

PEMAKAIAN FILTER MEDIAN PADA PROFIL SEISMIC VERTIKAL (VSP)

Oleh :

Janizal *)

Suprajitno Munadi

SARI

Pemisahan gelombang-gelombang yang menuju ke atas maupun ke bawah, yang terekam secara bersamaan pada setiap posisi kedalaman detektor dalam rekaman VSP, merupakan tahapan yang penting pada waktu pengolahan data VSP. Analisis dan evaluasi data VSP pada umumnya dilakukan terhadap gelombang-gelombang yang menuju ke atas atau ke bawah saja.

Konsep filter median diterapkan untuk memisahkan gelombang-gelombang yang menuju ke atas dan ke bawah tersebut sebagai suatu alternatif yang cukup baik terhadap pemakaian filter kecepatan yang umumnya dipakai untuk memisahkan kedua jenis gelombang tadi. Filter median mempunyai beberapa kelebihan dibanding filter kecepatan, yakni waktu pengolahan yang lebih singkat dan efek sampingan yang lebih sederhana.

Pemakaian filter median terhadap data VSP sintetik memberikan hasil yang sempurna untuk mendapatkan gelombang-gelombang yang hanya menuju ke bawah saja, dan memberikan hasil yang cukup baik untuk mendapatkan gelombang-gelombang yang hanya menuju ke atas saja. Pemakaiannya pada data lapangan memberikan hasil serupa.

ABSTRACT

The separation of upgoing waves and down going waves which are always recorded together at each geophone levels in Vertical Seismic Profiling (VSP) is one of the most important steps in VSP data processing. The analysis and evaluation of the VSP data are usually carried out on the upgoing waves only or on the downgoing waves only.

The median filter is introduced to separate the upgoing and down going waves as an alternative approach which is good enough compared to velocity filtering which is usually used for this purpose. The median filter has several advantages compared to the velocity filtering in that the processing speed which is faster and the side effect which is smaller.

The application of the median filter to VSP synthetic data has given an excellent result for obtaining the downgoing waves and a good result for the upgoing waves. The application to the real VSP data has also given similar results.

*) Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Indonesia, Jakarta.

I. PENDAHULUAN

Rekaman penampang seismik vertikal (*Vertikal Seismic Profiling* atau VSP) mengandung gelombang-gelombang yang menuju ke atas (*upgoing waves* atau UGW) dan gelombang-gelombang yang menuju ke bawah (*downgoing waves* atau DGW), yang secara bersamaan terekam di setiap posisi kedalaman detektor (Gambar 1).

Interferensi, gelombang-gelombang tersebut sangat menyulitkan analisis dan evaluasi yang umumnya hanya dapat dilakukan terhadap UGW dan DGW yang telah terpisah. Misalnya, analisis atenuasi dan penentuan operator dekonvolusi hanya baik kalau dilakukan terhadap DGW, sedangkan pembuatan VSP sintetik maupun teknik migrasi data VSP hanya baik kalau dilakukan terhadap UGW. Itulah sebabnya pemisahan UGW dan DGW merupakan tahapan yang penting dalam pengolahan data VSP.

Pemisahan UGW dan DGW dari data VSP sudah sering dibahas dalam makalah-makalah geofisika misalnya Seeman dan Horowicz (1983) dan Suprajitno dan Greenhalgh (1985)

yang memanfaatkan transformasi Fourier dua dimensi. Hal ini berarti proses pemisahan dilakukan dikawasan frekuensi-bilangan gelombang. Tulisan ini mengemukakan metode lain, yakni filter median yang sepenuhnya dilakukan di kawasan waktu kedalaman. Dalam hal ini tidak diperlukan transformasi Fourier dua dimensi dan waktu operasinyaapun lebih singkat.

Pemakaian konsep filter median diawali oleh Jayant (1976), Rabiner (1975) dan Bednar (1982). Huang dkk (1979) dan Evans (1981) dikenal sebagai penulis pertama algoritma komputasinya.

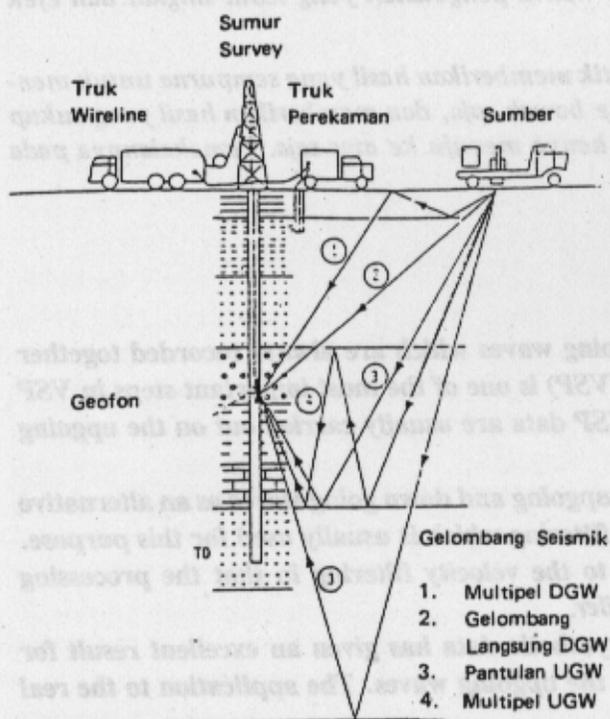
Secara umum dapat dikatakan bahwa terhadap suatu sinyal yang mengandung bising, suatu filter yang baik tidak akan mempengaruhi sinyal di luar bising itu sendiri, tetapi hanya mengganti data yang tidak diinginkan dengan data hasil interpolasi yang lebih baik. Dengan perkataan lain, filter mengerjakan apa yang diinginkan oleh pembuatnya. Dalam hal VSP, filter median hampir mendekati dengan yang diinginkan sebagai pemisah DGW dan UGW.

II. KONSEP FILTER MEDIAN

Istilah median yang dikenalkan di sini merupakan istilah statistik yang tepat dan tidak akan terkacaukan dengan pengertian *mean*, nilai rata-rata atau *mean* terbobot. Dari n jumlah data yang telah disusun urut dari yang terkecil sampai terbesar, nilai median didefinisikan dengan harga data yang ke $(n+1)/2$, untuk n bilangan ganjil. Sedangkan untuk n bilangan genap, nilai median didefinisikan sebagai *mean* dari dua data tengahnya.

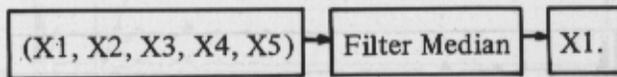
Filter median dengan panjang n menggantikan setiap titik dengan median dari kumpulan data yang asli yang terdapat pada "jendela data" dengan panjang n yang titik tengahnya terletak di titik yang akan diganti. Ini biasanya berkaitan dengan panjang filter yang ganjil. Jika digunakan filter median dengan panjang genap maka, dipakai *mean* dari dua titik tengah sebagai keluaran filter.

Sebagai penghalus data filter median dapat digunakan. Andaikan X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 merupakan data statistik dengan harga yang bervariasi. Dengan menyusun kembali data tersebut sehingga urut dengan harga yang membesar, mi-



Gambar 1. Diagram lintasan gelombang dan peralatan yang dibutuhkan pada perekaman data VSP.

salnya X_4, X_3, X_1, X_5, X_2 . Dalam contoh ini filter median dapat dinyatakan dengan:



Gambar 2. Konsep filter median

Gambar 2. menunjukkan sifat matematik yang penting dari filter median; yakni, filter median merupakan proses yang bukan linier. Keluaran X_1 tidak dapat dinyatakan sebagai kombinasi linier dari koefisien filter yang dikonvolusikan dengan vektor data masukan. Tidak satupun keluaran dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian spektrum frekuensi filter dengan spektrum frekuensi vektor data masukan. Jika beberapa operator linier $a(t), b(t), c(t), \dots$ dikenakan pada faktor data $X(t)$, kemudian urutan operasi tidak diperhatikan, maka konvolusi berturut-turut,

$$Y(t) = a(t) * X(t) * c(t) * b(t),$$

dengan ketentuan $*$ menyatakan operasi konvolusi, akan sama dengan urutan konvolusi

$$Y(t) = b(t) * a(t) * X(t) * c(t).$$

Namun demikian, jika proses matematik nonlinier dikenakan pada data $X(t)$, proses tersebut tidak dapat dibentuk secara acak pada beberapa tahap dalam urutan proses. Jika $O(t)$ merupakan operator nonlinier maka

$$Y_1(t) = O(t) * a(t) * X(t)$$

tidak akan memberikan hasil yang sama pada

$$Y_2(t) = a(t) * O(t) * X(t).$$

Dengan demikian, jika filter median digunakan dalam memproses data VSP, adalah penting untuk memperhatikan tahapan proses dalam pemakaian filter median. Jika dua set data VSP yang berbeda akan diproses dengan menggunakan filter median dan akan dibandingkan, operasi linier yang sama harus dilakukan terlebih dahulu baru diikuti dengan pemakaian filter median di kedua set data.

III. SIFAT-SIFAT FILTER MEDIAN

Filter median sebagai alternatif memisahkan UGW dan DGW memiliki sifat-sifat yang khas, yaitu:

1. Median dari $(k X(n)) = k \text{ Median } X(n)$
2. Filter median tidak merusak ketajaman keti-

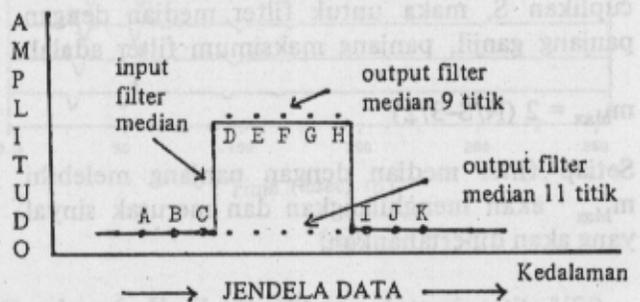
daksinambungan fungsi tangga.

3. Filter median secara mutlak menghilangkan bising paku.

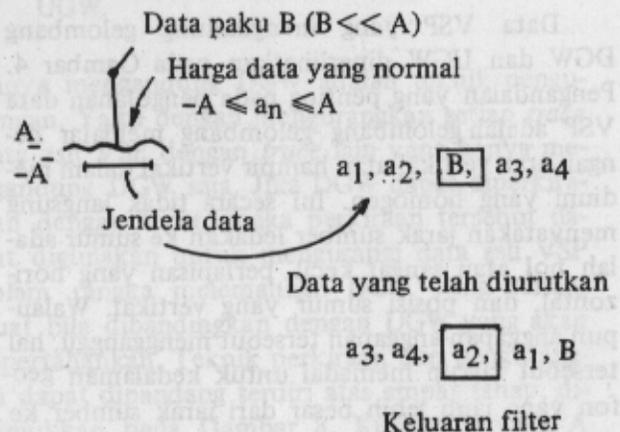
Sifat pertama menyatakan data masukan yang terskala menghasilkan keluaran yang terskala pula dengan faktor yang sama. Dengan demikian karena filter median bukan merupakan filter linier maka tidak berlaku sifat superposisi.

$$\text{Median}(\alpha X_1(n) + \beta X_2(n)) \neq \alpha \text{Median } X_1(n) + \beta \text{Median } X_2(n)$$

Sifat kedua merupakan sifat penting dalam hal pemakaian filter median sebagai penghalus data (lihat Rabiner, Sambur dan Schmidt, 1975). Filter median mempertahankan data dengan ketidaksinambungan yang tajam. Hal penting yang harus diperhatikan adalah penentuan panjang filter melebihi batas yang diberikan akan menghilangkan ketidaksinambungan data yang akan dipertahankan. Keluaran yang dihasilkan akan menjadi datar (Gambar 3a).



Gambar 3a. Filter median dengan panjang filter yang tepat tidak akan mengubah fungsi kotak.



Gambar 3b. Filter median lima titik dari data paku.

Dengan menyusun harga data sehingga urut dari terkecil sampai yang terbesar akan selalu menempatkan harga data paku pada ujung susunan data. Dengan demikian data paku tidak akan pernah menjadi nilai median.

Sifat terakhir, ditunjukkan pada Gambar 3b. Beberapa titik data tunggal yang berharga B, yang sangat besar dibandingkan dengan titik-titik data di sekitarnya, a_n , akan selalu menempati ujung ekstrem vektor data yang telah diurutkan harganya, dan tidak pernah muncul sebagai hasil filter median. Dengan demikian filter median menghilangkan bisping paku secara mutlak.

IV. PANJANG FILTER MEDIAN

Panjang maksimum filter median yang dapat digunakan ditentukan oleh panjang minimum sinyal yang dipertahankan. Jika panjang minimum sinyal adalah N detik dengan interval penuplikan S, maka untuk filter median dengan panjang ganjil, panjang maksimum filter adalah

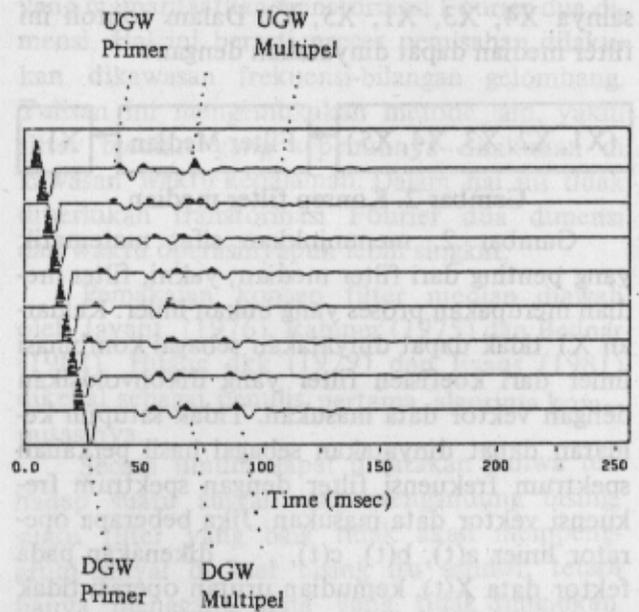
$$m_{\text{Max}} = 2(N/S - 3/2)$$

Setiap filter median dengan panjang melebihi m_{Max} akan menghilangkan dan merusak sinyal yang akan dipertahankan.

V. PEMAKAIAN FILTER MEDIAN PADA VSP

Data VSP yang mengandung gelombang DGW dan UGW diperlihatkan pada Gambar 4. Pengandaian yang penting pada pengolahan data VSP adalah gelombang-gelombang menjalar dengan arah vertikal atau hampir vertikal dalam medium yang homogen. Ini secara tidak langsung menyatakan jarak sumber ledakan ke sumur adalah nol atau sangat kecil, perlapisan yang horizontal, dan posisi sumur yang vertikal. Walaupun anggapan-anggapan tersebut mengganggu, hal tersebut cukup memadai untuk kedalaman geofon yang jauh lebih besar dari jarak sumber ke sumur.

Akibat dari anggapan di atas adalah terbentuknya gelombang-gelombang DGW yang simetris

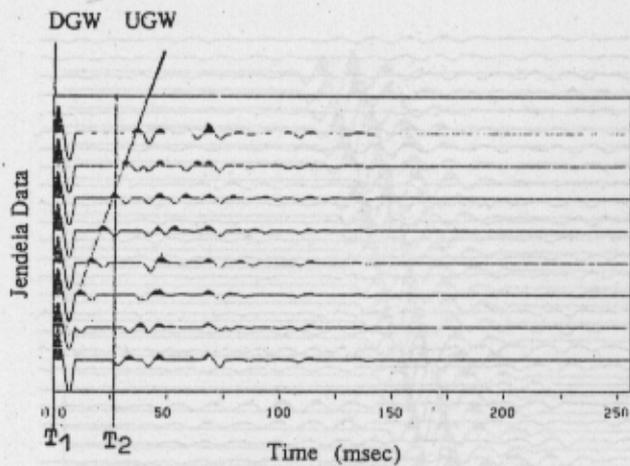


Gambar 4. Data VSP sintetik. Gelombang DGW dan UGW mempunyai *moveout* yang sama kecuali tandanya

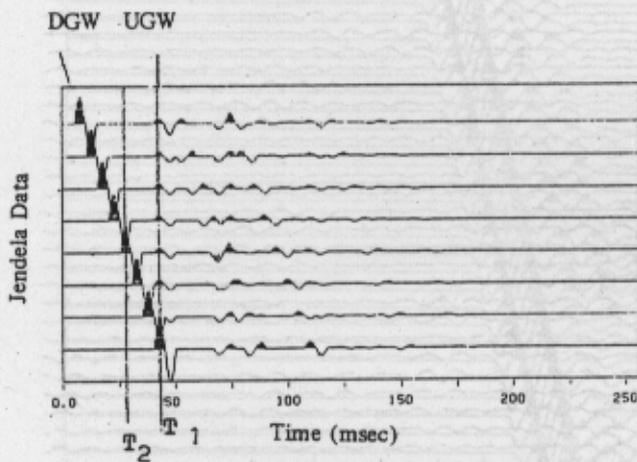
terhadap UGW. Gelombang-gelombang DGW dan UGW mempunyai *moveout* linier yang sama kecuali dengan tanda yang berbeda.

Pemisahan gelombang DGW dan UGW dijelaskan pada Gambar 5. Gambar (a) diperoleh dengan menggeser data Gambar 4 ke kiri sejauh harga *first break*-nya sehingga didapat DGW yang terletak lurus vertikal. Terhadap data Gambar (a) ini filter median dikerjakan secara vertikal sepanjang garis waktu yang konstan. Gambar (b) diperoleh dengan cara yang sama kecuali pada arah penggeseran. Di sini data digeser ke kanan sehingga didapat UGW yang terletak lurus vertikal.

Pemakaian filter median diperlihatkan pada Gambar 5. Pemfilteran sepanjang garis waktu T_1 tidak akan mengubah amplitudo gelombang yang dilaluinya. Ini karena garis T_1 melalui posisi fasa *wavelet* yang hampir sama sehingga bisa diharapkan mempunyai amplitudo yang sama. Pemfilteran sepanjang garis T_1 tidak akan mengubah bentuk dan fasa gelombang yang terletak secara vertikal. Bila filter median bekerja terhadap gelombang-gelombang yang terletak tidak secara vertikal, seperti sepanjang garis waktu T_2 , maka filter akan melemahkannya karena gelombang-gelombang tersebut tidak memiliki pelurusan fasa secara vertikal yang seragam. Susunan amplitudo



(a)



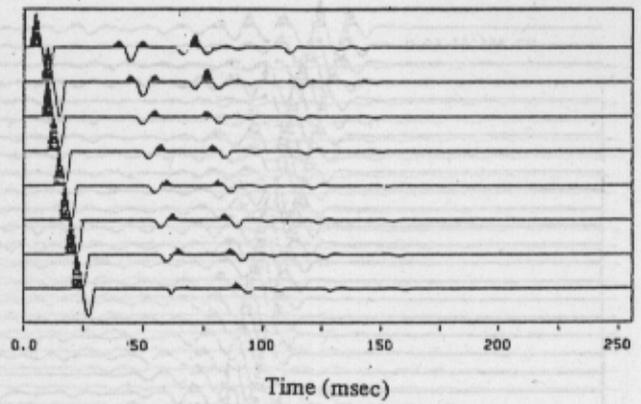
(b)

Gambar 5. Pemakaian filter median pada data sintetik VSP. (a) Penyaringan untuk menghilangkan UGW. (b) Penyaringan untuk menghilangkan DGW.

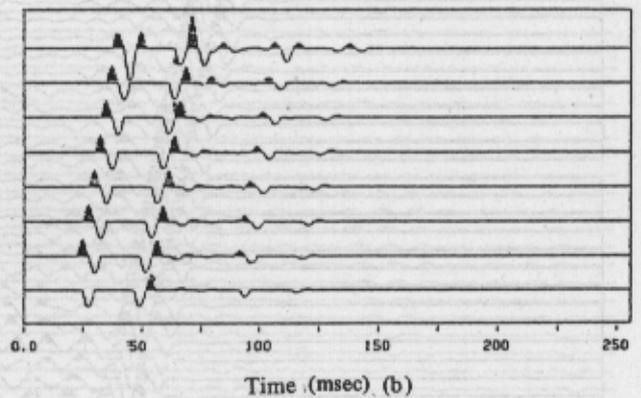
sepanjang garis waktu T_2 berhubungan dengan filter median yang bekerja pada data paku tunggal, seperti ditunjukkan pada Gambar 3b.

Hasil pemakaian filter median untuk memisahkan sinyal DGW dan UGW pada data sintetik diperlihatkan pada Gambar 6. Dengan memakai panjang filter 5 titik diperoleh seismogram yang hanya mengandung gelombang DGW saja, Gambar (a). Sedangkan pada Gambar (b) merupakan seismogram yang hanya mengandung UGW saja. Hasil pemfilteran pada data nyata untuk tujuan yang sama ditunjukkan pada Gambar 7.

Cara lain mendapatkan kumpulan *trace* yang



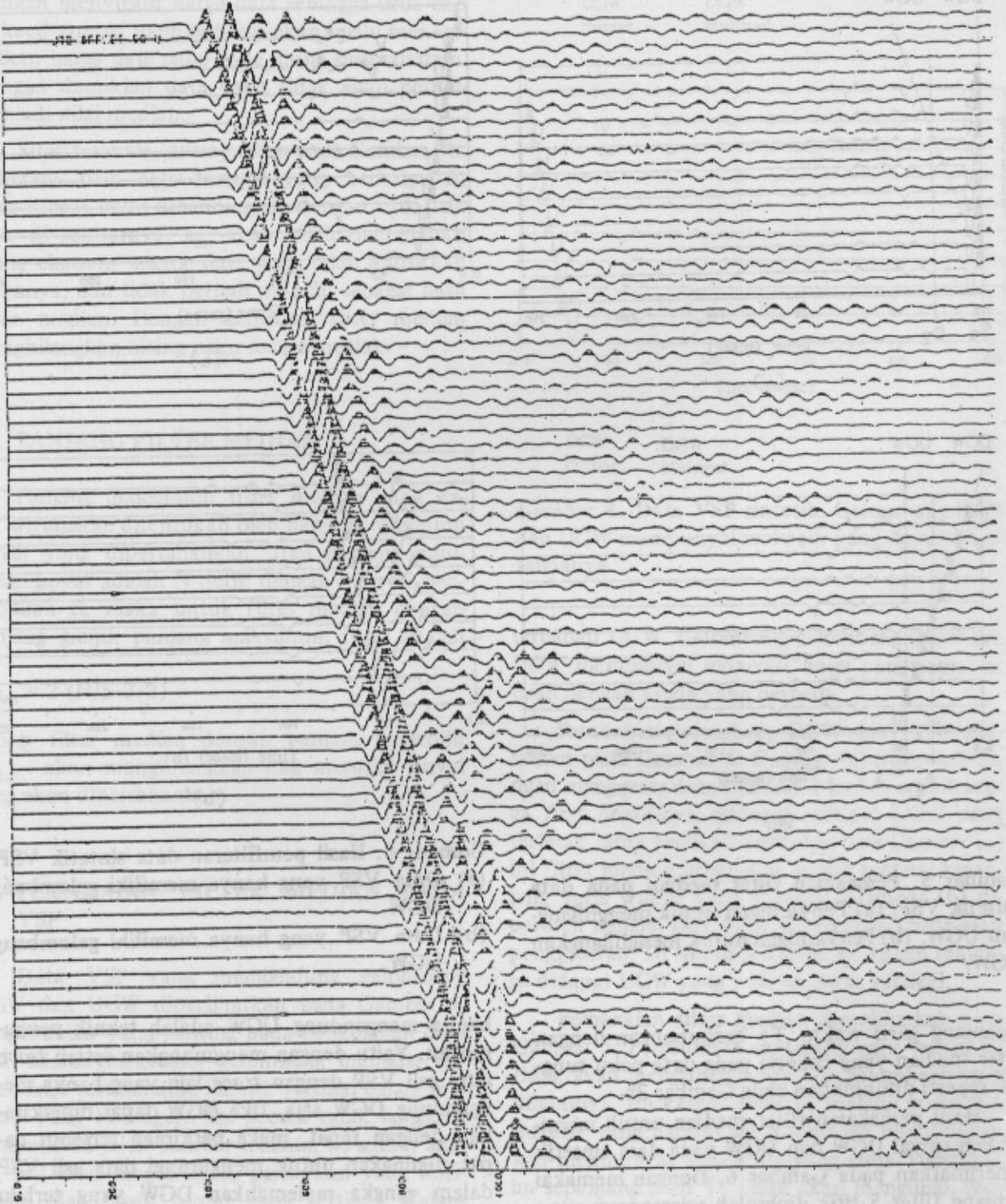
(a)



(b)

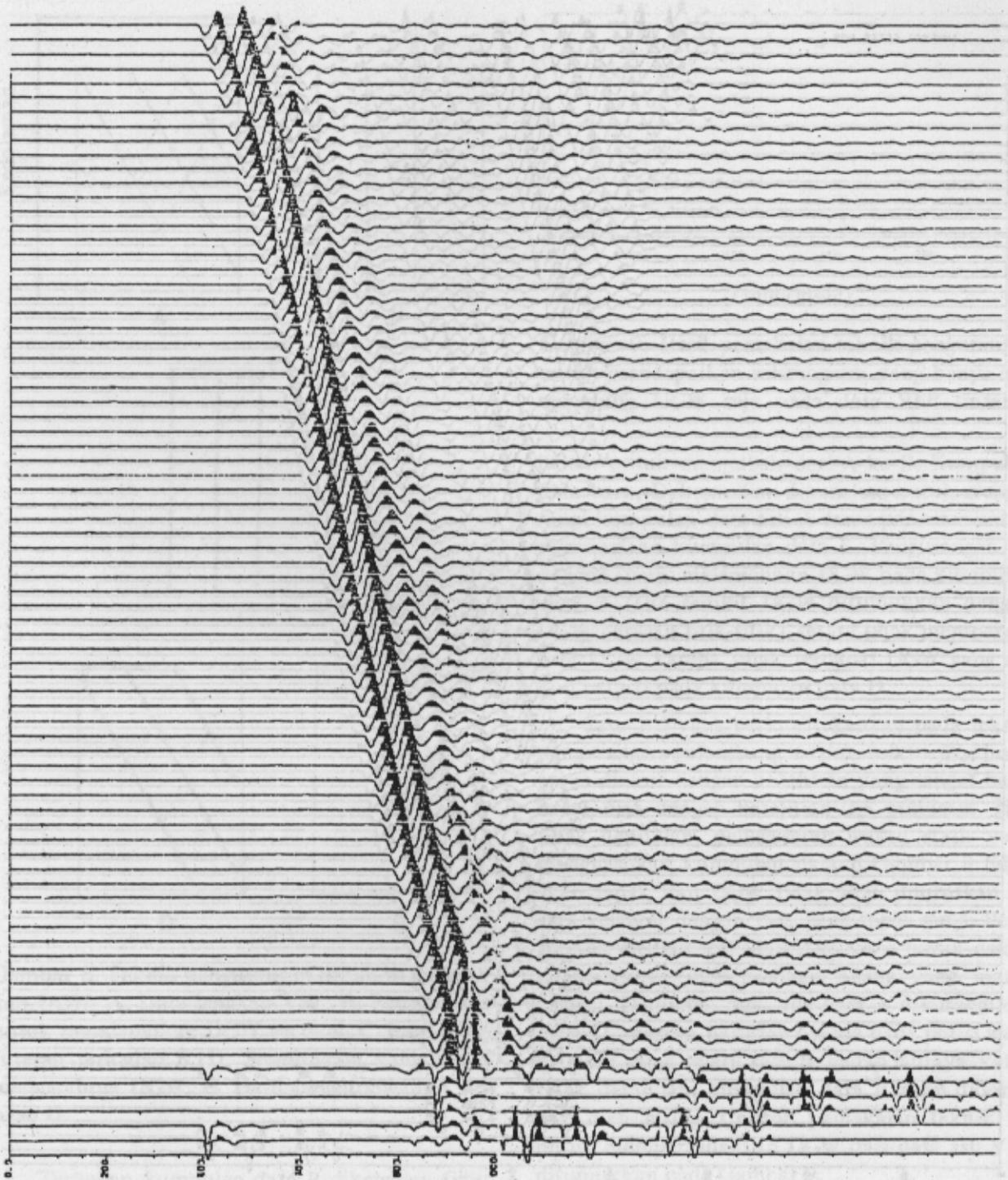
Gambar 6. Hasil pemfilteran data sintetik VSP. (a) Data VSP yang hanya memiliki gelombang DGW (b) Data VSP yang hanya memiliki gelombang UGW.

hanya mengandung UGW adalah teknik pengurangan. Yaitu dengan mengurangi setiap *trace* data asli VSP dengan *trace* lain yang hanya mengandung DGW saja. Jika DGW dapat diperkirakan dengan tepat, maka perkiraan tersebut dapat digunakan untuk mengurangi data asli VSP dalam rangka melemahkan DGW yang terlalu kuat bila dibandingkan dengan UGW yang akan dipertahankan. Teknik perkiraan dan pengurangan dapat dipandang terdiri atas empat tahap, ditunjukkan pada Gambar 8. Kumpulan data A menyatakan data asli VSP. Tahap pertama menggeser *trace* terhadap waktu ke arah negatif sehingga diperoleh kumpulan *trace* Gambar b.



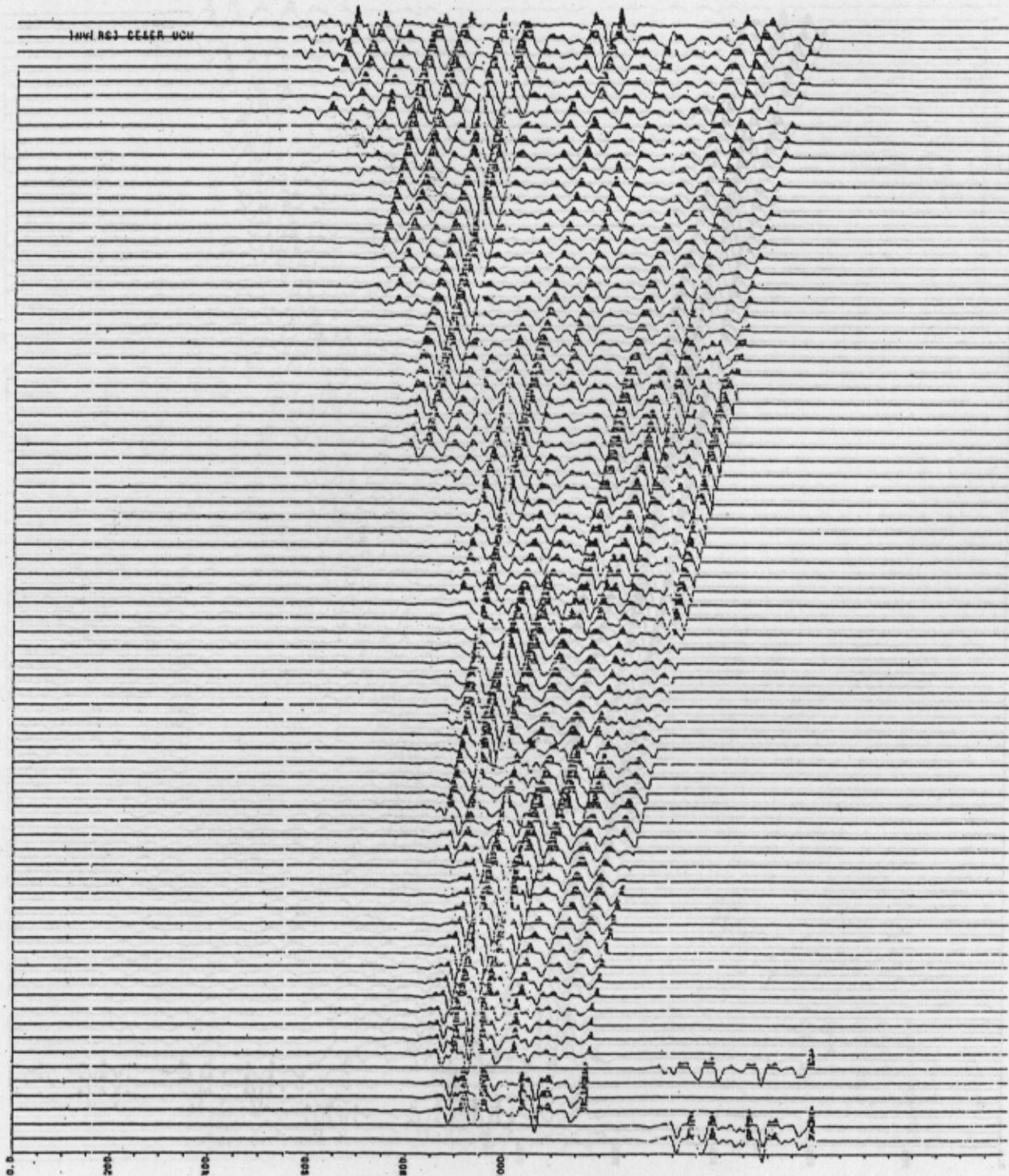
Waktu (mildetik)

Gambar 7a. Data nyata VSP, mengandung UGW dan DGW.



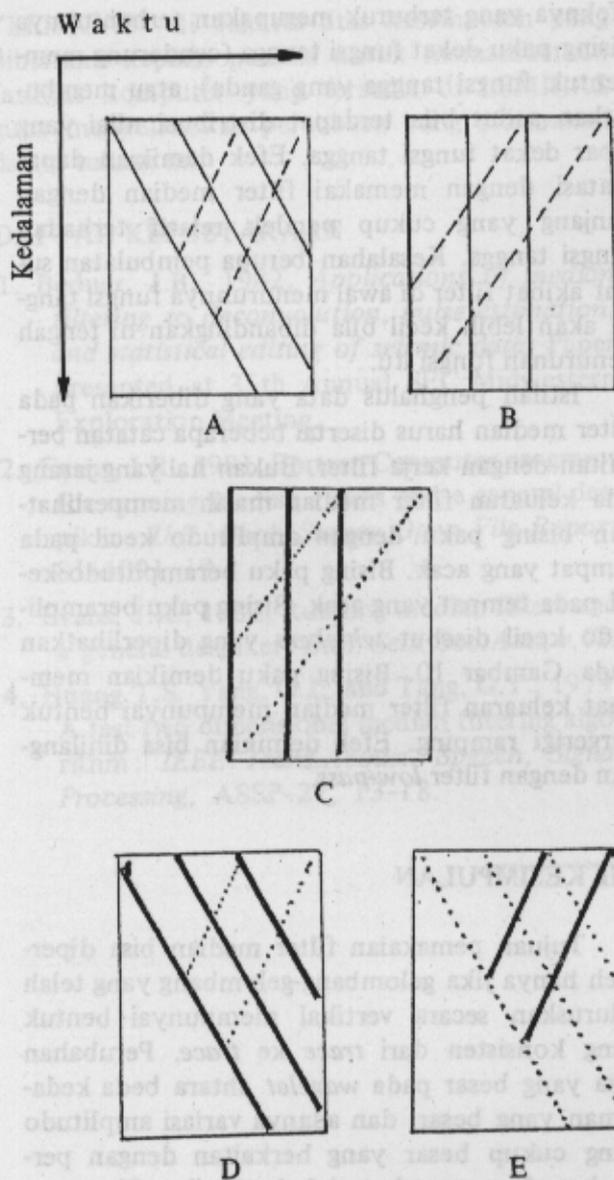
Waktu (milidetik)

**Gambar 7b. Data nyata VSP yang telah difilter.
Hanya mengandung DGW.**



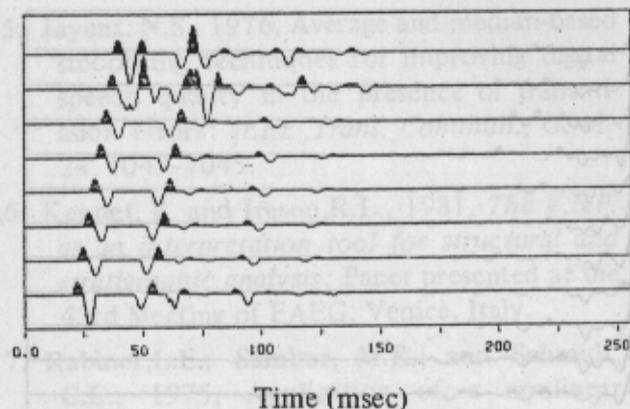
Waktu (milidetik)

Gambar 7c. Hasil pemfilteran dengan filter median tiga titik. Diperoleh data VSP yang hanya mengandung gelombang UGW saja.



Gambar 8. Teknik pengurangan untuk mendapatkan UGW. A, Data lengkap VSP; B, Penggeseran untuk mendapatkan DGW vertikal; C, Hasil pemfilteran terhadap B; D, Seismogram yang hanya mengandung DGW; E, Hasil pengurangan A dengan D.

Terhadap kumpulan data B dikenakan filter median untuk mendapatkan kumpulan data C. Pemakaian filter median pada tahap ini merupakan tahapan kritis, karena pada tahap ini ditentukan DGW yang akan digunakan untuk mengurangi data asli VSP. Tahapan pengurangan diawali dengan menggeser balik kumpulan data C dengan besar yang berlawanan dengan yang digu-



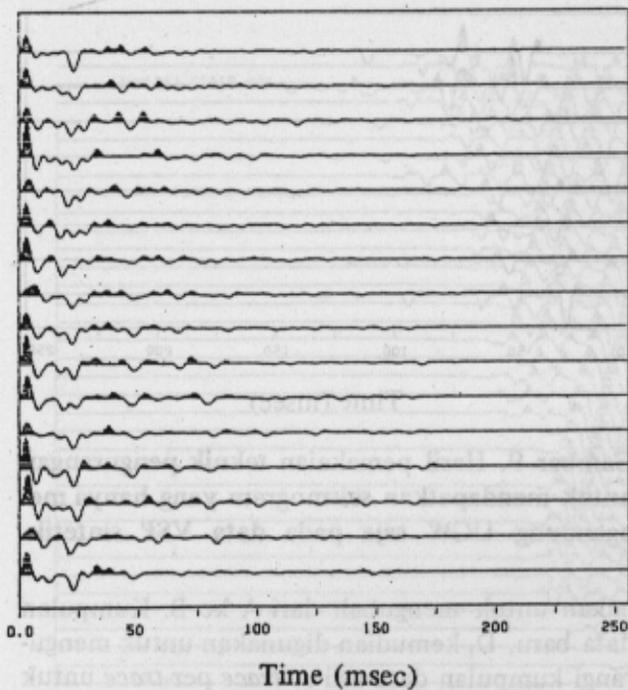
Gambar 9. Hasil pemakaian teknik pengurangan untuk mendapatkan seismogram yang hanya mengandung UGW saja pada data VSP sintetik.

nakan untuk mengubah dari A ke B. Kumpulan data baru, D, kemudian digunakan untuk mengurangi kumpulan data asli A *trace per-trace* untuk memberikan kumpulan data E. Pengurangan ini dengan baik: melemahkan DGW pada kumpulan data A (sisa sedikit DGW ditunjukkan dengan DGW bergaris titik-titik), tetapi tidak mempengaruhi UGW karena tidak terdapat UGW yang cukup berarti pada kumpulan data D.

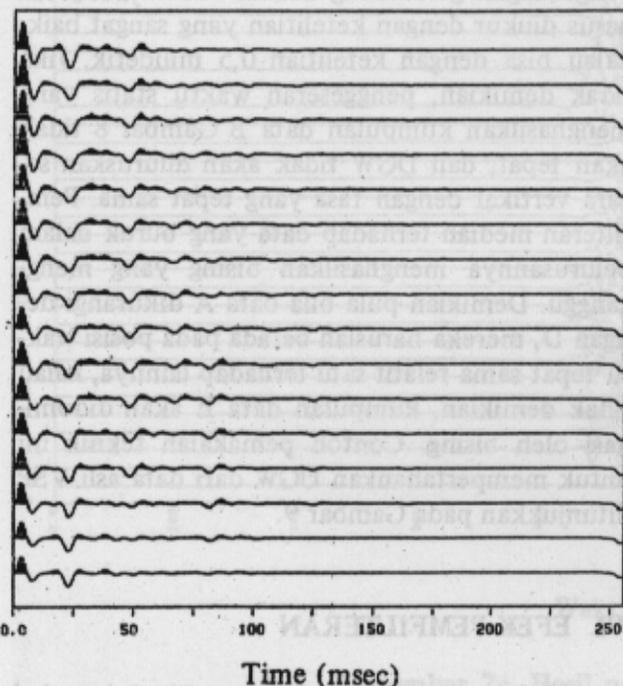
Satu hal yang perlu ditekankan pada teknik pengurangan gelombang adalah waktu *first break* harus diukur dengan ketelitian yang sangat baik, kalau bisa dengan ketelitian 0,5 milidetik. Jika tidak demikian, penggeseran waktu statis yang menghasilkan kumpulan data B Gambar 8 tidak akan tepat, dan DGW tidak akan diluruskan secara vertikal dengan fasa yang tepat sama. Pemfilteran median terhadap data yang buruk dalam pelurusannya menghasilkan bising yang mengganggu. Demikian pula bila data A dikurangi dengan D, mereka haruslah berada pada posisi waktu tepat sama relatif satu terhadap lainnya, kalau tidak demikian, kumpulan data E akan didominasi oleh bising. Contoh pemakaian teknik ini untuk mempertahankan UGW dari data asli VSP ditunjukkan pada Gambar 9.

VI. EFEK PEMFILTERAN

Median dengan panjang ganjil, dalam hal tidak ada bising, tidak akan mempengaruhi bentuk fungsi tangga. Sedangkan bila terdapat bising,



Gambar 10a. Data real VSP yang telah digeser. DGW yang telah diluruskan tidak memiliki keseragaman amplitudo sehingga bila dilakukan pemfilteran median akan menimbulkan akibat sampingan.



Gambar 10c. Hasil penghilangan efek *whiskers* dengan memakai filter *band-pass* frekuensi.

efeknya yang terburuk merupakan terbentuknya bising paku dekat fungsi tangga (cenderung membentuk fungsi tangga yang ganda), atau membulatkan sudut bila terdapat distribusi nilai yang lebar dekat fungsi tangga. Efek demikian dapat diatasi dengan memakai filter median dengan panjang yang cukup pendek relatif terhadap fungsi tangga. Kesalahan berupa pembulatan sudut akibat filter di awal menurunnya fungsi tangga akan lebih kecil bila dibandingkan di tengah penurunan fungsi itu.

Istilah penghalus data yang diberikan pada filter median harus disertai beberapa catatan berkaitan dengan kerja filter. Bukan hal yang jarang bila keluaran filter median masih memperlihatkan bising paku dengan amplitudo kecil pada tempat yang acak. Bising paku beramplitudo kecil pada tempat yang acak. Bising paku beramplitudo kecil disebut *whiskers* yang diperlihatkan pada Gambar 10. Bising paku demikian membuat keluaran filter median mempunyai bentuk bergerigi ramping. Efek demikian bisa dihilangkan dengan filter *low-pass*.

VII. KESIMPULAN

Tujuan pemakaian filter median bisa diperoleh hanya jika gelombang-gelombang yang telah diluruskan secara vertikal mempunyai bentuk yang konsisten dari *trace* ke *trace*. Perubahan fasa yang besar pada *wavelet* antara beda kedalaman yang besar, dan adanya variasi amplitudo yang cukup besar yang berkaitan dengan perubahan fasa, membatasi keberhasilan filter median yang diuraikan di sini.

Walaupun pemakaian filter median dalam memisahkan UGW dan DGW tidak memakai transformasi Fourier, tetapi masih dibutuhkan data VSP yang direkam dengan pertambahan kedalaman yang seragam, Δz , sehingga syarat pencuplikan Nyquist tetap dipenuhi agar proses yang dikerjakan mendahului filter median dapat dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH :

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi

"LEMIGAS" di Jakarta atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk memanfaatkan fasilitas komputer yang tersedia di LEMIGAS guna menyelesaikan percobaan yang diutarakan dalam tulisan ini.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Bednar, J.B., 1982, *Applications of median filtering to deconvolution, pulse estimation, and statistical editing of seismic data*: Paper presented at 35th Annual SEC Midwestern Exploration Meeting.
2. Evans, J.R., 1981, Fortran Computer programs for running median filters and a general despiker: *U.S. Geol. Survey Open File Report* 81-1091, 19.
3. Evans, J.R., 1982, Running median filters and a general despiker: *Bull. Seis. Soc. Am.*, v. 72.
4. Huang T.S. Yang, G.J., and Tang, G.Y., 1979, A fast two dimensional median filtering algorithm: *IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing*, ASSP-27, 13-18.
5. Jayant, N.S., 1976, Average and median-based smoothing techniques for improving digital speech quality in the presence of transmission errors: *IEEE Trans. Commun.*, COM-24, 1043-1045.
6. Kennet, P. and Ireson, R.L., 1981, *The V.S.P. as an interpretation tool for structural and stratigraphic analysis*: Paper presented at the 43rd Meeting of EAEG, Venice, Italy.
7. Rabiner, L.E., Sambur, M.R., and Schmidt, C.E., 1975, Application of a nonlinear smoothing algorithm to speech processing: *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Proc.*, ASSP-23, 6.
8. Seeman, B., and Horowicz, L., 1983, VSP: Separation of upgoing and downgoing acoustic waves in a stratified medium: *Geophysics*, 48, 555-568.
9. Suprajitno, M., and Greenhalgh, S.A., 1985, Separation of upgoing and downgoing waves in vertical seismic profiling by contour-slice filtering: *Geophysics*, 50, 950-962.