

Penghapus Derau Adaptif dengan Algoritma NLMS Ukuran Langkah Adaptasi Tetap dan Berubah

Panca Mudji Rahardjo, Pratolo Rahardjo

Abstrak—Penghapus derau adaptif adalah penapis optimal yang dapat diterapkan bila masukan referensi tersedia. Keuntungan metode ini adalah kemampuan adaptasi dan distorsi keluaran yang rendah. Penggunaan ukuran langkah yang tepat memberikan kecepatan konvergensi yang tinggi. Penelitian ini memodifikasi ANC klasik sehingga memberikan kecepatan konvergensi yang lebih tinggi dan distorsi sinyal keluaran yang lebih rendah. Seratus iterasi pertama menerapkan ukuran langkah tetap kemudian berubah-ubah untuk iterasi berikutnya. Ukuran langkah modifikasi ini berdasar pada estimasi SNR. Simulasi komputer dengan derau putih, menunjukkan ANC usulan mempunyai distorsi 10 hingga 20 dB dibawah ANC klasik.

Kata kunci : Penghapus derau adaptif, NLMS, ukuran langkah adaptasi.

Abstract—The adaptive noise canceller (ANC) is an optimal filter that can be applied when proper reference input is available. The advantages of this method are the adaptation capability and the low output distortion. The use the right step size gives the high convergence rate. This research modified the classic ANC so give higher convergence rate and lower output signal distortion. The first hundred iteration applied fixed step size then modified different ones for the next iterations. These modified step sizes were based on SNR estimations. Computer simulations with white noise, show the proposed ANC has signal distortions 10 to 20 dB lower than that with classic ANC.

Index Terms— Adaptive noise canceller, adaptation step size, NLMS Algorithm.

I. PENDAHULUAN

Penghapus derau adaptif adalah suatu metode penapisan optimal yang dapat diterapkan bila masukan referensi yang sesuai tersedia. Manfaat metode ini adalah kemampuan adaptasinya, derau keluaran yang rendah, dan distorsi sinyalnya yang rendah. Kemampuan adaptasi memungkinkan pemrosesan masukan yang memiliki sifat-sifat tak diketahui dan dalam beberapa kasus nonstasioner. Ini menuju ke sistem stabil yang

secara otomatis mengubah dirinya *off*, bila tak ada perbaikan SNR (*signal-to-noise ratio*) yang dapat dicapai. Derau keluaran dan distorsi sinyal umumnya lebih rendah daripada yang dapat dicapai dengan konfigurasi tapis optimal konvensional[1][2].

Beberapa peneliti telah membuktikan bahwa algoritma perubahan bobot dengan ukuran langkah adaptasi yang berubah, memiliki unjukkerja yang lebih tinggi daripada dengan ukuran langkah adaptasi yang tetap, yang dirangkum pada bagian berikut[3]-[6].

Ikeda dan Sugiyama [1999][3] telah mengusulkan penghapus derau adaptif dengan ukuran langkah adaptasi yang berbeda pada algoritma NLMS-nya. Hasil analisis unjukkerjanya menunjukkan bahwa ANC (*adaptive noise canceller*) usulan ini mengurangi distorsi sinyal pada sinyal keluaran lebih besar 15 dB dibandingkan dengan ANC klasik. Namun kelemahan ANC ini adalah kecepatan konvergensi lebih rendah daripada ANC klasik.

Pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi ANC klasik dengan mengacu pada ANC Ikeda, dengan menerapkan ukuran langkah adaptasi tetap diikuti dengan ukuran langkah berubah, sehingga nantinya dapat menghasilkan kecepatan konvergensi yang tinggi dengan distorsi sinyal keluaran yang rendah. Penelitian ini juga akan menganalisis nilai varians dan korelasi yang belum dilakukan peneliti sebelumnya, untuk membandingkan unjuk kerja algoritma NLMS dengan ukuran langkah tetap dan berubah, mengacu pada penelitian Ikeda [3], pada simulasi penghapus derau adaptif.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa ANC dengan ukuran langkah adaptasi tetap dan berubah memiliki kecepatan konvergensi yang tinggi serta distorsi sinyal keluaran yang rendah. Serta membandingkan pengaruh ukuran langkah tetap dan berubah pada algoritma NLMS terhadap nilai varians dan korelasi sinyal, pada simulasi penghapus derau adaptif.

II. LANDASAN TEORI

A. Konsep Dasar Penghilang Derau Adaptif

Dalam sistem [1], hal. 49 dan [2], hal. 304, masukan referensi diproses dengan tapis adaptif yang secara otomatis mengatur tanggapan impulsnya melalui

Naskah diterima pada tanggal 20 Mei 2007.

Panca Muji Rahardjo bekerja di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Alamat email penulis panca@brawijaya.ac.id.

Pratolo Rahardjo dari Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik - Universitas Udayana Bali.

algoritma kuadrat terkecil seperti LMS (*least-mean-square*) yang tanggap terhadap ketergantungan sinyal galat, diantaranya, pada keluaran tapis. Maka dengan algoritma yang tepat, tapis dapat beroperasi dibawah kondisi yang berubah dan dapat mengatur ulang dirinya secara kontinyu untuk meminimumkan sinyal galat[1][2].

Anggap bahwa s , n_0 , n_1 , dan y adalah stasioner dan memiliki rerata nol. Anggap bahwa s tak berkorelasi dengan n_0 dan n_1 , dan anggap bahwa n_1 berkorelasi dengan n_0 , keluarannya adalah [1]:

$$\varepsilon = s + n_0 - y \quad (1)$$

Bila dikuadratkan, akan diperoleh:

$$\varepsilon^2 = s^2 + (n_0 - y)^2 + 2s(n_0 - y) \quad (2)$$

Dengan memberi nilai harapan di kedua sisi persamaan (2) dan kenyataan bahwa s tak berkorelasi dengan n_0 dan dengan y , menghasilkan

$$\begin{aligned} E[\varepsilon^2] &= E[s^2] + E[(n_0 - y)^2] \\ &\quad + 2E[s(n_0 - y)] \\ &= E[s^2] + E[(n_0 - y)^2] \end{aligned} \quad (3)$$

Daya sinyal $E[s^2]$ tak akan dipengaruhi tapis yang diatur untuk meminimumkan $E[\varepsilon^2]$, sehingga daya keluaran minimum adalah:

$$E_{\min}[\varepsilon^2] = E[s^2] + E_{\min}[(n_0 - y)^2] \quad (4)$$

Oleh karena itu bila tapis diatur hingga $E[\varepsilon^2]$ minimum, $E[(n_0 - y)^2]$ juga terminimumkan. Keluaran tapis y kemudian estimasi kuadrat terkecil terbaik atas derau primer n_0 . Selain itu, bila $E[(n_0 - y)^2]$ diminimumkan, $E[(\varepsilon - s)^2]$ juga terminimumkan, karena dari persamaan (1),

$$(\varepsilon - s) = (n_0 - y) \quad (5)$$

Keluaran ε secara umum berisi sinyal s plus beberapa derau. Dari persamaan (1) dan (5), derau keluaran diberikan sebagai $(n_0 - y)$, karena meminimumkan $E[\varepsilon^2]$ berarti pula meminimumkan $E[(n_0 - y)^2]$. Pemini-muman daya keluaran total meminimumkan daya derau keluaran dan karena sinyal keluaran tetap konstan, pemini-muman daya keluaran total adalah pemaksimalan SNR keluaran.

Dari persamaan (4) diketahui bahwa daya keluaran terkecil yang mungkin adalah $E_{\min}[\varepsilon^2] = E[s^2]$. Bila ini terpenuhi, $E[(n_0 - y)^2] = 0$. Oleh karena itu, $y = n_0$ dan $\varepsilon = s$. Dalam kasus ini, meminimumkan daya keluaran menyebabkan sinyal keluaran yang sempurna bebas dari derau.

B. ANC Ikeda [3]

Ikeda dan Sugiyama [1999], telah mengusulkan penghilang derau adaptif dengan distorsi sinyal rendah untuk isyarat tutur. Dalam ANC usulannya terdapat dua

tapis adaptif: tapis utama (MF: *main filter*) dan subtapis (SF: *subfilter*). SNR sinyal masukan diestimasi menggunakan SF. Untuk mengurangi distorsi sinyal dalam sinyal keluaran ANC, ukuran langkah untuk memperbaharui koefisien dalam MF dikontrol berdasarkan SNR estimasi tersebut.

C. Filter Adaptif Klasik [1][2]

Struktur filter ini menerapkan ukuran langkah μ yang tetap untuk semua iterasi. Pengaruh pemilihan μ terhadap kecepatan konvergensi dan distorsi sinyal keluaran filter, dapat diterangkan sebagai berikut:

- ✚ Bila μ besar, maka konstanta waktu akan kecil, atau cepat mencapai konvergensi. *Excess MSE* dan *misadjustment*-nya akan besar, atau distorsi sinyal keluaran filter saat *steady state* besar.
- ✚ Sebaliknya dengan pemilihan μ yang kecil, maka kecepatan konvergensinya rendah dan distorsi sinyal keluaran saat *steady state* rendah.

D. Filter Adaptif Ikeda [3]

Struktur filter ini menerapkan ukuran langkah μ yang berubah-ubah atau adaptif pada setiap iterasinya berdasarkan estimasi SNR. Untuk SNR kecil, menerapkan μ besar, dan sebaliknya untuk SNR besar, menerapkan μ kecil.

Pengaruh penerapan μ terhadap kecepatan konvergensi dan distorsi sinyal keluaran filter, diterangkan sebagai berikut:

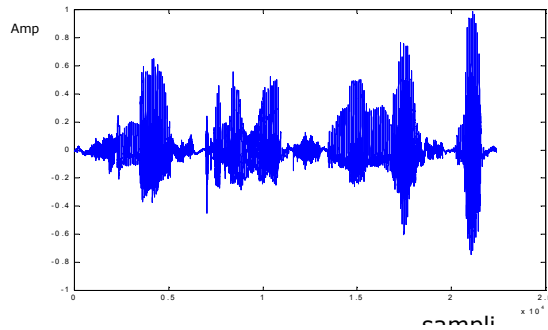
- ✚ Kecepatan konvergensi filter ini dipengaruhi oleh estimasi SNR saat iterasi-iterasi pertama. Karena μ berubah-ubah sejak awal iterasi, maka vektor bobot akan terus berfluktuasi sebelum mencapai *steady state*. Akibatnya distorsi keluaran besar sebelum mencapai *steady state*.
- ✚ Distorsi keluaran saat *steady state* dipengaruhi oleh estimasi SNR. Bila estimasi SNR besar, maka μ kecil, sehingga perubahan bobot sangat kecil atau tidak ada perubahan. Sebaliknya bila estimasi SNR kecil, maka μ besar, dan bobot akan segera berubah untuk mendapatkan/menghasilkan SNR besar. Sehingga distorsi sinyal keluaran dapat diminimalkan dengan penerapan μ yang berubah-ubah berdasarkan estimasi SNR.

III. METODE PENELITIAN

Data utama pada penelitian ini adalah sampel suara tutur yang sebelumnya direkam dengan perangkat-lunak *sound recorder*. Langkah selanjutnya adalah:

1. Simulasi struktur ANC klasik dengan algoritma NLMS, dengan tanggapan impulse jalur derau $h_i(k)$ sebesar z^{-1} , artinya $n_1(k)$ sama dengan $n_0(k-1)$. Nilai μ seperti yang dicoba oleh Ikeda, yaitu 0,4. Panjang filter L sama dengan 5. Kemudian mengamati sinyal keluaran ANC ini.
2. Simulasi struktur dan algoritma usulan Ikeda.
3. Mengamati kurve pembelajaran hasil tahap pertama

dan kedua, dan membandingkan keduanya. ANC klasik konvergens/*steady state* pada iterasi ke 60, sedangkan ANC Ikeda benar-benar *steady state* pada iterasi ke 100. Pada kondisi *steady state* distorsi sinyal keluaran ANC Ikeda lebih rendah daripada ANC klasik. Dari hasil pengamatan tahap ketiga, dibuatlah struktur ANC baru dengan menggabungkan kelebihan masing-masing ANC. ANC baru ini menerapkan struktur ANC klasik untuk iterasi awal, kemudian menerapkan struktur ANC Ikeda setelah mencapai *steady state*. Dengan mengamati bahwa estimasi daya sinyal dan derau dengan mengkuadratkan nilai - nilai sebelumnya sebesar M cuplikan, maka struktur ANC usulan mencoba mengestimasi daya sinyal dan derau yang diperoleh langsung dari tapis utama dengan menghilangkan sub tapis. Diharapkan tanpa adanya sub tapis dapat mempersingkat waktu komputasi. Diagram blok ANC usulan dapat dilihat pada Gambar 2. Konvergensi dan distorsi keluaran struktur ini dapat dijelaskan sebagai berikut: Seperti halnya struktur ANC klasik, struktur ini menerapkan nilai μ tetap di awal iterasi untuk mendapatkan kecepatan konvergensi. Dari hasil pengamatan dipilih menerapkan nilai μ tetap hingga iterasi keseratus. Setelah mencapai iterasi keseratus, nilai μ dibuat berubah-ubah untuk mendapatkan distorsi sinyal keluaran rendah saat *steady state*. Estimasi SNR seperti halnya yang dilakukan Ikeda.



Gambar 1 Sinyal tutur

4. Untuk mengetahui unjuk kerja ANC usulan dibandingkan dengan ANC sebelumnya, dilakukan beberapa percobaan merubah-ubah parameter jumlah sadapan N , cuplikan M , tundaan L , dan variasi besarnya derau pada masukan referens. Unjuk kerja yang dibandingkan adalah spektrum sinyal keluaran, distorsi sinyal keluaran, nilai varians, koefisien korelasi, dan waktu komputasi.
5. Mengeset parameter-parameter seperti yang diperlihatkan di table 1.
6. Menghitung nilai varians sinyal asli, sinyal berderau, sinyal tertapis ANC klasik, ANC Ikeda dan ANC usulan, untuk membandingkan daya rata-rata sinyal, dan menghitung nilai koefisien korelasi

TABEL 1. NILAI-NILAI PARAMETER [3]

Parameter	Nilai
Jumlah sadapan, N	3 5 10 15
Panjang tundaan, L	3 5 10 15
Ukuran langkah subtapis, μ_{SUB}	0.4
Ukuran langkah maksimum, μ_{MAX}	0.4
SNR minimum, V_{min}	-50 dB
Ukuran langkah minimum, μ_{MIN}	2^{-6}
SNR maksimum, V_{max}	-10 dB

- sinyal asli dengan sinyal berderau; sinyal asli dengan sinyal tertapis untuk membandingkan tingkat kesamaan antara sinyal[7][8].
7. Menghitung distorsi sinyal keluaran ANC klasik, ANC Ikeda dan ANC usulan dan menampilkannya dalam bentuk grafik, untuk mengetahui perbandingan masing-masing ANC.

Distorsi sinyal keluaran dihitung berdasarkan [3]:

$$P_D(k) = \sum_{j=0}^{Q-1} \{e(k-j) - s(k-j)\}^2 \quad (6)$$

$$P_O(k) = \sum_{j=0}^{Q-1} s^2(k-j) \quad (7)$$

$$V(k) = 10 \log_{10} \{P_D(k) / P_O(k)\} \text{ [dB]}$$

(8)

dengan $e(k)$, $s(k)$, Q berturut-turut adalah sinyal keluaran ANC, ucapan asli, dan jumlah cuplikan untuk mengestimasi $P_D(k)$ dan $P_O(k)$.

Semua perhitungan dan pengolahan sinyal dilakukan dengan perangkat-lunak MATLAB 5.3 [9][10].

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Jumlah Bobot

Dari hasil penelitian terlihat bahwa dengan meningkatnya jumlah sadapan N , maka peningkatan korelasi semakin tinggi namun membutuhkan waktu komputasi yang panjang pula. Dari pertimbangan data-data yang diperoleh dipilih pada penelitian ini dengan jumlah sadapan lima, yang berarti jumlah bobot adalah lima.

B. Analisis koefisien korelasi dan varians [7]

Setelah ditetapkan jumlah bobot adaptasi, penelitian selanjutnya adalah mengamati perubahan nilai koefisien korelasi dan varians dengan menerapkan berbagai amplitudo derau. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Terlihat pada kedua gambar, bahwa pada SNR lebih kecil dari 0 dB korelasi ANC Ikeda lebih kecil dari ANC klasik, ini karena besarnya derau pada awal ucapan saat ANC Ikeda belum

mencapai konvergensi, sehingga menyebabkan variansnya lebih besar.

Pada ANC Usulan yang menerapkan ukuran langkah tetap pada 100 iterasi pertama diikuti dengan ukuran langkah berubah, derau pada awal ucapan segera berkurang dengan cepatnya konvergensi, sehingga diperoleh korelasi yang tinggi dan varians yang rendah.

V. KESIMPULAN

1. Analisis dengan nilai varians dan koefisien korelasi sinyal, dapat menampilkan unjukkerja sistem yang menghasilkan sinyal tersebut.
2. Penghapusan derau adaptif dengan ukuran langkah berubah berdasarkan SNR menghasilkan distorsi sinyal keluaran yang rendah daripada dengan ukuran langkah tetap.
3. Penghapusan derau adaptif usulan, yaitu dengan ukuran langkah tetap pada 100 iterasi pertama diikuti dengan ukuran langkah berubah, mempunyai kecepatan konvergensi yang tinggi dan distorsi sinyal keluaran yang rendah, serta waktu komputasi yang lebih singkat daripada ANC Ikeda.
4. Perubahan nilai varians dan koefisien korelasi sinyal dapat diamati dengan spektrum daya sinyal. Perubahan nilai varians yang kecil dan koefisien korelasi yang besar diperlihatkan dengan spektrum daya yang mendekati spektrum daya sinyal asli.
5. Perbandingan waktu komputasi ternormalisasi ketiga ANC, sebagai berikut:
 - a. ANC klasik : 0.4
 - b. ANC Usulan : 0.6
 - c. ANC Ikeda : 1

VI. SARAN

1. Penelitian dapat dikembangkan untuk sinyal non-stasioner.
2. Program dapat dikembangkan lagi menggunakan bahasa pemrograman lain, yang mendukung penerapan *real-time*.
3. Penelitian ini dapat diterapkan dalam perangkat keras secara *real-time*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada koordinator proyek DUE, Ditjen DIKTI – DEPDIKNAS, yang telah memberikan beasiswa kepada penulis selama belajar di Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada. Prof. Adhi Susanto, MSc.Ph.D. dan DR. Ir. Thomas Sri Widodo, DEA, (UGM) atas bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [21] Haykin, S., 1991, "Adaptive Filter Theory", 2nd edition, Prentice Hall, New Jersey.
- [22] Widrow, B., Stearns, S.D. 1985, "Adaptive Signal Processing", Prentice Hall, New Jersey.
- [23] Ikeda, S., Sugiyama, A., 1999, "An Adaptive Noise Canceller with Low Signal Distortion for Speech Coders", IEEE

Transactions on Signal Processing, Vol. 47, No. 3, pp. 665 – 674.

- [24] Ahn, S-S., Voltz, P.J., 1996, "Convergence of the Delayed Normalized LMS Algorithm with Decreasing Step Size", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 44, No. 12, pp. 3008 – 3016.
- [25] Krishnamurty, V., Yin, G., Singh, S., 2001, "Adaptive Step-Size Algorithms for Blind Interference Suppression in DS/CDMA Systems", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 49, No. 1, pp. 190 – 201.
- [26] Soo, J-S., Pang, K.K., 1991, "A Multistep Size (MSS) Frequency Domain Adaptive Filter", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 39, No. 1, pp. 115 – 121.
- [27] Gardner, W.A., 1989, "Introduction to Random Processes", McGraw-Hill, Singapore.
- [28] Glover, I., Grant, P., 1997, "Digital Communications", Prentice Hall, Cornwall.
- [29] Hanselman, D., Littlefield, B., 1998, "Mastering MATLAB 5, A Comprehensive Tutorial and Reference", Prentice Hall, New Jersey.
- [30] --, 1999, "Signal Processing Toolbox For Use with Matlab". Version 4.2. The Math Works Inc.



Panca Mudji Rahardjo, lahir di Sumenep tahun 1970. Pada tahun 1995 memperoleh gelar ST, dari Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dengan konsentrasi teknik elektronika dan tahun 2001 memperoleh gelar MT, dari Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, di bidang Sistem Isyarat dan Elektronis, dengan beasiswa dari proyek DUE (*development of undergraduate education*) ditjen DIKTI Depdiknas.

Tahun 1996 – 1998, bekerja sebagai Assistant Engineer, di Production Engineering Department, PT. Asahi Electronics Indonesia, Batam. Perusahaan perakitan *Telephone Answering Device* dan *JVC car stereo*. Tahun 1998 – 1999, bekerja sebagai Engineering Assistant, di Engineering Department, PT. Tokyo Pigeon Indonesia, Purwa-karta, Jawa Barat. Perusahaan Perakitan *Audio mechanism*.

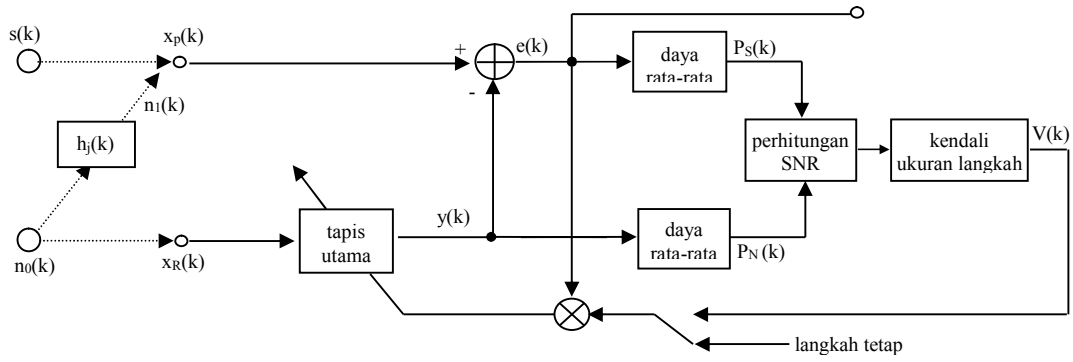
Tahun 2000 – sekarang, sebagai dosen tetap di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Pernah aktif mengajar di beberapa PTS di Malang.

Bidang yang ditekuni adalah Elektronika terapan, Pemrosesan sinyal dan citra.

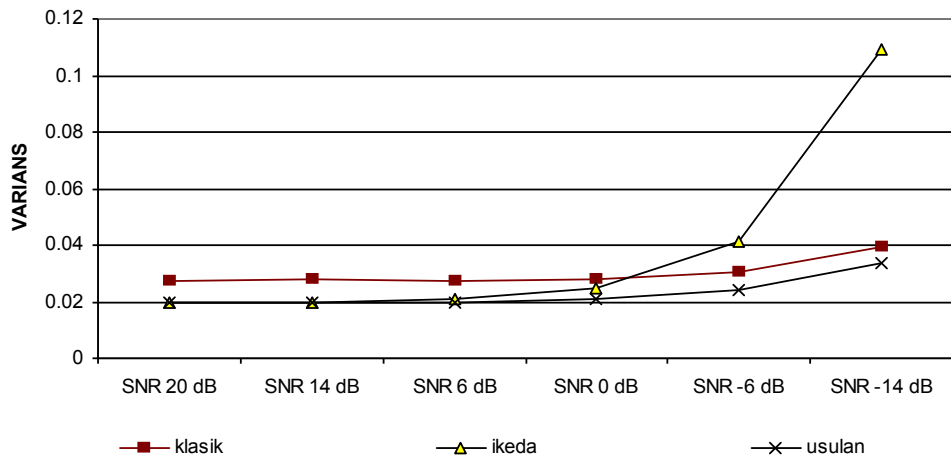
Pratolo Rahardjo. Memperoleh gelar ST, tahun 1995, dari Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro dan tahun 2002 memperoleh gelar MT, dari Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, di bidang Sistem Isyarat dan Elektronis, dengan beasiswa proyek EEDP ditjen DIKTI Depdiknas.

Tahun 2000 – sekarang, sebagai dosen tetap di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.

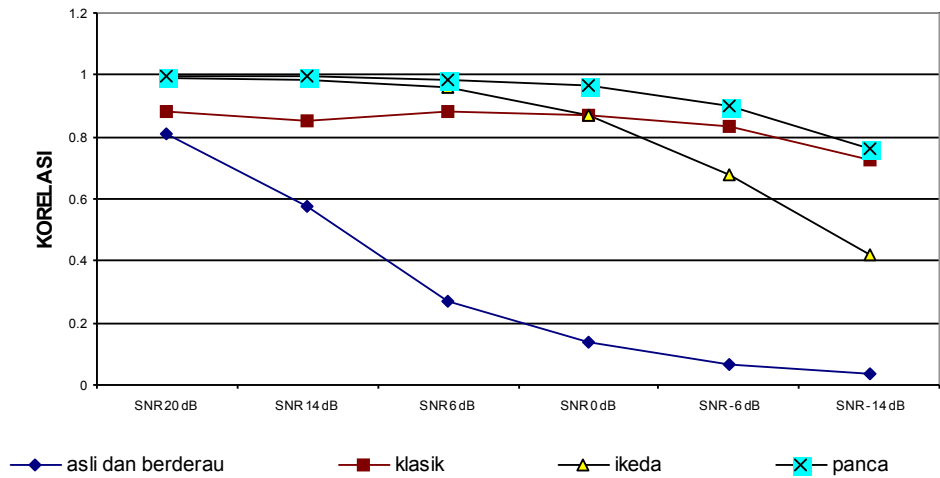
Bidang yang ditekuni adalah Elektronika terapan dan Pemrosesan sinyal.



Gambar 2 Diagram blok ANC usulan



Gambar 3 Varians sinyal keluaran ANC



Gambar 4 Koefisien korelasi sinyal asli dengan keluaran ANC