

Reduksi bising seismik secara adaptif menggunakan filter Wiener

Adaptive seismic noise reduction using Wiener filter

Sesar Prabu Dwi Sriyanto*)

Stasiun Geofisika Manado

Jl. Harapan 42, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia 95161

Cara sitasi: S. P. D. Sriyanto, "Reduksi bising seismik secara adaptif menggunakan filter Wiener," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 12-20, 2020. doi: [10.14710/jtsiskom.8.1.2020.12-20](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.8.1.2020.12-20), [Online].

Abstract - Seismic noise disrupts the earthquake observation system due to the frequency and amplitude of seismic noise similar to the earthquake signal. The filter process is one of the methods that can be used to reduce seismic noise. In this study, the Wiener filter algorithm was designed with the Decision-Directed method for Apriori SNR estimation. This filter was chosen because it is adaptive, so it can adjust to environmental conditions without requiring manual parameter settings. The data used are earthquake signals that occur in the Palu area, Central Sulawesi, which are recorded on PKA29 temporary seismic station from February 3 to April 28, 2015. After each signal data has been filtered, then it is evaluated by calculating SNR differences before and after filtering, the signal's dominant frequency, and the cross-correlation of the signal before and after filtering. As a result, the Wiener filter is able to reduce the noise content in earthquake signals according to noisy frequencies before earthquake signals. The impact is that SNR has increased with an average of 8.056 dB. In addition, this filter is also able to maintain the shape of earthquake signals. This is indicated by the normalization value of the cross-correlation between signals before and after the filter which ranges from 0.703 to 1.00.

Keywords – seismic noise; earthquake signal; Wiener filter; decision-directed

Abstrak - Bising seismik sangat mengganggu sistem pengamatan gempabumi karena ada banyak kasus sinyal gempabumi tidak teramati akibat bising seismik memiliki karakter frekuensi dan amplitudo yang mirip dengan sinyal gempabumi. Salah satu metode untuk mereduksi bising seismik adalah dengan proses filter. Pada studi ini dirancang algoritma filter Wiener dengan metode Decision-Directed untuk estimasi SNR Apriori. Filter ini dipilih karena bersifat adaptif sehingga dapat menyesuaikan dengan kondisi bising lingkungan tanpa membutuhkan pengaturan parameter secara manual. Data yang digunakan berupa sinyal gempabumi di wilayah Palu, Sulawesi

Tengah, yang terekam pada stasiun seismik temporer PKA29 mulai tanggal 3 Februari hingga 28 April 2015. Setelah dilakukan proses filter pada masing-masing data sinyal, hasilnya dievaluasi dengan menghitung perbedaan SNR sebelum dan setelah difilter, frekuensi dominan sinyal, dan korelasi silang sinyal sebelum dengan setelah difilter. Hasilnya, filter Wiener mampu mereduksi sesuai frekuensi bising sebelum sinyal gempabumi sehingga setelah proses filter sinyal gempabumi mengalami peningkatan SNR (Signal to Noise Ratio) dengan rata-rata peningkatan sebesar 8,056 dB. Selain itu, filter ini juga mampu mempertahankan bentuk sinyal gempabumi hasil filter. Hal ini ditunjukkan dengan nilai normalisasi korelasi silang antara sinyal sebelum dan setelah filter yang berkisar antara 0,703 hingga 1,00.

Kata Kunci – bising seismik; sinyal gempabumi; filter Wiener; decision-directed

I. PENDAHULUAN

Salah satu teknologi yang penting dikembangkan dalam pengamatan gempabumi adalah sistem deteksi otomatis sinyal gempabumi. Teknologi ini penting karena membantu pengamat mendeteksi semua gempabumi secara otomatis tanpa harus selalu memantau sinyal seismik. Selain itu, apabila sistem deteksi gempabumi dapat bekerja dengan baik dan cepat, maka bisa dimanfaatkan untuk penguatan Sistem Peringatan Dini Gempabumi (*Earthquake Early Warning System* atau EEWs) atau Sistem Peringatan Dini Tsunami (*Tsunami Early Warning System* atau TEWS), yang tujuan akhirnya adalah sebagai upaya mitigasi untuk mengurangi dampak akibat gempabumi.

Prinsip dasar deteksi otomatis sinyal gempabumi adalah memisahkan sinyal gempabumi dari bising seismik. Selama sinyal gempabumi dan bising latar belakang berbeda karakteristik amplitudo dan kandungan frekuensinya, maka sangat mungkin untuk memisahkan sinyal dari bising seismik pada seismogram [1]. Pada kasus gempabumi besar, karakteristik sinyal gempabumi jauh berbeda dengan bising. Namun, sinyal gempabumi kecil masih menjadi tantangan karena cukup susah dibedakan dengan bising. Hingga saat ini, algoritma deteksi yang ada masih belum sempurna karena kecepatan deteksi dan

*) Penulis korespondensi (Sesar Prabu Dwi Sriyanto)
Email: sesar.sriyanto@bmgk.go.id

kebenaran deteksi belum bisa berjalan berdampingan sehingga masih ada sejumlah kesalahan deteksi dan sinyal gempabumi yang terlewatkan [2].

Secara umum, proses deteksi otomatis sinyal gempabumi didahului oleh proses pemfilteran awal (*pre-filtering*) untuk meningkatkan SNR (*Signal to Noise Ratio*) sehingga algoritma detektor dapat lebih mudah mengenali sinyal gempabumi. Filter Butterworth banyak digunakan dalam proses ini karena dapat menekan bising di luar frekuensi yang ditentukan. Dalam [3], filter kausal Butterworth orde ke-3 bandpass 2-10 Hz digunakan dalam proses pemfilteran awal, sedangkan implementasi sistem deteksi otomatis dalam SeiscomP3, yang merupakan sistem monitoring gempabumi utama di Indonesia, menggunakan filter Butterworth orde ke-4 dengan rentang frekuensi 0,7-2 Hz [4].

Filter Butterworth menyaring sinyal berdasarkan rentang frekuensi yang ditentukan [5]. Filter ini hanya dapat digunakan dengan baik pada kasus kandungan frekuensi sinyal gempabumi diketahui dan berbeda dari kandungan frekuensi bising. Dalam [6], dibuktikan bahwa jika dibandingkan dengan jenis filter adaptif, penggunaan filter Butterworth lebih lemah dalam kasus bising latar belakang bervariasi secara temporal dan kandungan frekuensinya mirip dengan sinyal.

Berbeda dengan filter frekuensi yang umum digunakan, filter adaptif memiliki keunggulan dapat beradaptasi langsung dengan kondisi lingkungannya. Adaptasi yang dilakukan adalah dengan menyesuaikan sendiri koefisiennya untuk meminimalkan kesalahan rata-rata kuadrat antara outputnya dengan sistem yang tidak dikenal [7]. Oleh karena itu, filter adaptif dapat berubah seiring waktu untuk menyesuaikan dengan perubahan sinyal yang difilter. Selain itu, filter adaptif dianggap cukup bagus untuk diterapkan pada data *real-time* karena tidak membutuhkan pengaturan parameter secara manual [8].

Salah satu jenis filter adaptif yang sering digunakan adalah filter Wiener. Menurut [9] dan [10], koefisien-koefisien Fourier filter Wiener dalam domain frekuensi tidak bersifat statis seperti pada jenis filter frekuensi, namun terus diperbarui sesuai dengan perbandingan antara spektrum sinyal yang diinginkan (*desired signal*) dan sinyal aktual (*actual signal*). Pada sistem monitoring gempabumi, sinyal aktual merupakan sinyal seismik dengan sinyal yang diinginkan adalah sinyal gempabumi dan sinyal yang tidak diinginkan adalah bising seismik.

Salah satu aplikasi awal filter Wiener pada sinyal seismik dilakukan dalam [11]. Dalam proses pemfilteran, filter Wiener tersebut tidak memprediksi sinyal gempabumi, namun memprediksi bising di waktu mendatang berdasarkan bising yang ada di waktu sekarang. Selanjutnya, ada beberapa peneliti yang menggunakan filter ini dengan prosedur yang berbeda-beda, misalnya penggunaan filter Wiener optimum dalam domain waktu [12], aplikasi filter Wiener pada banyak kanal [13], dan penggunaan filter Wiener pada tahap pasca pengolahan algoritma reduksi bising [14].

Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, filter Wiener pada studi ini bertujuan mereduksi bising seismik menggunakan metode *Decision-Directed* hasil penelitian [15] untuk mengestimasi SNR apriori, yang sebelumnya telah digunakan untuk meningkatkan kualitas sinyal suara dalam [16] dan untuk meningkatkan kualitas sinyal elektromiogram dalam bidang kesehatan [10].

II. METODE PENELITIAN

A. Filter Wiener

Sinyal seismik dalam domain waktu $y(t)$ didefinisikan sebagai hasil penjumlahan linier dari sinyal yang diinginkan $x(t)$ dan bising $s(t)$ seperti pada Persamaan 1. Estimasi sinyal yang diinginkan dapat diperoleh dengan melakukan pemfilteran pada sinyal aktual $y(t)$.

$$y(t) = x(t) + s(t) \quad (1)$$

Proses pemfilteran dilakukan dalam domain frekuensi dengan membuat fungsi gain G . Sebelum proses pemfilteran dilakukan, sinyal dalam domain waktu terlebih dahulu ditransformasi ke domain gabungan waktu-frekuensi menggunakan transformasi Fourier per segmen waktu dengan metode *Short-time Fourier Transform* (STFT). Setelah dilakukan STFT pada sinyal $y(t)$ maka akan didapatkan bentuk waktu-frekuensi yang ditunjukkan pada Persamaan 2. Parameter $Y(k, n)$, $X(k, n)$ dan $S(k, n)$ masing-masing adalah spektrum sinyal $y(t)$, $x(t)$, dan $s(t)$ pada frekuensi ke- k dan waktu ke- n .

$$Y(k, n) = X(k, n) + S(k, n) \quad (2)$$

Setelah didapatkan sinyal dalam domain gabungan waktu-frekuensi, proses dilanjutkan dengan pemindaian sinyal per segmen waktu untuk menentukan masing-masing segmen sinyal sebagai segmen bising atau segmen sinyal gempabumi. Penentuan ini dilakukan dengan menghitung rata-rata selisih spektrum segmen sinyal aktual $Y(k, n)$ dengan spektrum rata-rata referensi bising $\hat{S}(k, n)$. Referensi bising merupakan segmen sinyal yang bersih dari sinyal gempabumi. Apabila rata-rata selisih spektrum melebihi batas yang ditentukan maka segmen sinyal aktual tersebut dianggap sinyal gempabumi, dan sebaliknya. Selisih spektrum $\Delta F(k, n)$ dinyatakan dalam Persamaan 3.

$$\Delta F(k, n) = 20 (\log Y(k, n) - \log \hat{S}(k, n)) \quad (3)$$

Bising seismik bersifat tidak stasioner sehingga frekuensi dan amplitudonya bervariasi secara temporal. Untuk mengakomodir perubahan temporal bising seismik, maka terdapat proses adaptasi pada filter Wiener. Adaptasi secara temporal dilakukan pada parameter statistik referensi bising (rata-rata dan variansi). Apabila tidak terdeteksi adanya sinyal gempabumi setelah beberapa segmen, maka segmen

referensi bising akan diperbarui sehingga didapatkan nilai rata-rata dan variansi referensi bising yang baru untuk perhitungan sinyal aktual pada segmen waktu selanjutnya. Sebagai contoh, ditentukan sebagai referensi bising pertama adalah segmen sinyal dari detik ke-0 hingga detik ke-10 dengan panjang masing-masing segmen waktu 1 detik. Apabila ditentukan nilai batas segmen bising (L) adalah 10, maka jika setelah dilakukan pemindaian hingga detik ke-20 tidak terdeteksi adanya sinyal gempa bumi, referensi bising berubah menjadi segmen sinyal dari detik ke-10 hingga detik ke-20. Persamaan 4 dan Persamaan 5 masing-masing menunjukkan rumusan rata-rata $\hat{S}(k, n)$ dan variansi $\lambda_s(k, n)$ referensi bising setelah diperbarui.

$$\lambda_s(k, n) = \frac{\lambda_s(k, n-1) \cdot L + |Y(k, n)|^2}{L+1} \quad (4)$$

$$\hat{S}(k, n) = \frac{\hat{S}(k, n-1) \cdot L + Y(k, n)}{L+1} \quad (5)$$

Selanjutnya proses pemfilteran untuk mendapatkan estimasi sinyal yang diinginkan ($\hat{X}(k, n)$) dirumuskan dalam Persamaan 6.

$$\hat{X}(k, n) = G \cdot Y(k, n) \quad (6)$$

Berdasarkan [16], fungsi filter Wiener ditentukan setelah melakukan perhitungan estimasi SNR apriori terlebih dahulu. Hal ini dilakukan agar algoritma filter dapat diterapkan pada data sinyal *real-time* dan mendapatkan kualitas hasil pemfilteran yang bagus dengan beban komputasi yang rendah. Fungsi filter Wiener ditunjukkan pada Persamaan 7. Parameter $\hat{\xi}(k, n)$ dan $\gamma(k, n)$ masing-masing adalah SNR apriori dan SNR aposteriori.

$$G(\xi(k, n), \gamma(k, n)) = \frac{\xi(k, n)}{\gamma(k, n)} \quad (7)$$

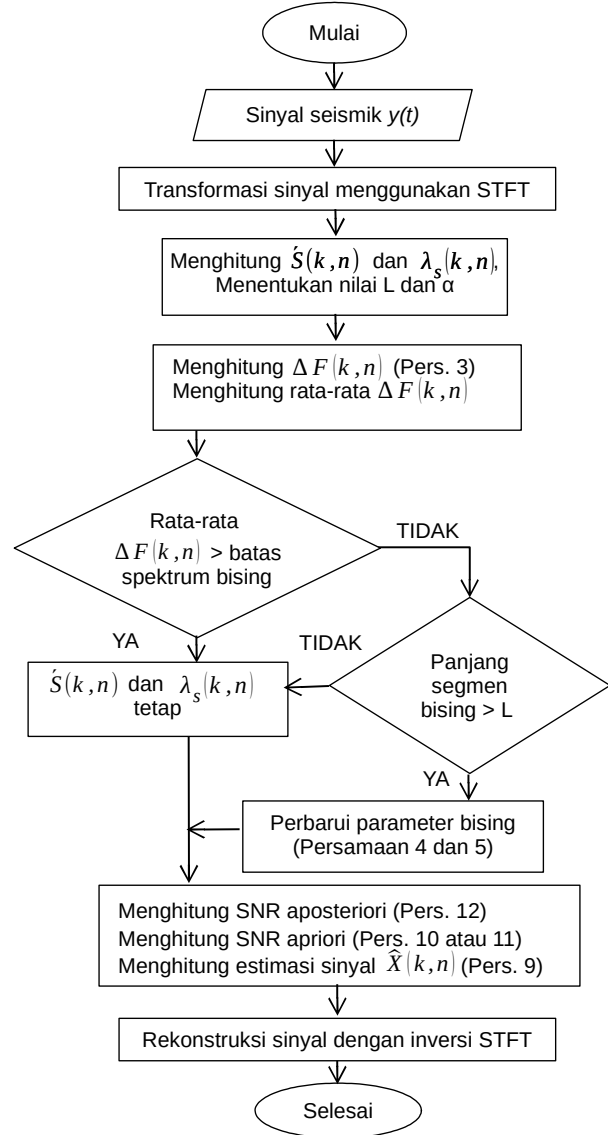
SNR apriori adalah kondisi SNR awal sebelum difilter, sedangkan SNR aposteriori adalah kondisi SNR setelah difilter. Dengan mengasumsikan SNR aposteriori = SNR apriori + 1, maka fungsi filter berubah menjadi Persamaan 8.

$$G(\xi(k, n), \gamma(k, n)) = \frac{\xi(k, n)}{\xi(k, n) + 1} \quad (8)$$

Berdasarkan Persamaan 6 dan Persamaan 8, estimasi $\hat{X}(k, n)$ dapat dirumuskan menjadi Persamaan 9.

$$\hat{X}(k, n) = \frac{\xi(k, n)}{\xi(k, n) + 1} \cdot Y(k, n) \quad (9)$$

Untuk mendapatkan estimasi nilai SNR apriori $\hat{\xi}(k, n)$, dilakukan perhitungan menggunakan metode *Decision-Directed* yang ditunjukkan dalam Persamaan 10 dan Persamaan 11 [15]. Parameter α adalah konstanta dengan rentang nilai 0-1, sedangkan $\gamma(k, n)$



Gambar 1. Skema algoritma filter Wiener

dihitung dari variansi sinyal aktual dan variansi referensi bising. Perhitungan matematis $\gamma(k, n)$ dirumuskan dalam Persamaan 12.

$$\hat{\xi}(k, n) = \alpha G^2(\hat{\xi}_k(n-1), \gamma(k, n-1)) \gamma(k, n-1) + (1-\alpha) \max |y(k, n) - 1, 0| \quad (10)$$

$$\hat{\xi}(k, 0) = \alpha + (1-\alpha) \max |y(k, 0) - 1, 0| \quad (11)$$

$$\gamma(k, n) = \frac{|Y(k, n)|^2}{\lambda_s(k, n)} \quad (12)$$

Secara ringkas, tahapan proses pemfilteran otomatis menggunakan filter Wiener ditunjukkan pada skema algoritma yang ada di Gambar 1.

B. Evaluasi kinerja filter

Untuk mengetahui hasil kerja filter Wiener dalam mereduksi bising seismik, dilakukan evaluasi dengan 3

cara, yaitu menghitung perubahan SNR dari sinyal sebelum difilter menjadi sinyal hasil filter, melihat perubahan konten frekuensi pada sinyal gempabumi dan bising seismik, dan menghitung normalisasi korelasi silang sinyal gempabumi sebelum dan sesudah difilter.

Dalam penghitungan perubahan SNR dari sinyal sebelum difilter menjadi sinyal hasil filter, nilai SNR menunjukkan rasio amplitudo sinyal gempabumi terhadap bising seismik. Semakin tinggi nilai SNR, maka dapat dianggap sinyal gempabumi yang terekam dalam seismometer tersebut semakin jelas terlihat. Perhitungan nilai SNR dalam satuan dB (desibel) ditunjukkan pada Persamaan 13 [17]. Parameter A merupakan nilai akar rata-rata kuadrat (*Root Mean Square* atau RMS) amplitudo pada segmen sinyal gempabumi, sedangkan A_n merupakan nilai RMS amplitudo pada segmen bising.

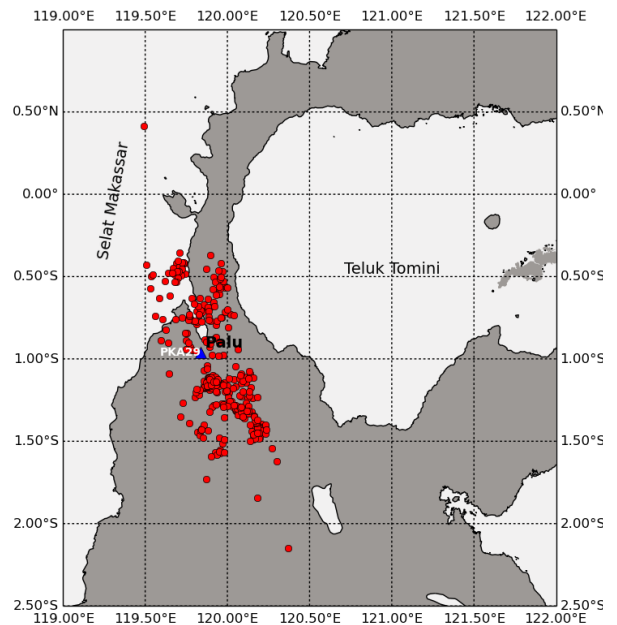
$$SNR = 20 \log \frac{A_s}{A_n} \quad (13)$$

Segmen bising merupakan deretan gelombang dengan waktu kurang dari waktu tiba gelombang gempabumi, sedangkan segmen sinyal merupakan deretan gelombang dengan waktu lebih dari atau sama dengan waktu tiba gelombang gempabumi. Lebar jendela waktu segmen bising dan segmen sinyal masing-masing 2 detik sehingga dapat diketahui tingkat perubahan amplitudo pada gelombang gempabumi.

Evaluasi kedua dilakukan dengan melihat perubahan konten frekuensi pada sinyal gempabumi dan bising seismik. Kandungan frekuensi pada segmen sinyal gempabumi dan bising ditinjau dengan metode transformasi Fourier cepat (*Fast Fourier Transform* atau *FFT*) dari sinyal masing-masing segmen. Lebar jendela waktu segmen bising dan segmen sinyal untuk perhitungan konten frekuensi masing-masing 2 detik. Teknik FFT dari sinyal menggunakan Persamaan 14 dengan $k=0,1,\dots,N-1$, $y(t_i)$ menyatakan amplitudo sinyal pada waktu ke- i , dan $Y(f_k)$ amplitudo spektral dalam domain frekuensi hasil transformasi Fourier [18].

$$Y(f_k) = \sum_{i=0}^{N-1} y(t_i) e^{-j2\pi f_k t_i} (t_{i+1} - t_i) \quad (14)$$

Evaluasi ketiga dilakukan untuk menghitung normalisasi korelasi silang sinyal gempabumi sebelum dan sesudah difilter. Fungsi korelasi digunakan untuk melihat kemiripan dua buah sinyal sehingga dapat diketahui apakah filter ini mendistorsi sinyal gempabumi atau tidak. Nilai normalisasi korelasi silang sinyal berkisar antara 0-1, semakin tinggi nilai korelasi maka semakin mirip kedua sinyal yang dikorelasikan. Persamaan 15 menunjukkan rumusan fungsi korelasi ($r(l)$) antara sinyal sebelum difilter ($g(t)$) dengan sinyal setelah difilter ($h(t)$). Selanjutnya, normalisasi korelasi silang $p(l)$ diperoleh menggunakan rumusan pada Persamaan 16.



Gambar 2. Lokasi stasiun seismik PKA29 (segitiga warna biru) dan sebaran 357 episenter gempabumi lokal di sekitar Kota Palu pada rentang waktu 3 Februari – 28 April 2015 (lingkaran warna merah).

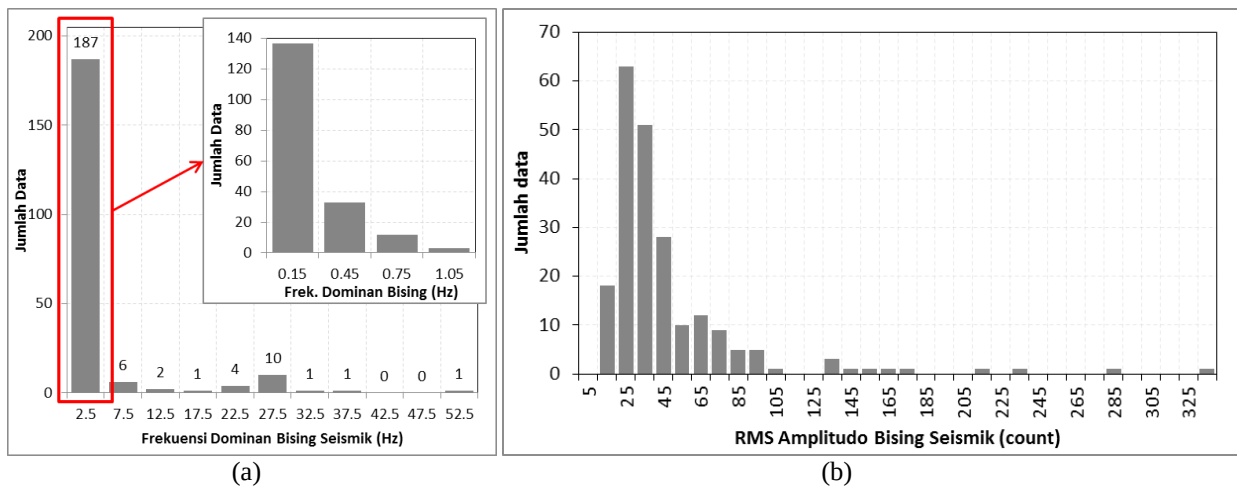
$$r_{xy}(l) = \sum_{t=-\infty}^{\infty} g(t)h(t-l) = \sum_{t=-\infty}^{\infty} g(t+l)h(t) \quad (15)$$

$$p(l) = \frac{r_{xy}(l)}{\sqrt{r_{xx}(0)r_{yy}(0)}} \quad (16)$$

C. Data

Data yang digunakan berupa sinyal gempabumi di wilayah Palu, Sulawesi Tengah, yang terekam pada stasiun seismik temporer PKA29 dengan koordinat stasiun 119,83614° BT dan 0,95993° LS (Gambar 2). Stasiun seismik ini merupakan salah satu stasiun yang tergabung dalam sistem *array* seismometer *broadband* hasil kerjasama antara Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dengan *Australian National University* (ANU). Seismometer yang digunakan adalah jenis *broadband velocity* dengan *sampling frequency* 250 Hz.

Sebagai acuan pengumpulan sinyal gempabumi tersebut, digunakan data kejadian gempabumi lokal dari katalog gempabumi BMKG. Sistem *array* seismometer beroperasi mulai 1 Januari - 20 Mei 2015, namun sensor PKA29 merekam dengan baik mulai 3 Februari hingga 28 April 2015 sehingga data yang digunakan dibatasi pada rentang waktu ini. Dalam kurun waktu ini tercatat 357 kejadian gempabumi lokal dengan rentang magnitudo 1,5 hingga 4,9, namun hanya 213 kejadian gempabumi yang gelombang seismiknya dapat direkam dengan baik oleh stasiun PKA29. Perkiraan penyebab hal ini adalah faktor jarak episenter, magnitudo, dan adanya bising non-stasioner. Pada Gambar 2



Gambar 3. Histogram: a) frekuensi dominan dan b) RMS amplitudo bising seismik di stasiun seismik PKA29

ditunjukkan peta lokasi stasiun PKA29 dan sebaran episenter gempa bumi yang digunakan.

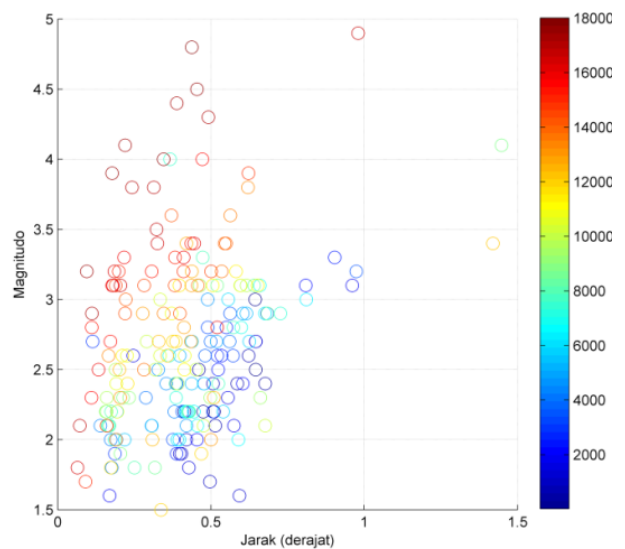
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum difilter, rekaman sinyal gempa bumi di stasiun PKA29 bervariasi kondisi keteramatannya. Kondisi ini dipengaruhi oleh karakter bising seismik dan sinyal gempa bumi. Semakin mirip karakter bising seismik dengan sinyal gempa bumi, baik amplitudo maupun frekuensinya, maka semakin sulit untuk mengidentifikasi sinyal gempa bumi dalam sinyal seismik. Kesalahan identifikasi sinyal gempa bumi bisa berakibat fatal karena salah satu akibatnya bisa menyebabkan kesalahan parameter gempa bumi yang dihasilkan.

Ada tiga jenis sumber pembangkit bising seismik, yaitu bising dari aktivitas manusia yang cenderung memiliki frekuensi tinggi, bising dari alam (faktor angin, air, dan geologi) yang secara umum menghasilkan getaran frekuensi rendah, dan bising mikro seismik akibat gelombang laut dengan dua puncak frekuensi [19]. Bising seismik di stasiun PKA29 didominasi oleh bising frekuensi rendah. Sekitar 77 % dari 213 data, bising sebelum rekaman sinyal gempa bumi memiliki frekuensi dominan di bawah 0,5 Hz, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(a).

Sesuai dengan [19], dominasi bising frekuensi rendah ini diduga akibat dari faktor alam seperti angin, air, dan faktor geologi permukaan. Selain frekuensi dominan, karakter amplitudo bising seismik di suatu stasiun juga berpengaruh pada kemudahan identifikasi sinyal gempa bumi. RMS amplitudo bising seismik di stasiun PKA29 relatif konsisten pada rentang 13,68 hingga 336,48 *count* dengan rata-rata bernilai 46,87 *count*, seperti yang ditunjukkan histogram pada Gambar 3(b). Sebagai perbandingan, nilai rata-rata RMS ini sama dengan nilai RMS amplitudo sinyal gempa bumi yang berkekuatan magnitudo 2,0 dengan kedalaman 17 km dan jarak ke episenter 50,6 km.

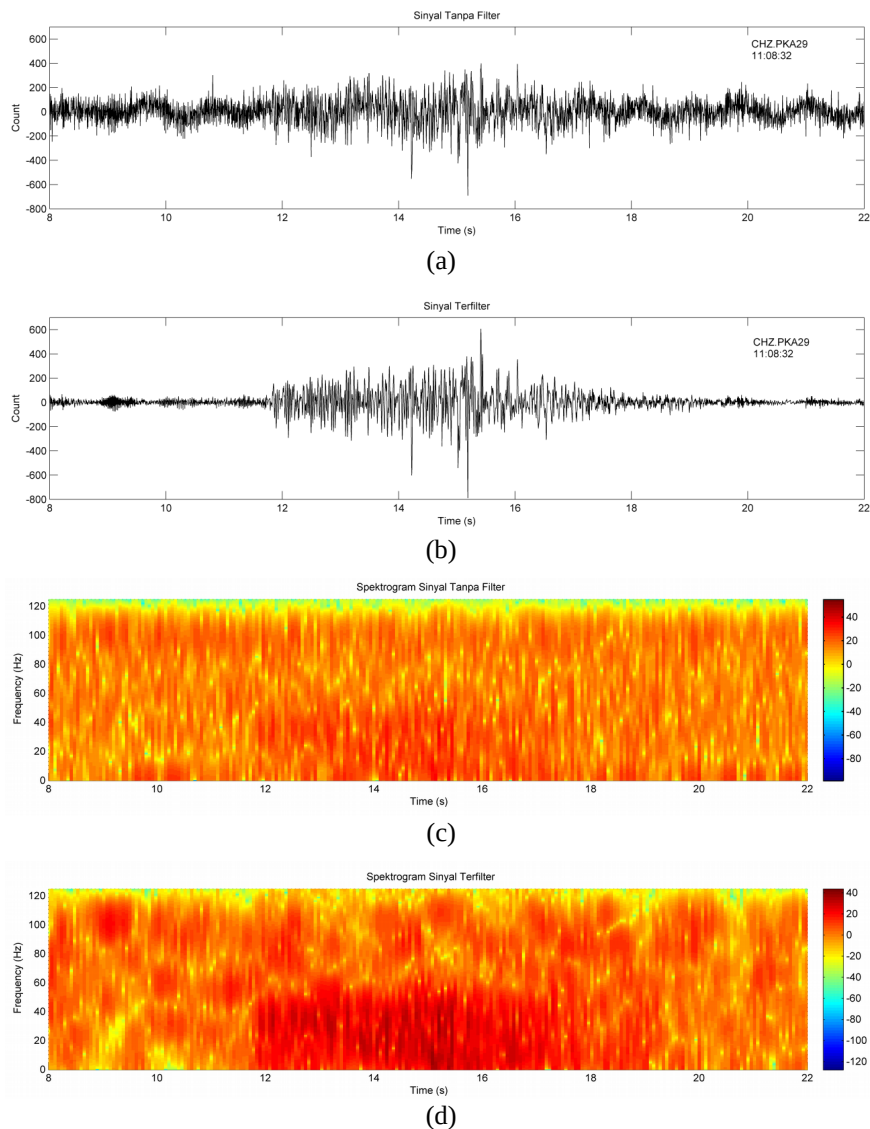
Sementara itu, sinyal gempa bumi merupakan hasil konvolusi dari fungsi sumber gempa bumi, medium



Gambar 4. Hubungan jarak episenter, magnitudo gempa bumi, dan RMS amplitudo sinyal gempa bumi.

penjalaran gelombang seismik, dan respon instrumen perekam [5]. Oleh karena itu, faktor sumber dan medium penjalaran menjadi penentu karakter sinyal yang terekam pada suatu seismometer. Faktor sumber dan medium penjalaran direpresentasikan masing-masing oleh parameter magnitudo gempa bumi dan jarak episenter ke stasiun pencatat. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa RMS amplitudo segmen sinyal gempa bumi bervariasi menurut jarak episenter dan magnitudo gempa bumi. Secara umum, gempa bumi dengan jarak yang dekat dan magnitudo yang besar memiliki nilai RMS amplitudo sinyal tertinggi, dan sebaliknya RMS amplitudo sinyal semakin kecil seiring dengan semakin jauh jaraknya dan kecil magnitudonya.

Gempa bumi yang terjadi tanggal 5 April 2015 pada pukul 17:27:51 UTC dengan magnitudo 4,8 dan jarak episenter ke stasiun 48,7 km memiliki sinyal dengan RMS amplitudo tertinggi. Sementara itu, RMS amplitudo terendah ada pada sinyal gempa bumi dengan magnitudo 2,5 dan jarak episenter ke stasiun sebesar



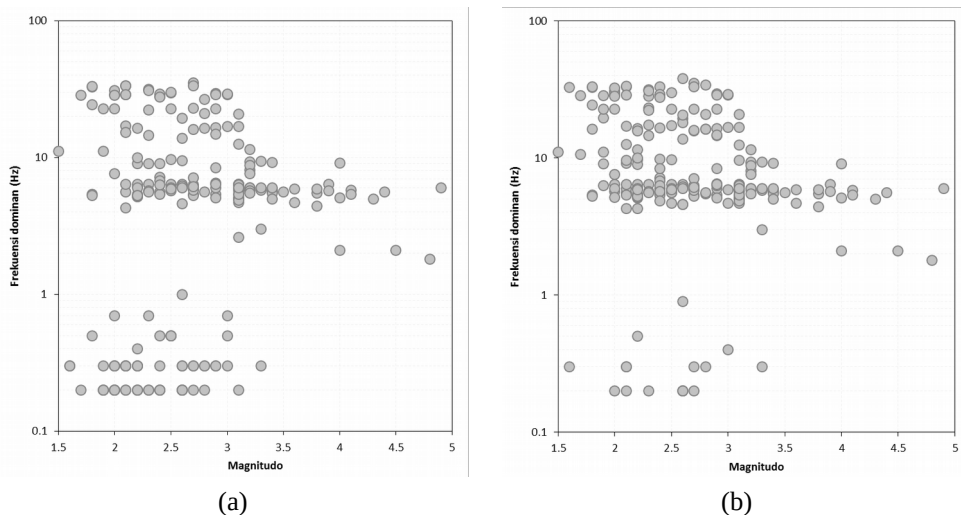
Gambar 5. a) Sinyal gempa bumi tanggal 20 Februari 2015 pukul 11:08:40 dengan kedalaman 6 km, magnitudo 2.1, dan jarak episenter 18,74 km tanpa menggunakan filter, b) Hasil pemfilteran sinyal (a) menggunakan Filter Wiener, c) dan d) masing-masing merupakan spektrogram dari sinyal (a) dan (b).

71,9 km. Tidak hanya karakter amplitudo, frekuensi dominan sinyal awal gempa bumi juga bervariasi menurut magnitudonya. Semakin besar magnitudo gempa bumi, maka semakin tinggi nilai periode dominannya atau semakin rendah frekuensi dominannya sesuai [20]. Frekuensi dominan sinyal awal gempa bumi bervariasi antara 0,2 Hz hingga 35,3 Hz.

Pada sinyal asli sebelum difilter, nilai SNR yang merupakan perbandingan antara RMS amplitudo sinyal gempa bumi terhadap RMS amplitudo bising seismik berkisar antara 0,373 dB hingga 54,452 dB dengan rata-rata 12,750 dB. Dengan nilai RMS amplitudo bising seismik yang relatif konsisten, maka dapat diartikan bahwa variasi SNR stasiun bergantung pada RMS amplitudo sinyal gempa bumi. Oleh karena itu, gempa bumi 5 April 2015 pada pukul 17:27:51 UTC dengan magnitudo 4,8 dan jarak episenter 48,7 km selain memiliki RMS amplitudo sinyal gempa bumi tertinggi juga memiliki nilai SNR tertinggi.

Setelah dilakukan pemfilteran menggunakan filter Wiener, terjadi perubahan signifikan pada nilai SNR sinyal menjadi 1,825 dB hingga 55,676 dB dengan rata-rata 20,806 dB. Seluruh sinyal mengalami peningkatan SNR dengan rata-rata peningkatan sebesar 8,056 dB dan nilai peningkatan SNR terbesar adalah 17,872 dB. Adanya peningkatan SNR setelah proses filter menunjukkan bahwa filter Wiener berhasil mereduksi amplitudo segmen bising dan meningkatkan amplitudo segmen sinyal gempa bumi. Rata-rata amplitudo bising yang sebelumnya sebesar 46,865 *count* mengalami penurunan menjadi 28,677 *count*, sedangkan rata-rata amplitudo segmen sinyal gempa bumi mengalami peningkatan dari 567,618 *count* menjadi 735,201 *count*. Pada Gambar 5 ditunjukkan contoh perbandingan sinyal sebelum difilter dan setelah difilter baik pada domain waktu maupun pada domain gabungan waktu-frekuensi.

Selain menyebabkan peningkatan SNR, filter Wiener juga berpengaruh pada kandungan frekuensi



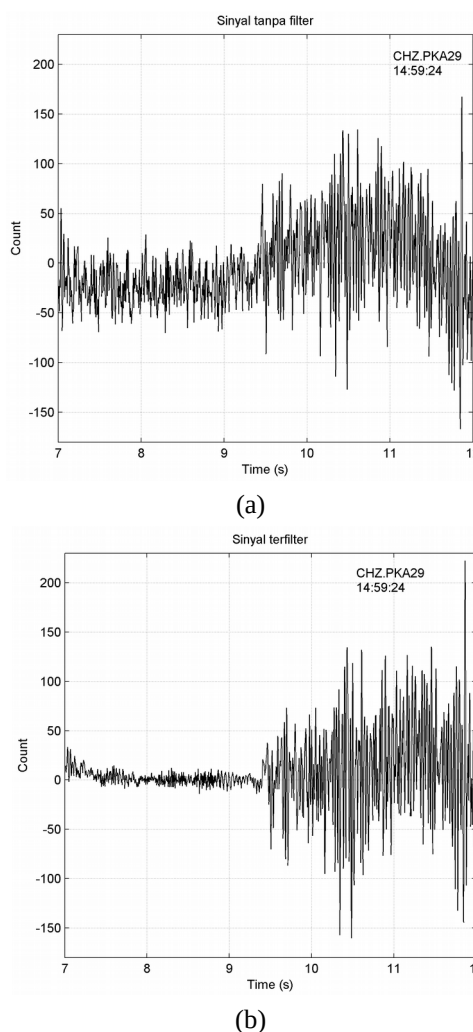
Gambar 6. Hubungan antara magnitudo dengan frekuensi dominan sinyal awal gempa bumi (a) sebelum difilter dan (b) setelah difilter.

sinyal gempa bumi. Proses filter Wiener yang sifatnya adaptif mampu mereduksi kandungan frekuensi rendah pada sinyal gempa bumi sesuai dengan frekuensi dominan segmen bising. Pada [Gambar 6\(a\)](#) dapat dilihat bahwa sebelum difilter, sebaran frekuensi dominan sinyal cenderung berbanding terbalik dengan magnitudo gempa bumi. Namun, terlihat ada anomali 32 sinyal gempa bumi dengan magnitudo kurang dari 3,5 yang memiliki frekuensi rendah antara 0,1-1,0 Hz.

Anomali frekuensi dominan tersebut disebabkan oleh dominasi frekuensi bising yang rendah sehingga sinyal gempa bumi magnitudo kecil dengan frekuensi tinggi tertutupi oleh bising seismik, seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 7\(a\)](#). Setelah difilter, terlihat ada pengurangan data sinyal gempa bumi yang memiliki frekuensi dominan rendah seperti [Gambar 6\(b\)](#). Setelah bising frekuensi rendah tereduksi, sinyal gempa bumi frekuensi tinggi lebih mudah teramati, seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 7\(b\)](#).

Proses filter sinyal secara umum bukan tanpa kekurangan. Meskipun dapat meningkatkan keteramatan sinyal yang diinginkan, namun proses ini bisa menyebabkan distorsi atau perubahan bentuk sinyal. Berbeda dengan filter frekuensi yang dapat mendistorsi sinyal seismik, filter Wiener mampu mempertahankan bentuk asli sinyal gempa bumi seperti sebelum difilter. Hal ini dapat dilihat dari korelasi silang antara sinyal sebelum difilter dengan sinyal yang telah difilter.

Normalisasi korelasi silang sinyal tersebut berkisar antara 0,703 hingga 1,00 dengan rata-rata 0,957. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sinyal sebelum dan setelah difilter memiliki kemiripan yang kuat, serta menegaskan bahwa tidak ada perubahan fase gelombang signifikan pada sinyal hasil pemfilteran karena nilai normalisasi korelasi silang sangat dipengaruhi oleh perbedaan fase dari dua sinyal yang dikorelasi silangkan. Perubahan fase gelombang akibat pemfilteran akan mempengaruhi hasil penentuan waktu tiba gelombang gempa bumi, yang juga berpengaruh pada ketepatan hasil parameter gempa bumi.



Gambar 7. a) Contoh sinyal seismik dengan dominasi frekuensi rendah dan b) Hasil filter dari sinyal (a) yang menunjukkan adanya reduksi bising frekuensi rendah.

Hasil ini sesuai dengan [12], yang membuktikan bahwa penggunaan filter Wiener optimum dapat memisahkan sinyal gempa bumi dari bising latar

belakang dengan distorsi yang lebih rendah dibandingkan hasil filter frekuensi tipe *bandpass*. Pada Gambar 8 ditunjukkan perbandingan sinyal sebelum difilter dengan sinyal yang telah difilter pada segmen bising seismik dan segmen sinyal gempabumi. Bentuk sinyal setelah difilter pada segmen bising pada Gambar 8(a) terlihat berbeda bentuk dan memiliki amplitudo lebih rendah jika dibandingkan dengan sinyal sebelum difilter. Sementara itu, pada segmen sinyal gempabumi pada Gambar 8(b), filter berhasil memperkuat amplitudo dengan bentuk sinyal yang relatif sama.

IV. KESIMPULAN

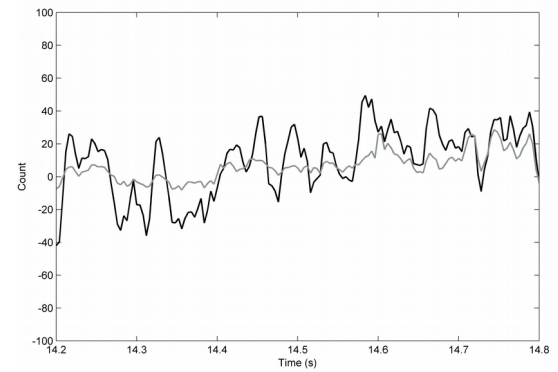
Proses reduksi bising seismik menggunakan filter Wiener yang bersifat adaptif mampu melemahkan komponen sinyal yang tidak diinginkan sesuai dengan kondisi bising seismik sehingga sinyal gempabumi lebih mudah diidentifikasi. Hal ini ditunjukkan dari hasil filter yang mengalami peningkatan SNR dengan rata-rata peningkatan sebesar 8,056 dB. Selain itu, filter Wiener juga mampu mempertahankan bentuk sinyal gempabumi, yang ditunjukkan dengan nilai normalisasi korelasi silang sinyal pada rentang 0,703 hingga 1,00 dengan rata-rata 0,957. Adanya peningkatan SNR dengan bentuk sinyal yang tetap mengindikasikan bahwa sinyal gempabumi hasil filter Wiener relatif lebih mudah diamati dan dianalisis untuk mendapatkan parameter gempabumi yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

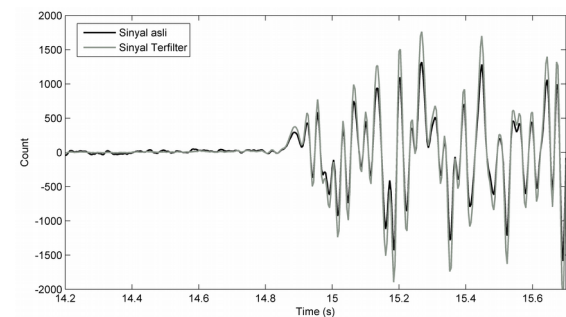
Penulis mengucapkan terimakasih kepada Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) khususnya Bidang Seismologi Teknik atas izin penggunaan data seismik. Selain itu, terimakasih juga disampaikan kepada Bapak Ibnu Purwana yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis dan seluruh staf Stasiun Geofisika Manado yang telah mendukung kegiatan penelitian ini secara moril maupun materiil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Munro, "Automatic event detection and picking of P-wave arrivals," CREWES Research Report, vol. 16, 2004.
- [2] L. Küperkoch, T. Meier, and T. Diehl, "Automated event and phase identification," in *IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)*. Postdam: GeoForschungsZentrum, 2011, p.1-5, 23-27.
- [3] L. Kuperkoch, "Automated recognition, phase arrival time estimation, and location of local and regional earthquakes," Dissertation, University of Bochum, Bochum, Germany, 2010.
- [4] -, "Scautopick." Seiscomp3. <https://www.seiscomp3.org/doc/jakarta/current/apps/scautopick.html> (accessed 23 April 2019)



(a)



(b)

Gambar 8. Contoh perbandingan antara sinyal asli dengan sinyal yang terfilter: a) segmen bising dan b) segmen sinyal gempabumi.

- [5] J. Havskov and L. Ottemöller, *Routine data processing in earthquake seismology*, New York: Springer, 2010.
- [6] T. V. Eck and L. Ahlbom, "Automatic event detection applied to single channel seismic records," in *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Paris, France, May 1982, pp. 1894-1897. doi: [10.1109/ICASSP.1982.1171824](https://doi.org/10.1109/ICASSP.1982.1171824)
- [7] J. F. Claerbout, *Fundamentals of geophysical data processing*. New York: McGraw-Hill, 1976.
- [8] S. M. Mousavi and C. A. Langston, "Adaptive noise estimation and suppression for improving microseismic event detection," *Journal of Applied Geophysics*, vol. 132, pp. 116-124, 2016. doi: [10.1016/j.jappgeo.2016.06.008](https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.06.008)
- [9] N. Wiener, *Extrapolation, interpolation, and smoothing of stationary time series*. Massachusetts: The MIT Press, 1964.
- [10] J. Liu, D. Ying, and P. Zhou, "Wiener filtering of surface EMG with a priori SNR estimation toward myoelectric control for neurological injury patients," *Medical Engineering & Physics*, vol. 36, no. 12, pp. 1711-1715, 2014. doi: [10.1016/j.medengphy.2014.09.008](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2014.09.008)
- [11] J. F. Claerbout, "Detection of P-waves from weak sources at great distances," *Geophysics*, vol. 29, no. 2, pp.197-211, 1964. doi: [10.1190/1.1439350](https://doi.org/10.1190/1.1439350)
- [12] A. Douglas, "Bandpass filtering to reduce noise on seismograms : Is there a better way?," *Bulletin of*

- the Seismological Society of America*, vol. 87, no. 4, pp. 770-777, 1997.
- [13] J. Wang, J. Schweitzer, F. Tilmann, R. S. White, H. Soosalu, "Application of the multichannel Wiener filter to regional event detection using NORSAR seismic-array data," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 101, no. 6, pp. 2887-2896, 2011. doi: [10.1785/0120110003](https://doi.org/10.1785/0120110003)
- [14] S. M. Mousavi and C. A. Langston, "Hybrid seismic denoising using higher-order statistics and improved wavelet block thresholding," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 106, no. 4, pp. 1380-1393, 2016. doi: [10.1785/0120150345](https://doi.org/10.1785/0120150345)
- [15] Y. Ephraim and D. Malah, "Speech enhancement using a minimum mean-square error short-time spectral amplitude estimator," *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 32, no. 6, pp. 1109-1121, 1984. doi: [10.1109/TASSP.1984.1164453](https://doi.org/10.1109/TASSP.1984.1164453)
- [16] P. Scalart and J. Vieira, "Speech enhancement based on a priori signal to noise estimation," in *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Atlanta, USA, May 1996, pp. 629-632. doi: [10.1109/ICASSP.1996.543199](https://doi.org/10.1109/ICASSP.1996.543199)
- [17] K. U. Afegbua and F. O. Ezomo, "A preliminary investigation of the signal-to-noise ratio of Toro and Nsukka stations in Nigeria," *International Journal of Physical Science*, vol. 8, no. 16, pp. 707-716, 2013. doi: [10.5897/IJPS2013.3827](https://doi.org/10.5897/IJPS2013.3827)
- [18] E. O. Brigham, *The fast fourier transform FFT and its applications*. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1988.
- [19] D. E. McNamara and R. P. Buland, "Ambient noise level in the continental United States," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 94, no. 4, pp. 1517-1527, 2004. doi: [10.1785/012003001](https://doi.org/10.1785/012003001)
- [20] W. Wang, S. Ni, Y. Chen, and H. Kanamori, "Magnitude estimation for early warning applications using the initial part of P waves: A case study on the 2008 Wenchuan sequence," *Geophysical Research Letters*, vol. 36, no. 16, pp. 1-6, 2009. doi: [10.1029/2009GL038678](https://doi.org/10.1029/2009GL038678)