

**APLIKASI WAVELET DENOISING PADA SINYAL
CTD (CONDUCTIVITY TEMPERATURE DEPTH) UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS DETEKSI OVERTURN REGION**

**WAVELET DENOISING APPLICATION
ON CTD (CONDUCTIVITY TEMPERATURE DEPTH) SIGNALS
TO IMPROVE THE QUALITY OF IDENTIFIED OVERTURN REGION**

Yuli Naulita

Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Institut Pertanian Bogor, Bogor
Email: naulita@ipb.ac.id

ABSTRACT

Turbulent mixing process can be evaluated from density inversions in CTD profiles, that may reveal the overturning eddies. The quality of overturn regions are then determined by the quality of CTD signals. The study removed noise on CTD signals without losing small perturbation which commonly occurred by traditional filter. By applying wavelet denoising in pre-processing data of Thorpe method, more Thorpe displacements indicated overturn regions, were able to detect especially in small density gradients. Therefore, the identified overturn region using the Thorpe method can be applied to a larger region of density gradients.

Keywords: *turbulent mixing, overturn, Thorpe method, Thorpe displacement, wavelet denoising.*

ABSTRAK

Proses pencampuran turbulen dapat dipelajari melalui inversi densitas pada profil CTD yang mengindikasikan adanya *overturning eddies*. Oleh karena itu, kualitas wilayah *overturn* yang terdeteksi akan sangat ditentukan oleh mutu sinyal CTD yang digunakan. Dalam penelitian ini dilakukan pembersihan sinyal CTD dengan metoda *wavelet denoising* untuk menghilangkan *noise* tanpa menghilangkan fluktuasi densitas yang kecil, yang biasa terjadi jika menggunakan filter tradisional. Dengan aplikasi *wavelet denosing* pada *pre-processing* metode *Thorpe* terlihat bahwa lebih banyak *Thorpe displacement*, yang menggambarkan wilayah *overturn*, yang terdeteksi khususnya pada gradien densitas yang kecil. Temuan ini menunjukkan bahwa deteksi wilayah *overturn* menggunakan metode *Thorpe* dapat diterapkan pada wilayah gradien densitas perairan yang lebih lebar.

Kata kunci: *pencampuran turbulen, overturn, metode Thorpe, perpindahan Thorpe, wavelet denoising*

I. PENDAHULUAN

Dalam mempelajari proses pencampuran turbulen (*turbulent mixing*) pada masa kini telah banyak dilakukan pengamatan secara langsung mengguna-

kan alat mikrostruktur *profiler* seperti TurboMap (*Turbulence Ocean Microstructure Acquisition Profiler*), AMP (*Advanced Microstructure Profiler*) atau VMP (*Vertical Microstructure Profiler*). Dengan instrumen ini, hasil pengukuran

sensor *shear* dan suhu resolusi tinggi, dapat digunakan untuk menentukan nilai dissipasi energi kinetik yang kemudian digunakan untuk mengestimasi kekuatan proses pencampuran turbulen. Sayangnya di Indonesia, metoda observasi langsung ini masih terkendala dengan ketidaktersediaan instrumen tersebut, baik di lembaga penelitian maupun di pelbagai perguruan tinggi.

Proses pencampuran turbulen itu sendiri memegang peran penting di dalam perairan Indonesia, misalnya dalam menentukan karakter massa air Arlindo (Arus Lintas Indonesia) atau dikenal juga sebagai *Indonesian Throughflow* (ITF) *water mass*. Proses pencampuran di dalam perairan Indonesia sangat kuat yang disebabkan oleh pasang surut internal. Kekuatan pencampuran ini mampu mengubah karakter massa air S. Pasifik yang masuk melalui pintu-pintu masuk Arlindo di perairan Indonesia timur, menjadi massa air dengan karakter yang sama sekali telah berubah ketika keluar di S. Hindia (Hatayama *et al.*, 1996, Hatayama, 2004, Field and Gordon, 1996, Koch-Larrouy *et al.*, 2008).

Mengingat pentingnya telaah proses pencampuran turbulen baik dalam kaitannya dengan besar perubahan, karakter massa air maupun dengan sumber energi yang mengubahnya, maka perlu diupayakan metoda alternatif yang mendekati keakuratan observasi langsung. Salah satu metoda yang mungkin dilakukan adalah metoda tidak langsung dengan menentukan wilayah pembalikan (*overturn region*). Dillon (1982) menyatakan bahwa ketidakstabilan pada profil densitas hasil pengukuran CTD (*Conductivity Temperature Depth*), yaitu inversi densitas, dapat mengindikasikan adanya *overturning eddies*. Skala *overturning* itu sendiri masih berada dalam kisaran sensor sampling CTD sehingga inversi densitas pada profil densitas hasil pengukuran CTD dapat

digunakan sebagai indikasi adanya proses pencampuran turbulen.

Hal penting yang harus dicermati dalam mempelajari proses pencampuran turbulen melalui metoda deteksi wilayah *overturn* ini adalah menggunakan sinyal CTD yang bersih dari *noise*, sehingga proses *denoising* akan sangat menentukan kualitas wilayah *overturn* yang diperoleh. Oleh karena itu, diperlukan alat pembersih yang tepat untuk menghilangkan *noise* tanpa menghilangkan fluktuasi densitas yang kecil, yang biasanya terjadi jika menggunakan filter tradisional.

Dari sisi instrumen itu sendiri, pada pengukuran di perairan dengan proses pencampuran yang lemah dan gradien densitas yang kecil, kepekaan sensor dibatasi oleh waktu respon sensor yang lambat, *sampling rate* dan/atau oleh kurangnya resolusi serta adanya *noise* dalam pengukuran densitas (Stanfield *et al.*, 2001). *Noise* di dalam profil CTD dapat berasal dari gerakan kapal atau sinyal elektronik. Sinyal tekanan dapat terkontaminasi oleh gelombang yang disebabkan variasi tinggi permukaan laut dan kemungkinan juga dari kemiringan *profiler*. Data pada bagian akhir pengukuran juga sangat terkontaminasi oleh ketegangan kabel, yang menyebabkan vibrasi amplitudo tinggi (*high-amplitude vibrations*).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini diterapkan *wavelet denoising* untuk memperoleh sinyal CTD yang bersih. Transformasi *wavelet* secara khusus berguna untuk multi-skala analisis (Foufoula-Georgiou and Kumar, 1994), dan Pen (1999) menyatakan bahwa analisis *wavelet* adalah sangat menguntungkan dibanding dengan Fourier atau real-analisis ruang untuk data intermiten di alam seperti fluktuasi densitas. Sebagai alat pembersih untuk sinyal terkontaminasi pada skala temporal atau panjang, berbagai transformasi *wavelet* menjaga

detail dari sinyal yang sebenarnya pada skala tertentu (Strang dan Nguyen, 1996).

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas identifikasi wilayah *overturn* dengan menerapkan *wavelet denoising* pada sinyal CTD sehingga memadai digunakan untuk mempelajari proses pencampuran turbulen. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi mendasar dalam pencarian metoda pengamatan proses pencampuran yang akurat untuk mengatasi kendala ketidakersediaan instrumen observasi langsung seperti mikrostruktur *profiler*. Bagi perkembangan bidang oseanografi di Indonesia, penggunaan metode ini juga akan meningkatkan penggunaan arsip data CTD yang terkumpul dari penelitian-penelitian dasar oseanografi di perairan Indonesia.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Data CTD yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pelayaran *recovery mooring INSTANT (International Nusantara Stratification and Transportation)* di Selat Lombok pada tahun 2004. Kegiatan pengolahan data dilaksanakan di Laboratorium Oseanografi Fisik, Departemen ITK, FPIK-IPB, dari Mei 2013 sampai Oktober 2013.

2.2. Metoda Deteksi Wilayah *Overturn*: Metoda *Thorpe*

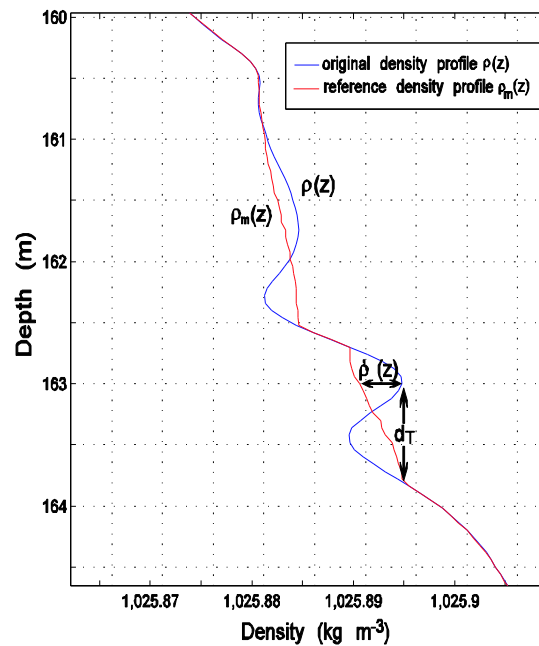
Deteksi wilayah *overturn* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metoda *Thorpe*. Metode *Thorpe* menghitung densitas profil referensi $\rho_m(z)$ dengan mensortir profil densitas hasil pengukuran $\rho(z)$ (Thorpe, 1977). Dua nilai yang didapat dari profil densitas ini adalah fluktuasi densitas yang didefinisikan sebagai $\rho'(z) = \rho(z) - \rho_m(z)$ dan perpindahan *Thorpe* (*Thorpe displacement*) $d_T(z)$ yaitu jarak vertikal individu partikel fluida (yaitu nilai

densitas tunggal) dari profil awal $\rho(z)$ yang harus dipindahkan untuk menghasilkan profil densitas $\rho_m(z)$ yang stabil (Gambar 1).

Nilai d_T kemudian digunakan untuk mengidentifikasi *turbulent patch* pada profil densitas hasil pengukuran CTD. Semua *turbulent patch* yang teridentifikasi divalidasi berdasarkan uji massa air dari Galbraith and Kelly (1996), yang dikenal sebagai tes GK (*GK's test*). Ada dua bagian dari tes GK ini. Bagian pertama difokuskan untuk menyaring inversi densitas palsu yang sebenarnya berasal dari *noise* acak CTD. Proses validasi bagian pertama ini menggunakan sifat statistik dasar yang dikenal sebagai *run length*. "*Run*" adalah sekumpulan nilai fluktuasi densitas yang ada disekitar suatu tanda adanya inversi. Uji keabsahan dibuat dengan membandingkan *Probability Density Function* (PDF) *run length* dengan PDF dari satu seri *noise* acak. *Turbulent patch* dengan *root-mean square* (rms) *run length* di bawah ambang batas dianggap inversi densitas yang dihasilkan dari *noise* acak CTD.

Pada penelitian ini, bagian pertama dari tes GK ini digantikan dengan menerapkan *denoising wavelet* pada sinyal CTD sebelum masuk ke dalam metode *Thorpe*. Metoda yang umum digunakan untuk mengurangi *noise* dari profil densitas adalah dengan menerapkan filter tradisional tetapi filter ini dapat menghapus inversi densitas yang kecil. Penggantian filter tradisional dengan transformasi *wavelet* dapat mengatasi masalah ini.

Bagian kedua dari tes GK berasal dari kesalahan sistematis seperti *spike* dari salinitas, yang disebabkan oleh ketidaksesuaian waktu respon dari sensor suhu dan konduktivitas. Kovarian suhu (T) dan salinitas (S) dalam *turbulent patch* diperiksa, dan hanya *turbulent patch* yang memiliki hubungan yang erat antara densitas ρ , T dan S yang dianggap sah.



Gambar 1. Wilayah *overtun* yang ditunjukkan oleh perpindahan *Thorpe* (*Thorpe displacement*) d_T .

Uji ini dilakukan melalui *least square* kurva fit untuk setiap titik dalam wilayah individu *reordering*, dengan menggunakan kovarian suhu dan salinitas, yaitu $\rho_s = a_s + b_s S$ dan $\rho_T = a_T + b_T T$. Deviasi antara hasil observasi dengan kedua persamaan garis ini kemudian diukur dengan menghitung nilai rms dari $\rho - \rho_s$ dan $\rho - \rho_T$. Keeratan hubungan T dan S ditunjukkan oleh rasio deviasi suhu (δ_T) dan salinitas (δ_S) dengan rms fluktuasi

Thorpe ($\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho - \hat{\rho})^2}$) dimana $\hat{\rho}$ adalah densitas pada profil *reorder*:

$$\zeta_S = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho - \rho_s)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho - \hat{\rho})^2}}$$

$$\zeta_T = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho - \rho_T)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho - \hat{\rho})^2}}$$

Rasio terhadap rms fluktuasi *Thorpe* ini akan menskalakan deviasi dari T dan S dari setiap titik didalam wilayah *overtun* terhadap besarnya densitas *overtun region* yang diperiksa (Galbraith and Kelly, 1996).

ζ_T dan ζ_S adalah kuantitas positif, dimana nilai mendekati 0 menunjukkan keeratan T dan S yang tinggi dan sebaliknya pada nilai yang mendekati 1. Untuk uji kedua ini, Galbraith and Kelly (1996) menggunakan kondisi kritis (*critical condition*) sebesar 0,5 tetapi berbagai hasil penelitian terkini menunjukkan bahwa nilai ini terlalu sensitif sehingga kemungkinan besar uji validasi massa air dari d_T menolak beberapa riil *overtun* yang biasanya berupa wilayah *overtun* yang kecil (Stanfield *et al.*, 2001). Untuk menghindari kejadian tersebut, maka ambang batas yang dipakai dalam studi ini diperlebar menjadi 0,7.

Data yang digunakan sebagai dalam penelitian ini adalah enam profil CTD *Seabird Electronics* (SBE) 911 *plus*. Latar belakang gradien densitas perairan

ada dalam kisaran frekuensi Brunt Vaisala $N^2 = O(10^{-2} - 10^{-6})$. Profiler CTD diturunkan dengan sampling frekuensi 24 Hz dan gap respon waktu antara sensor konduktivitas dan suhu telah dikoreksi dengan adanya *pumped temperature-conductivity ducts* yang terdapat di dalam instrumen.

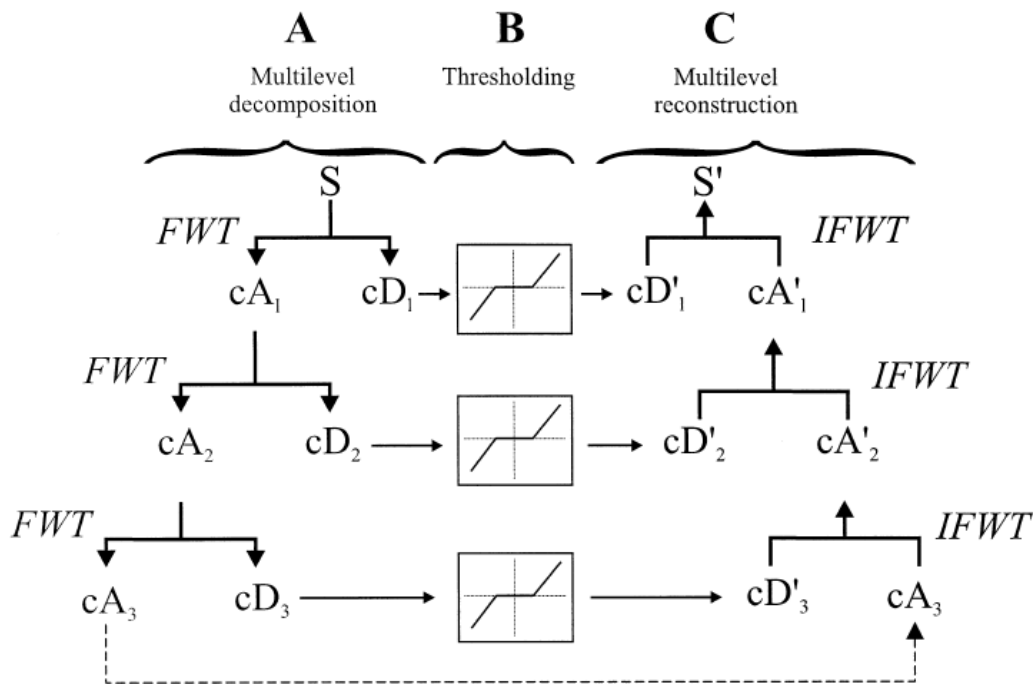
2.3. Metoda Pembersihan Noise:

Wavelet Denoising

Metode untuk mengurangi *noise* pada data CTD dalam penelitian ini berasal dari algoritma *wavelet-thresholding* berdasarkan skema Mallat (Donoho and Johnstone, 1994; Donoho, 1995). Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2, ada tiga langkah dalam *wavelet denoising*: A. *Multilevel Decomposition*. Dalam proses ini, *Fast Wavelet Transform* (FWT) menguraikan sinyal awal (S) ke dalam dua bagian: koefisien aproksimasi (cA), yang menjaga fitur global dan koefisien detail (cD), yang menjaga fitur lokal. Proses dekomposisi ini dapat

diiterasi berulang yang disebut *level of decomposition*. B. *Thresholding*. Untuk mengurangi kontribusi *noise*, fungsi *threshold* (ambang batas) diterapkan pada koefisien detail. C. *Multilevel Reconstruction*. Sinyal yang telah mengalami *denoising* (S') didapat dari koefisien transformasi, dengan menerapkan *Inverse Fast Wavelet Transform* (IFWT) secara rekursif pada setiap level dekomposisi (Piera et al., 2002).

Teknik *denoising* yang digunakan dalam analisis *wavelet* berdasarkan ide bahwa amplitudo spektrum sinyal berbeda dengan *noise*. *Denoising* oleh *wavelet* agak berbeda dengan filter tradisional karena *wavelet denoising* bersifat non-linier yang disebabkan oleh langkah *thresholding* dimana perhitungan ambang batas tergantung pada varian *noise*. Ambang batas *noise* dapat juga dilakukan secara langsung atau dengan menerapkan fungsi *soft thresholding* (Donoho, 1995). Metode *soft thresholding*



Gambar 2. Diagram skematik tiga langkah metoda *denoising*: dekomposisi multilevel, *thresholding*, dan rekonstruksi multilevel (Piera et al., 2002).

adalah salah satu modifikasi *thresholding* dari transform non-linier pada koefisien *wavelet* empiris yang akan memuluskan sinyal yang di-*denoise*. Ambang batas (*thr*) pada *soft thresholding* dinyatakan sebagai $\text{thr} = M \sqrt{2 \log(n)}$ (Johnstone, 1994), dimana n adalah jumlah sampel dan M merupakan faktor *rescaling*, yaitu *variance* dari *noise* yang diestimasi dari tingkat *noise* yang ada didalam sinyal. Jika *noise* adalah sinyal acak *Gaussian* maka *noise* dapat diestimasi berdasarkan koefisien detail pertama (cD1) dimana bagian utama *noise* berada, sehingga

$$M = \frac{\text{median}(|cD1|)}{0,6745} \quad (\text{Misiti et al., 2009}).$$

Beberapa tahapan yang harus dilakukan dalam proses *denosing* menggunakan *wavelet* adalah menentukan fungsi dasar *wavelet* atau disebut juga *mother wavelet*, level dekomposisi dan ambang batas. *Mother wavelet* merupakan persamaan *wavelet* pertama yang kemudian dapat dibentuk *wavelet-wavelet* berikutnya dengan cara mendilasikan (memampatkan atau meregangkan) dan menggeser *mother wavelet*. Oleh karena itu seleksi *mother wavelet* akan sangat mempengaruhi efek *denoising*. *General guidelines* dan tujuan penelitian yang spesifik harus dipertimbangkan dengan baik. *General guidelines* untuk fungsi dasar *wavelet* adalah ortogonalitas, *compact supporting*, *symmetry* dan *regularity*. (Wang et al, 2012).

Pada penelitian ini *mother wavelet* yang digunakan adalah *Daubechies wavelet*, db9 yang telah diuji oleh Piera et al. (2002) dan Roget et al. (2006). Piera et al. (2002) menerapkannya pada sinyal CTD untuk perairan tawar, ini artinya *noise* pada sinyal CTD tidak dipengaruhi oleh kesalahan salinitas sedangkan Roget et al. (2006) menerapkan pada sinyal *shear* pada mikrostruktur profiler untuk memperkirakan tingkat energi dissipasi

turbulen kinetik ε .

2.4. Tahapan Metoda *Thorpe* Klasik dan *Wavelet Denoising*

Dalam penelitian ini diajukan metode *Thorpe* dengan menggunakan sinyal yang sudah di-*denoise*, yaitu modifikasi metode *Thorpe* yang diajukan oleh Piera et al. (2002) (Lampiran 1) dengan melakukan penghilangan inversi tekanan. Inversi tekanan adalah efek dari kapal dan gerakan vertical CTD, yang dihilangkan dari tiap *cast* dengan cara hanya mengambil data tekanan pertama yang lebih besar dari semua tekanan yang terekam sebelumnya. Penghilangan inversi tekanan ini menjamin tidak ada pengulangan kedalaman. Metode yang diajukan ini kemudian dibandingkan dengan metode *Thorpe* klasik yang menggunakan *low-pass filter*. Tahapan kedua metode *Thorpe* disajikan sebagai berikut:

Tahapan Metoda *Thorpe* Klasik:

(1) Semua parameter diinterpolasi pada 0.04 db; (2) Penerapan *low pass filter*: dilakukan dengan menghitung 1 m *running mean* untuk menghilangkan *spikes* yang berasal dari data konduktivitas dan suhu; (3) Sinyal suhu dan konduktivitas yang sudah dihilangkan *spike*-nya kemudian digunakan untuk membangun profil densitas potensial; dan (4) Menghitung *Thorpe displacement* dan uji tes massa air GK.

Tahapan Metode *Thorpe* dengan modifikasi aplikasi *Wavelet Denoising* plus penghilangan inversi tekanan:

(1) *Denoise* data mentah tekanan, suhu dan salinitas; (2) Menerapkan dekomposisi *multilevel wavelet*, menghitung ambang batas dan menerapkan ambang batas. Kemudian membentuk rekonstruksi *multilevel* sinyal; (3) Menghilangkan inversi tekanan; (4) Menghitung profil densitas dari sinyal suhu, salinitas dan kedalaman yang telah di-*denoise*; dan (5)

Menghitung *Thorpe displacement* dan uji tes massa air GK.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. *Denoising* sinyal CTD

Keuntungan yang paling utama menggunakan *wavelet denoising* adalah sinyal yang di-*denoise* setidaknya semulus sinyal aslinya (Donoho, 1995). Gambar 3 menunjukkan keuntungan dari pendekatan multiskala *wavelet denoising*. Tidak seperti pada aplikasi *low-pass filter*, *wavelet denoising* menghaluskan potongan-potongan dimana tidak ada perubahan nyata dengan tetap menjaga pertubasi kecil yang dihasilkan pada gradien densitas yang kecil.

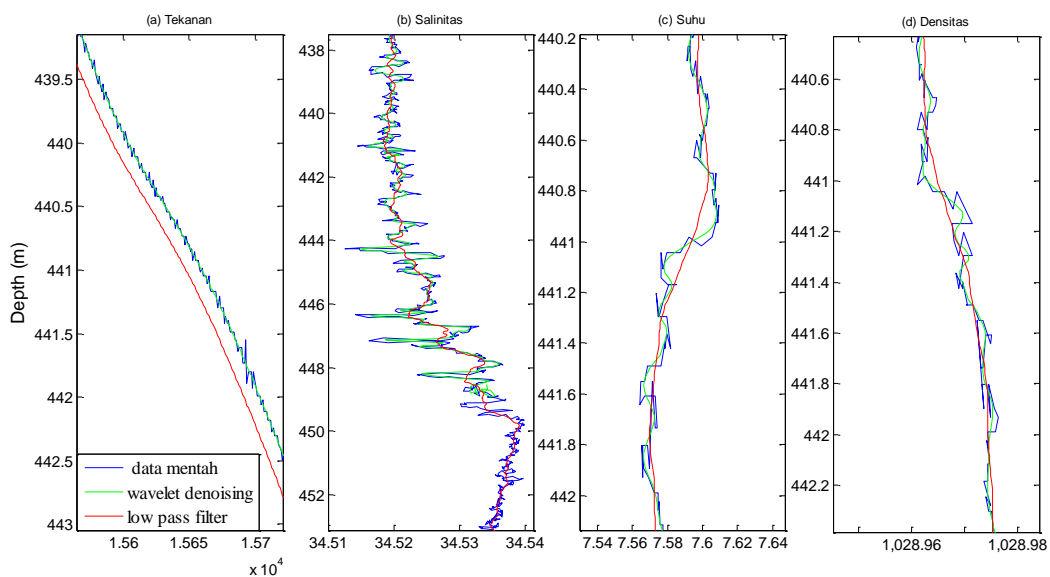
Pada prosedur *denoising*, sinyal asli didekomposisi sampai level ke-5. Level dekomposisi yang terbaik terlihat pada level ke-4 dan ke-5 tetapi sangatlah sulit untuk menyatakan pada level yang pasti untuk mendapatkan hasil terbaik karena sangat tergantung pada karakter sinyal. Wang *et al.* (2012) mengatakan semakin besar level dekomposisi maka semakin mudah memisahkan sinyal yang efektif dengan *noise* karena karakteristik keduanya dapat dilihat dengan jelas.

Sebaliknya, pada waktu rekonstruksi sinyal, kesalahan akan meningkat dengan kenaikan level dekomposisi. Jadi, ada dilemma yang terjadi, tetapi dalam *denoising* sinyal biasanya digunakan level dekomposisi = 3-5 (To *et al.*, 2009).

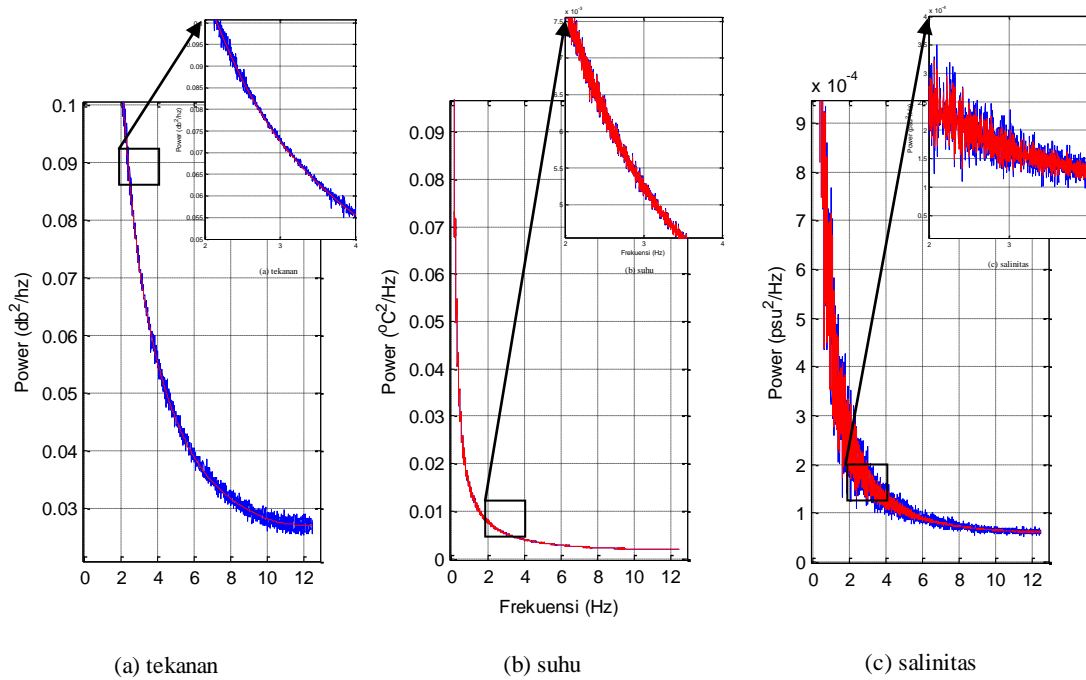
Wavelet denoising menghilangkan *white noise*, yaitu sinyal acak dengan *power spectral density* yang datar. Contoh sinyal tekanan, suhu dan salinitas yang telah di-*denoise* disajikan pada Gambar 4. Sinyal yang bersih (garis merah) memperlihatkan tidak banyak energi yang berfluktuasi sebagaimana pada sinyal yang terkontaminasi *noise* (garis biru).

3.2. *Thorpe displacement* dari sinyal CTD-*denoise*

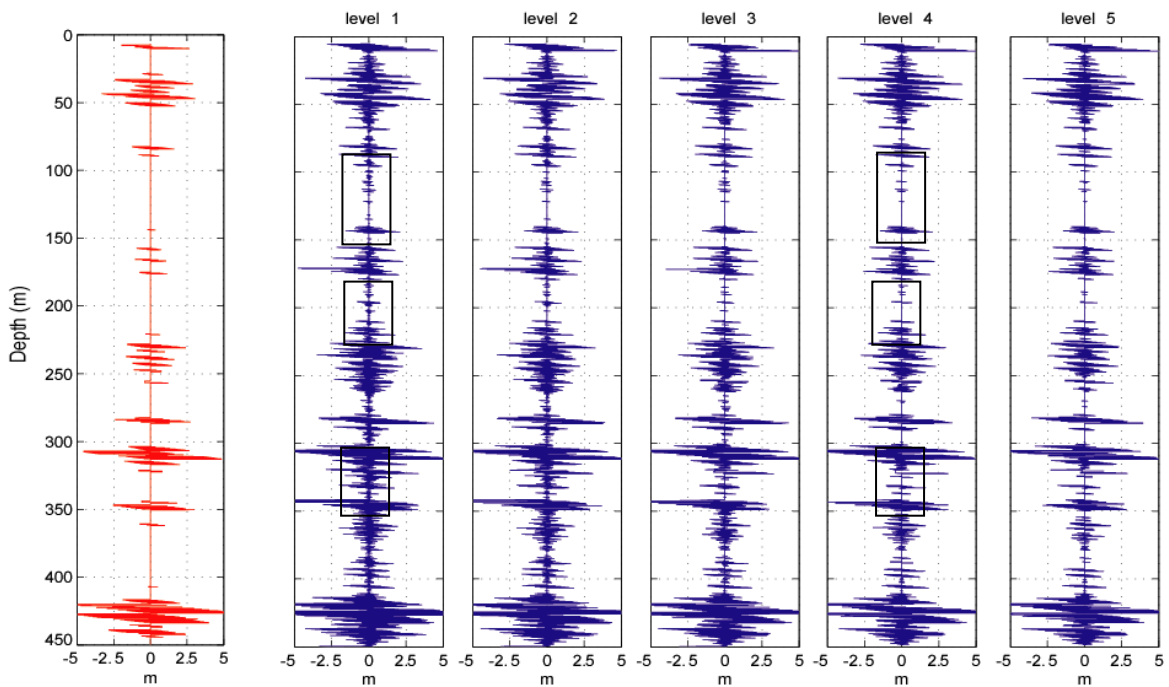
Sinyal yang telah di-*denoise* digunakan untuk menghitung *Thorpe displacement* (d_T). Kemudian setiap d_T diuji dengan tes GK untuk tes massa air. Contoh d_T menggunakan *wavelet denoising* tanpa tes GK disajikan pada Gambar 5. Penerapan *wavelet denoising* memungkinkan mendeteksi lebih banyak d_T dibandingkan dengan metode klasik (gambar merah), khususnya pada gradien densitas yang kecil.



Gambar 3. Hasil *denoising wavelet* pada sinyal tekanan, salinitas, suhu dan profil densitas.



Gambar 4. Analisis spektral sinyal yang telah di-denoise (merah) (a) tekanan, (b) suhu dan (c) salinitas dari sinyal CTD mentah (biru). Inset: *zoom in* spektral pada potongan yang ada dalam kotak.



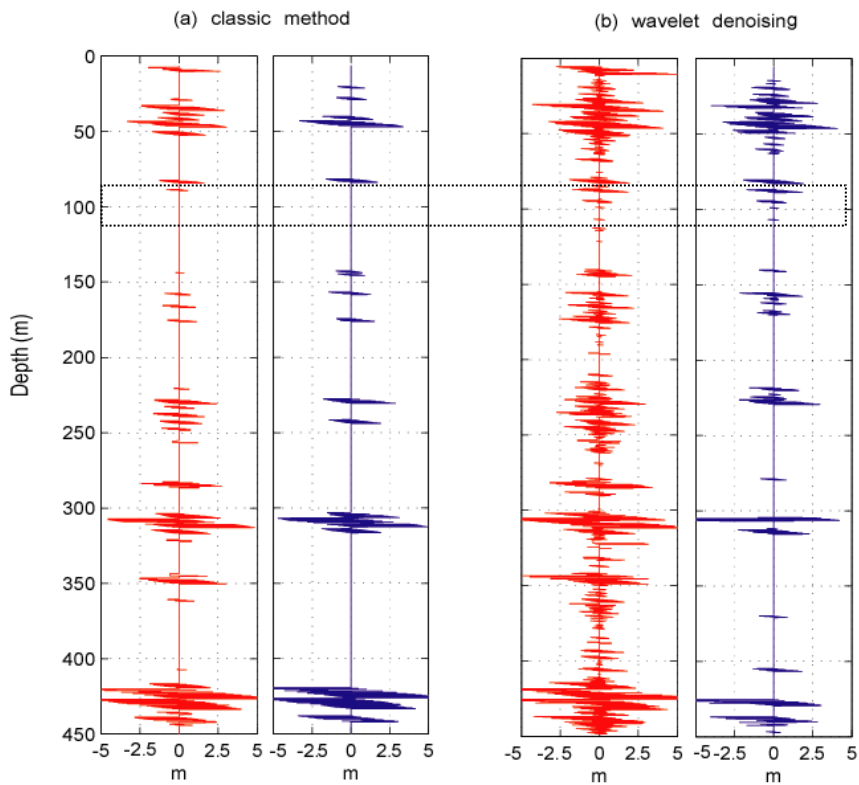
Gambar 5. Profil *Thorpe displacement* menggunakan metode *Thorpe* klasik (merah) dan penerapan *wavelet denoising* pada level 1-5 (biru). Kotak hitam dalam gambar menandakan d_T skala kecil pada level 1 yang merupakan *noise* telah direduksi pada level 4.

Jika dilihat lebih rinci pada profil *Thorpe displacement* yang menggunakan terapan *wavelet denoising* (gambar biru), kebanyakan d_T yang terdeteksi pada level dekomposisi 1, tidak lagi terdeteksi pada level yang lebih tinggi (ditunjukkan dalam kotak hitam pada Gambar 5). Hal ini menunjukkan bahwa kebanyakan wilayah *overturn* yang kecil sebenarnya berasal dari *noise*. Setelah penerapan tes GK, kebanyakan wilayah *overturn* yang kecil (ketebalan kurang dari 1 m) ditolak sedangkan *overturn* yang besar (ketebalan 5-10 m) umumnya sah. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan *wavelet denoising* pada sinyal CTD sebelum estimasi wilayah *overturn* mampu mendeteksi wilayah *overturn* skala kecil dalam wilayah gradien densitas yang lebih

lebar dibandingkan dengan metode klasik. Tentu saja belum bisa menjamin jika *wavelet denoising* optimal dalam mendeteksi wilayah *overturn* tetapi hal ini menunjukkan keterbatasan metode filter klasik. Misalnya sebuah wilayah *overturn* kecil pada kedalaman 108 m, yang ditunjukkan dalam kotak hitam pada Gambar 6, tidak mampu dideteksi oleh metode klasik (gambar kiri) karena filter tradisional cenderung memuluskan profil densitasnya.

IV. KESIMPULAN

Wavelet denoising mampu mengurangi *noise* dari sinyal CTD dengan tetap menjaga pertubasi kecil sehingga sinyal hampir sama dengan sinyal asli.



Gambar 6. Profil *Thorpe displacement* menggunakan metoda klasik (kiri) dan penerapan *wavelet denoising* (kanan), sebelum (merah) dan sesudah (biru) uji tes Galbraith and Kelly (1996). Kotak hitam menunjukkan wilayah *overturn* kecil yang hanya terdeteksi setelah penerapan *wavelet denoising*.

Keuntungan ini memungkinkan mendeteksi wilayah *overturn* skala kecil pada latar belakang densitas yang lebih lebar. Kebanyakan wilayah *overturn* yang terdeteksi setelah penerapan *wavelet denoising* adalah wilayah *overturn* skala kecil yang tidak mampu dideteksi oleh metoda klasik. Oleh karena itu, *wavelet denoising* dalam *pre-processing* metode Thorpe menggantikan filter tradisional, dapat dipertimbangkan untuk mengidentifikasi wilayah *overturn*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kementerian Kelautan & Perikanan atas data CTD pada *recovery INSTANT mooring* program INSTANT di Selat Lombok tahun 2004. Penelitian ini terlaksana dengan dukungan pendanaan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi BOPTN 2013, Dana DIPA tahun anggaran 2013, KODE MAK:2013.089.5212.

DAFTAR PUSTAKA

- Dillon, T.M. 1982. Vertical overturn: a comparison of Thorpe and Ozmidov length scales. *J. Geophys. Res.*, 87(C12):9601-9613.
- Donoho, D.L. and I. M. Johnstone. 1994. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage. *Biometrika*, 81:425-455.
- Donoho, D.L. 1995. De-noising by soft-thresholding. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 41: 613-627.
- Ffield, A. and A.L. Gordon. 1996. Tidal mixing signatures in the Indonesian seas. *J. Phys. Oceanogr.*, 26:1924-1935.
- Foufoula-Georgiou, E. and P. Kumar. 1994. *Wavelets in geophysics*. Academic Press, San Diego, California, 384p.
- Galbraith, P. S. and D.E. Kelly. 1996. Identifying overturns in CTD profiles. *J. Atmos Oceanic Technol.*, 13: 688-701.
- Hatayama, T., T. Awaji, and K. Akitomo. 1996. Tidal currents in the Indonesian seas and their effect on transport and mixing. *J. Phys. Oceanogr.*, 101:12353-12373.
- Hatayama, T. 2004. Transformation of the Indonesian throughflow water by vertical mixing and its relation to tidally generated internal waves. *J. Oceanogr.*, 60:569-585.
- Pen, U.L. 1999. Application of wavelets to filtering of noisy data. *Philos. Trans. Roy. Soc. London*, 375A: 2561-2571.
- Piera, J., E. Roget and J. Catalan. 2002. Turbulent patch identification in microstructure profiles: A method based on wavelet denoising and Thorpe displacement analysis. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19:1390-1402.
- Koch-Larrouy, A., G. Madec, D. Iudicone, A. Atmadipoera, R. Molcard. 2008. Physical processes contributing to the water mass transformation of the Indonesian Throughflow. *Ocean Dynamic.*, 58:275-288.
- Misiti, M., Y. Misiti, G. Oppenheim, and J.M. Poggi, 2009. *Matlab Wavelet Toolbox TM 4 User's Guide*. The MathWorks, Inc. Natick, Massachusetts. 153p.
- Roget, E., I. Lozovatsky, X. Sanchez, and M. Figueroa. 2006. Microstructure measurements in natural waters: Methodology and applications. *Progress in Oceanogr.*, 70:126-148.
- Rosas-Orea, M.C.E., M. Hernandez-Diaz, V. Alarcon-Aquino, and L. G. Guaerero-Ojeda. 2005. A comparative simulation study of

- wavelet based denoising algorithms. Proceeding of the 15th International conference on electronics, communications and computers (CONIELECOMP 2005), 125-130pp.
- Strang, G. and T. Nguyen. 1996. Wavelets and filter banks. Wellesley-Cambridge Press. Cambridge, Massachusetts. 357p
- Stanfield, K., C. Garret, and R. Dewey. 2001. The probability distribution of the Thorpe displacement within overturns in Juan de Luca Strait. *J. Phys. Oceanogr.*, 24: 3421-3434.
- Thorpe, S.A. 2007. An Introduction to Ocean Turbulence, Cambridge University Press, Cambridge, 240p.
- To A. C, J.R. Moore, and S.D. Glaser. 2009. Wavelet denoising techniques with applications to experimental geophysical data. *J. Signal Processing*, 89(1):144-160.
- Wang, S, X. Xiao, Y.Wang, Z.Wang and B. Chen. 2012. Denoising method for shear probe signal based on wavelet thresholding. *Trans. Tianjin Univ.*, 18:135-140.

Diterima : 2 Juni 2014

Direview : 24 Juni 2014

Disetujui : 30 Juni 2014

Lampiran 1. Pseudocode of the *Piera et al.* (2002) proposed method:

1. Denoise raw depth.
 - Wavelet multilevel decomposition
 - Compute threshold and apply soft thresholding
 - Wavelet multilevel reconstruction
2. Interpolate raw temperature and conductivity to regular depth
3. Denoise regular raw temperature and regular raw conductivity (as in step 1)
4. Compute density profiles from denoised temperature, conductivity, and depth
5. Compute monotonic density profile
6. Compute density fluctuations and Thorpe displacements
7. Evaluate local density gradient from monotonic density and Thorpe displacement
8. Compute $I_{D(50)}$ and $I_{U(50)}$ points (window of 50 points, i.e., 0.05 m with 1 mm depth resolution)
9. Identify turbulent patches (consecutive samples with $I_{D(50)} > 0$).
Reduce the overestimated size of the turbulent patch derived from windowing effect (i.e., 0.05 m at each end).