinyal (*Average of squared signal*, Ass), metoda kuadrat dari rata-rata sinyal (*Squared of averaged signal*, Sas) dan metoda minimisasi dari kuadrat sinyal (*Minimization of squared signal*, Minz). Penggabungan sinyal-sinyal ini menyebabkan amplituda sinyal cacat menjadi lebih besar sedangkan sinyal-sinyal derau tereduksi karena saling menghilangkan satu sama lain.

Dengan demikian diperoleh S/N ratio yang baru yang lebih tinggi dari S/N ratio sebelumnya. Blok diagram dari pemrosesan sinyal ini ditunjukkan pada Gambar 8. Mula-mula dilakukan *Fast Fourier Transform* (FFT) pada sinyal asli  $x(t)$  sehingga diperoleh spektrumnya, yaitu  $X(\omega)$ . Spektrum dengan bandwidth yang cukup lebar ini kemudian dibagi-bagi oleh sejumlah filter gaussian. Setiap filter mempunyai bandwidth yang sama tetapi mempunyai frekuensi tengah yang berbeda-beda sehingga diperoleh sejumlah spektrum  $X_n(\omega)$ . Selanjutnya dilakukan transformasi Fourier balik dengan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) terhadap spektrum-spektrum ini sehingga menghasilkan sinyal-sinyal  $y_n(t)$ . Akhirnya dilakukan penggabungan sinyal yang memberikan sinyal hasil proses  $y(t)$  dengan Signal-to-Noise Ratio yang lebih besar.

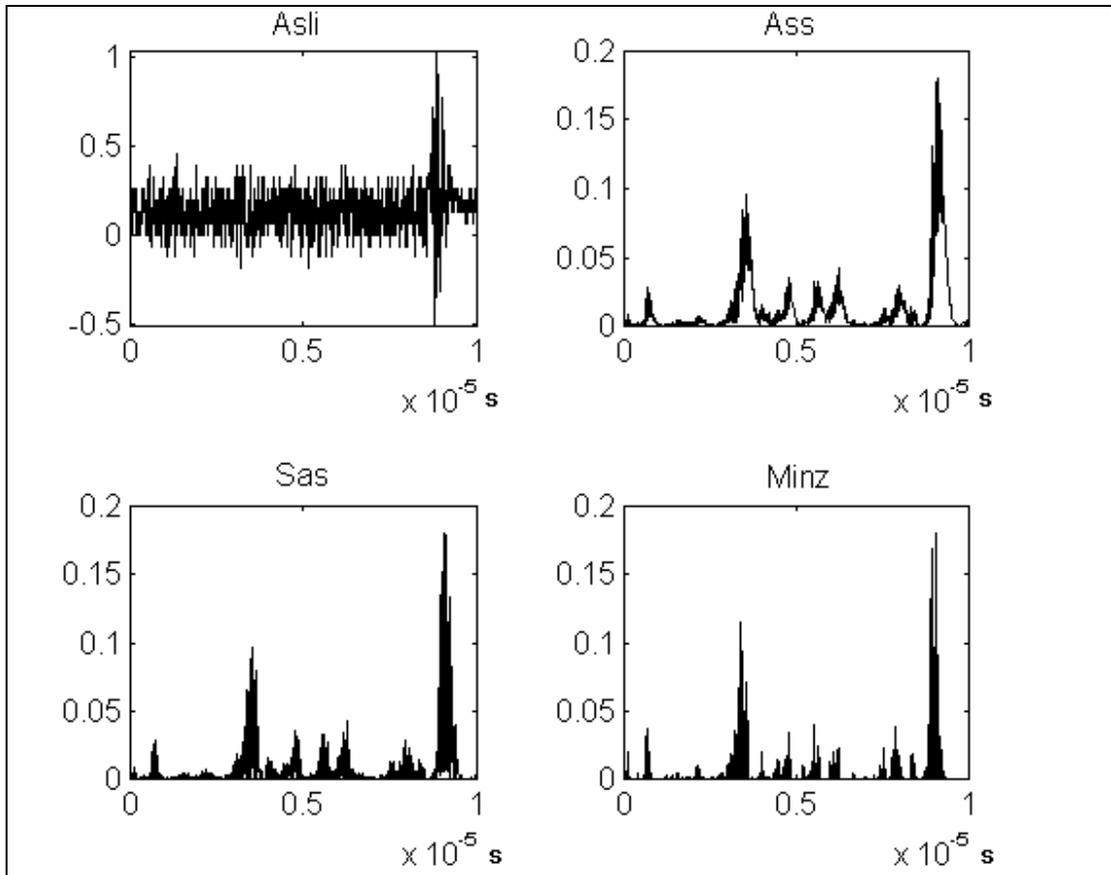
Pada Gambar 9 ditunjukkan hasil SSP dari sinyal yang terbenam dalam derau, yaitu sinyal pada bagian bawah dari Gambar 7.



**Gambar 7.** Sinyal cacat yang masih bisa dikenali keberadaannya (atas)  
Sinyal cacat yang terbenam dalam derau (bawah)



**Gambar 8.** Blok diagram dari Split Spectrum Processing



**Gambar 9.** Hasil SSP dari sinyal yang terbenam dalam derau.  
 Sinyal (Frekuensi tengah 10 MHz, bandwidth 3 MHz)  
 Filter (Bandwidth 3,25 MHz, jumlah 30)

## 6. 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 Gain Scale*. Sinyal-sinyal difraksi yang lebih sulit dapat ditangani dengan analisis waktu seperti metoda *Time-of Flight Diffraction* asalkan sinyal-sinyalnya tidak saling tumpang tindih. Bila sinyal-sinyalnya saling tumpang tindih, maka harus digunakan analisis frekuensi seperti spektroskopi ultrasonik. Untuk menanggulangi sinyal-sinyal yang sulit dideteksi karena terbenam dalam derau harus digunakan pemrosesan yang lebih rumit seperti misalnya dengan Split Spectrum Processing.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

1. J. Krautkramer, and H. Krautkramer., *Ultrasonic Testing of Material*, Springer-Verlag, Berlin, 1977.
2. J.P Charlesworth, and J.A.G Temple., *Engineering Applications of Ultrasonic Time-of-Flight Diffraction*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1989.
3. A Trinobudi. Spektroskopi Ultrasonik, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah* KIM-LIPI, Serpong, 1989.
4. A Trinobudi., *Etude et Caracterisation par Ultrasons de Defauts dans un Solide Elastique*, These de Docteur Ingenieur, Universite d'Aix-Marseille II, France, 1983.
5. A Trinobudi. Uji Tak Merusak Ultrasonik Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemeriksaan Cacat Di Dalam Bahan Menggunakan Split Spectrum Processing, *Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir IX*, Pusat Pengembangan Informatika BATAN, Jakarta, 1999.