

REDUKSI SUARA JANTUNG DARI REKAMAN SUARA PARU-PARU MENGGUNAKAN FILTER ADAPTIF DENGAN ALGORITMA RECURSIVE LEAST SQUARE

Ferdi Sukresno, Achmad Rizal, Iwan Iwut

Departemen Teknik Elektro – Institut Teknologi Telkom
Jl. Telekomunikasi, Terusan Buah Batu, Bandung 40257 Indonesia
arz@stttelkom.ac.id, iww@stttelkom.ac.id

ABSTRAK

Rekaman suara paru-paru digunakan dokter dalam memeriksa kondisi fisik seseorang terutama yang berhubungan dengan sistem pernafasan. Untuk itu diperlukan rekaman suara paru-paru yang terbebas dari gangguan interferensi dari suara-suara lain agar hasil pemeriksaan lebih akurat. Akan tetapi, sangat jarang mendapatkan rekaman suara paru-paru secara langsung yang terbebas dari *noise*, terutama suara jantung. Hal ini dikarenakan selama manusia hidup jantung selalu berdetak, dan pengambilan suara paru-paru di dekat organ jantung. Oleh karena itu, diperlukan cara untuk mereduksi/menghilangkan suara jantung supaya pemeriksaan terhadap suara paru-paru dapat lebih akurat. Ada beberapa metoda untuk mereduksi suara jantung dari rekaman suara paru-paru, dengan menganggap suara jantung sebagai *noise* dan suara paru-paru sebagai suara yang diinginkan. Salah satu metoda yang dapat digunakan adalah filter adaptif sebagai *noise canceller*. Karena kemampuannya yang dapat beradaptasi terhadap perubahan karakteristik sinyal, metoda ini dapat digunakan untuk mereduksi suara jantung dari rekaman suara paru-paru. Pada penelitian ini dirancang sebuah sistem untuk mereduksi suara jantung dari rekaman suara paru-paru dengan menggunakan *Adaptive Noise Cancellation* (ANC) dengan algoritma *Recursive Least Square* (RLS) atau filter RLS-ANC. Dengan terlebih dahulu membuat sebuah sinyal yang digunakan sebagai input referensi yang merupakan bentuk lain dari suara jantung, suara jantung dapat direduksi dengan menggunakan filter ini. Berdasarkan hasil dari simulasi yang dilakukan, filter RLS-ANC ini mampu untuk mereduksi suara jantung. Filter ini efektif untuk mereduksi suara jantung yang terdapat pada frekuensi 100-450 Hz.

Kata kunci : suara paru, suara jantung, RLS, noise canceller

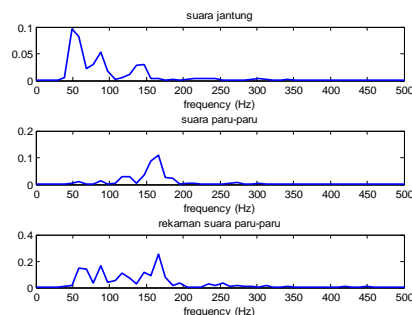
1. PENDAHULUAN

Suara paru-paru adalah suara yang dihasilkan oleh aliran udara yang keluar masuk paru-paru karena aktivitas pernafasan. Saat udara menabrak dinding saluran pernafasan, terbentuk turbulen dan menghasilkan suara. Suara paru-paru biasanya digunakan untuk memeriksa kondisi fisik dan kesehatan seseorang, terutama yang berhubungan dengan sistem pernafasan.

Sejak ditemukannya stetoskop suara paru-paru didengarkan dengan menggunakan alat ini. Suara paru-paru yang terdengar dengan bantuan stetoskop bercampur dengan suara-suara lain terutama suara detak jantung. Hal ini dikarenakan selama manusia hidup jantung tidak pernah berhenti berdetak, dan organ paru-paru sendiri berada di dekat organ jantung. Suara detak jantung ini menghasilkan gangguan interferensi *quasi-periodic* yang menutupi interpretasi klinis pada komponen frekuensi rendah dari suara paru-paru. Oleh karena itu, suara detak jantung ini akan mempengaruhi hasil pemeriksaan terhadap suara paru-paru. Komponen utama suara jantung adalah pada range frekuensi 20-

150 Hz yang tumpang tindih dengan komponen frekuensi rendah dari suara paru-paru.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dibidang kesehatan dan komputer semakin memudahkan dalam melakukan pemeriksaan terhadap suara paru-paru. Dengan merekam suara paru-paru sehingga dapat diolah sesuai dengan yang diinginkan sehingga hasil pemeriksaan akan lebih baik dan tidak terlalu mengganggu orang yang diperiksa.



Gambar 1. Spektrum frekuensi :a. suara paru-paru, b. suara jantung, c. rekaman suara paru-paru

Teknologi dalam bidang pengolahan sinyal telah dikembangkan diseluruh dunia. Salah satu teknologi pengolahan sinyal adalah filter. Filter digunakan untuk menghilangkan noise sehingga diperoleh sinyal yang diinginkan. Oleh karena itu, filter dapat digunakan untuk mereduksi suara jantung dari rekaman suara paru-paru. Karena sinyal suara detak jantung tumpang tindih dengan komponen frekuensi rendah dari suara paru-paru maka filter konvensional kurang sesuai digunakan. Filter yang sesuai digunakan adalah filter adaptif, karena mempunyai kemampuan untuk mengubah bobot koefisiennya secara otomatis, menyesuaikan dengan sinyal input

Pada penelitian ini dirancang sebuah filter adaptif sebagai noise canceler dengan algoritma *recursive least square* (RLS) untuk mereduksi suara jantung dari rekaman suara paru-paru.

2. TEORI

2.1. Suara Paru-paru

Saat udara menabrak dinding saluran pernafasan, terbentuk turbulen dan menghasilkan suara. Pada saat inspirasi, udara bergerak ke saluran udara yang lebih sempit dengan alveoli sebagai akhirnya. Pada saat ekspirasi, udara mengalir ke arah yang berlawanan menuju saluran pernafasan yang lebih lebar. Turbulen yang terjadi lebih sedikit, sehingga pada ekspirasi normal terbentuk suara yang lebih kecil dibandingkan dengan inspirasi.

Puncak suara paru-paru normal biasanya pada frekuensi di bawah 100 Hz. energi suara paru-paru menurun dengan tajam antara 100-200 Hz tapi masih dapat dideteksi pada atau diatas 800 Hz dengan alat yang sensitif.

2.2. Suara Jantung

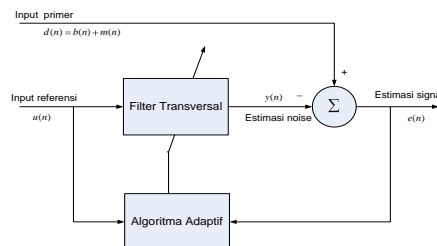
Jantung merupakan suatu alat untuk menyokong proses peredaran darah pada tubuh manusia sehingga manusia dapat terus beraktifitas dalam hidupnya. Detak jantung menghasilkan dua suara yang berbeda yang dapat didengarkan pada stetoskop, yang sering dinyatakan dengan *lub-dub*. Suara jantung memiliki komponen frekuensi utama yang kecil, yaitu antara 20-150 Hz untuk jantung yang normal.

2.3. Filter Adaptif

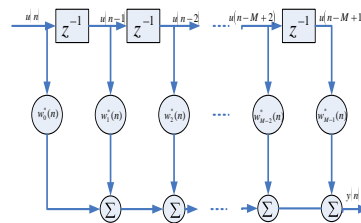
Filter adaptif adalah filter digital yang mempunyai kemampuan untuk mengubah bobot koefisiennya secara otomatis, menyesuaikan dengan sinyal input untuk memperkecil error.

2.3.1 Adaptive Noise Cancellation (ANC)

Salah satu aplikasi filter adaptif adalah ANC



Gambar 2. Diagram blok filter adaptif Sebagai ANC



Gambar 3. Filter Transversal

Pada dasarnya ANC memerlukan dua input, yaitu:

1. Input primer, $d(n)$ adalah sinyal pembawa informasi, $b(n)$, yang diubah oleh noise tambahan, $m(n)$. Dimana $b(n)$ dan $m(n)$ tidak korelasi satu sama lain.
2. Input referensi adalah sebuah sinyal noise, $u(n)$, yang tidak korelasi dengan sinyal $b(n)$ tetapi korelasi dengan $m(n)$.

Sinyal referensi $u(n)$ diolah oleh filter adaptif untuk menghasilkan sinyal output:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} w_k^*(n) u(n-k) \tag{1}$$

Dimana $w_k^*(n)$ adalah bobot tap yang dapat diatur dari filter adaptif. Output filter $y(n)$ dikurangkan dari sinyal primer $d(n)$, sebagai respon yang diinginkan untuk filter adaptif. Sinyal error didefinisikan sebagai berikut:

$$e(n) = d(n) - y(n) \tag{2}$$

Dari persamaan diperoleh 2.1 dan 2.3

$$e(n) = b(n) + m(n) - y(n) \tag{3}$$

Sinyal error $e(n)$ diarahkan untuk mengatur bobot tap dari filter adaptif, dan *loop* pengendali di sekeliling operasi pemfilteran dan pengurangan adalah tertutup. Dari persamaan tersebut menyatakan bahwa sinyal pembawa informasi, $b(n)$, adalah bagian dari sinyal error $e(n)$. Sinyal error $e(n)$ merupakan output sistem secara keseluruhan. Dari persamaan terlihat bahwa komponen noise dalam sistem output adalah $m(n) - y(n)$. Filter adaptif akan berusaha untuk meminimalkan nilai kuadrat rata-rata (misal daya rata-rata) dari sinyal error $e(n)$. Sinyal pembawa

informasi $b(n)$ sendiri pada dasarnya tidak terpengaruh oleh (ANC). Kerena itu, meminimalkan nilai kuadrat rata-rata dari sinyal error $e(n)$ adalah sama dengan meminimalkan nilai kudrat rata-rata noise output $m(n) - y(n)$. Dengan nilai $b(n)$ yang pada dasarnya konstan, dapat dinyatakan bahwa meminimalkan nilai kuadrat rata-rata sinyal error adalah sama dengan memaksimalkan (SNR) output sistem.

2.4 Algoritma Recursive Least Square (RLS)

Algoritma RLS merupakan pengembangan dari metode *least squares*. Proses adaptif algoritma RLS mempunyai tahapan-tahapan sebagai berikut:

- i) Inisialisasi bobot awal filter ($w(0)$), $P(0)$ dan λ . Nilai $P(0) = \delta^{-1}I$, dimana I merupakan matriks identitas, sedangkan δ merupakan konstanta positif yang nilainya kecil.
- ii) Menghitung nilai estimasi error:

$$\zeta(n) = d(n) - w^H(n-1)u(n) \quad (4)$$
- iii) Hitung nilai gain vektor:

$$k(n) = \frac{\lambda^{-1}P(n-1)u(n)}{1 + \lambda^{-1}u^H(n)P(n-1)u(n)} \quad (5)$$
- iv) Update nilai invers matrik auto korelasi:

$$P(n) = \lambda^{-1}P(n-1) - \lambda^{-1}k(n)u^H(n)P(n-1) \quad (6)$$
- v) Update nilai bobot filter:

$$w(n) = w(n-1) + \mu.k(n).\zeta^*(n) \quad (7)$$
- vi) Perbesar nilai n , lalu kembali ke step ii) dan demikian seterusnya.

3. IMPLEMENTASI SISTEM

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam perancangan sistem dan simulasi penelitian ini antara lain: perekaman suara paru-paru, deteksi suara jantung dan pembentukan sinyal referensi untuk input referensi filter RLS-ANC, dan pemfilteran dengan RLS-ANC.



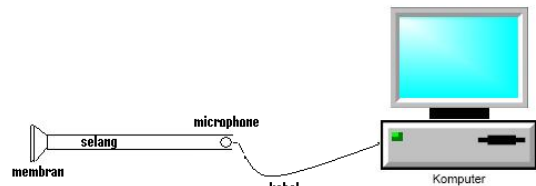
Gambar 4. Flowchart Pemfilteran RLS-ANC

3.1 Perekaman Suara Paru-paru

Tujuan dari perekaman suara paru-paru adalah untuk menyediakan sinyal rekaman suara paru-paru sebagai input primer dari filter RLS-ANC.

Proses aliran sinyal dideskripsikan melalui langkah-langkah sebagai berikut:

1. Sinyal suara paru-paru akan ditangkap oleh stetoskop dan diteruskan ke mic kondensor.
2. Sinyal akan masuk ke *jack line in* pada *soundcard* komputer dan dilakukan proses *Analog to Digital Converting* (ADC) 16 bit dengan frekuensi sampling 10000 Hz.



Gambar 5. Perangkat akuisisi suara paru

3. Kemudian dilakukan proses BPF terhadap sinyal. Proses ini dilakukan agar sinyal yang diperoleh semakin jelas dan dapat didengar dengan baik. BPF yang digunakan adalah BPF *butterworth* orde 6 dengan *Frekuensi cutoff* (f_c) berkisar antara 60 Hz dan 1000 Hz dan f_c antara 20 Hz. dan 1000 Hz.
4. Sinyal kemudian dinormalisasi.
5. Diperoleh sinyal rekaman suara paru-paru sebagai input primer dari filter RLS-ANC.

Rekaman suara paru-paru diambil dari suara di bagian dada sebelah kanan dari 5 orang dalam kondisi sehat, berusia antara 19-24 tahun. Perekaman suara paru-paru dilakukan selama 10 detik, pada saat melakukan pernafasan normal dengan amplitudo suara jantung lebih besar dibandingkan suara paru-paru.

3.2 Pendeteksi Suara Jantung dan Pembentukan Sinyal Referensi

Pendeteksian suara jantung pada sinyal input primer atau sinyal rekaman paru-paru ini dilakukan untuk mengetahui letak suara jantung pada input primer. Hasil yang didapat dari proses pendeteksian suara jantung ini digunakan untuk membentuk sinyal referensi bagi filter RLS-ANC.

Deteksi suara jantung dilakukan dengan cara mengkuadratkan sinyal dan melakukan *thresholding* untuk mendapatkan sinyal referensi. Penyusunan sinyal referensi dilakukan dengan cara mengambil 79 sampel data sebelum dan 133 sampel data setelah titik-titik dimana suara jantung terdeteksi dan diberi nilai satu, sedangkan titik-titik diluar itu bernilai nol. Panjang sinyal yang dihasilkan harus sama dengan sinyal input primer. Sinyal yang dihasilkan pada proses tersebut kemudian dikalikan dengan sinyal input primer, sehingga dihasilkan suara jantung yang mirip dengan suara jantung yang terdapat dalam input primer. Sinyal ini kemudian difilter

menggunakan LPF *butterworth* orde 2 untuk menghilangkan komponen suara paru-paru yang masih terdapat dalam sinyal tersebut.

3.3 Filter RLS-ANC

Model sistem filter RLS-ANC pada penelitian ini dapat dilihat dalam gambar di bawah ini seperti pada gambar 2.

Bagian-bagian dari model sistem filter RLS-ANC adalah sebagai berikut:

1. Input primer $d(n)$

input primer dalam penelitian ini adalah rekaman suara paru-paru yang diperoleh dari bagian 3.1. Sinyal ini berisi sinyal yang diinginkan yaitu suara paru-paru dan sinyal yang tidak diinginkan yaitu suara jantung.

2. Input referensi

Input referensi $u(n)$ merupakan sinyal yang didapatkan dari bagian 3.2

3. Filter FIR adaptif RLS

Filter *finite impulse respon* (FIR) dipilih sebagai filter transversal dalam penelitian ini. Filter ini dipilih karena memiliki kestabilan yang lebih baik dibanding dengan filter *infinite impulse respons* (IIR). Sedangkan algoritma yang digunakan untuk mengubah bobot tap filter transversal adalah algoritma RLS.

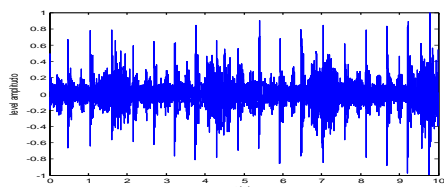
4. Mixer

Mixer berfungsi sebagai pensubstrak input primer terhadap output filter *transversal* dan menghasilkan output sistem RLS-ANC

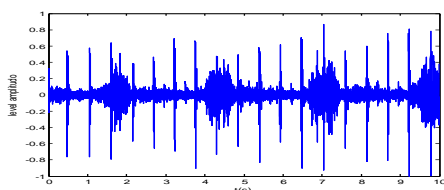
4. HASIL DAN ANALISIS

4.1 Input Filter RLS-ANC

Berikut ini merupakan 2 buah rekaman suara paru-paru sebagai input primer filter RLS-ANC. Rekaman pertama adalah sinyal input primer dari rekaman suara paru-paru pada bagian 3.1 yang difilter dengan BPF *Butterworth* orde 6 dengan f_c 20 Hz dan 1000 Hz kemudian dinormalisasi. Rekaman kedua adalah sinyal input primer dari rekaman suara paru-paru setelah di BPF *butterworth* orde 6 dengan 60 Hz dan 1000 Hz kemudian dinormalisasi.



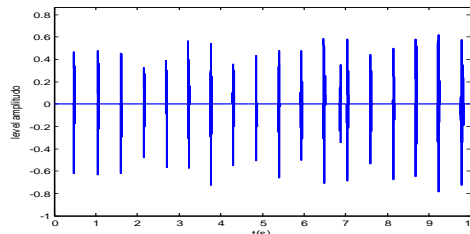
Gambar 6. Rekaman pertama



Gambar 7. Rekaman kedua

4.2 Input Referensi

Selanjutnya sinyal input primer yang digunakan adalah rekaman pertama pada bagian 4.1 (gambar 6). Sinyal referensi (gambar 8.) merupakan sinyal suara jantung pada posisi puncak-puncaknya pada rekaman suara paru-paru. Sinyal ini sesuai dengan syarat yang diperlukan sebagai sinyal referensi, yaitu kesesuaian waktu antara noise yang terdapat pada input primer dan input referensi.



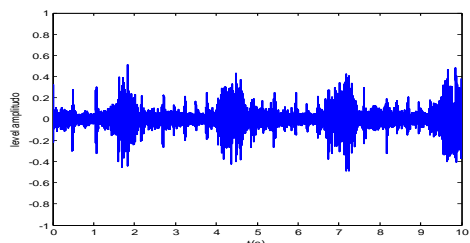
Gambar 8. Sinyal referensi filter RLS-ANC

4.3 Analisis Keluaran Filter RLS-ANC

Analisis output dilakukan dengan cara membandingkan output dari filter RLS-ANC dengan input primer yang digunakan. Orde filter yang digunakan untuk analisis pada bagian ini adalah 4, $\lambda = 1$ dan $\delta = 0,004$.

4.3.1 Analisis Bentuk

Analisis bentuk dilakukan dengan cara membandingkan bentuk dari sinyal output dan input.



Gambar 8. Output filter RLS-ANC

Dari gambar tersebut terlihat bahwa suara jantung, yaitu komponen yang ingin direduksi dalam penelitian ini, mengalami penurunan level amplituda atau mengalami reduksi jika dibandingkan dengan input primer (gambar 6).

4.3.2 Analisis Subyektif

Input primer diperdengarkan kepada responden yang berjumlah 30 orang yang terdiri dari 5 orang perawat dan 25 orang mahasiswa. Analisis MOS ini dibagi menjadi 2, yaitu: pertama, membandingkan suara paru-paru setelah dan sebelum difilter RLS-ANC. Kedua, membandingkan suara jantung setelah dan sebelum difilter RLS-ANC. Dari perhitungan didapat nilai masing-masing 3,63 dan 4,5

4.4 Analisis Performansi Sistem

Untuk analisis pada bagian ini sinyal yang digunakan adalah sinyal yang diperoleh dengan cara mencampurkan suara jantung dan suara paru-paru yang diasumsikan terbebas dari suara jantung. Suara jantung dan suara paru-paru direkam secara terpisah.

4.4.1 Analisis Pengaruh Frekuensi Cut-off LPF Butterworth Dalam Membentuk Sinyal Input Referensi

Analisis pada bagian ini adalah untuk membandingkan pengaruh fc LPF *butterworth* dalam membentuk sinyal input referensi terhadap performansi sistem. Parameter performansi yang digunakan untuk analisis ini adalah sebagai berikut:

1. signal to noise ratio (SNR)

Rumus perhitungan SNR adalah sebagai berikut:

$$SNR_m (dB) = 10 \log_{10} \frac{P_{signal_in}}{P_{noise_in}} \tag{8}$$

$$SNR_{out} (dB) = 10 \log_{10} \frac{P_{signal_out}}{P_{noise_out}} \tag{9}$$

$$P_{signal_in} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (signal_in(i))^2 \tag{10}$$

$$P_{noise_in} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (noise_in(i))^2 \tag{11}$$

$$P_{signal_out} = P_{signal_in} \tag{12}$$

$$P_{noise_out} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (output(i) - signal_in(i))^2 \tag{13}$$

SNR_{in}, SNR_{out} : S/N input filter, S/N output filter

$P_{signal_in}, P_{signal_out}$: Daya input, Daya output

$P_{noise_in}, P_{noise_out}$: Daya noise input, noise output

$Noise_{in}, noise_{out}, Output(i)$: noise input, noise output, output filter

$Signal_{in}, signal_{out}(i)$: sinyal input, sinyal output

n : Panjang sinyal

$signal$: Suara paru-paru.

$noise$: Suara jantung.

Analisis pada bagian ini dilakukan dengan cara membandingkan SNR sebelum difilter dan SNR setelah difilter. Semakin besar nilai SNR output filter menunjukkan perbaikan terhadap sinyal. Sebaliknya semakin kecil nilai SNR menunjukkan bahwa sinyal mengalami penurunan kualitas atau mengalami kerusakan.

2. Quality

Parameter *Quality* dapat dijelaskan dengan rumus sebagai berikut:

$$Quality = \frac{mean(noise_in^2)}{mean(noise_out^2)} \tag{14}$$

$$noise_out = output - signal_in \tag{15}$$

Dimana

$noise_{in}$:noise yang terdapat dalam sinyal input.
 $noise_{out}$:noise yang terdapat dalam output filter
 $signal_{in}$: sinyal input tanpa noise
 $output$: output filter

Nilai *quality* kurang dari satu berarti sinyal semakin rusak, *quality* sama dengan satu berarti filter tidak melakukan perbaikan apapun, sedangkan *quality* lebih besar dari 1 berarti filter melakukan perbaikan.

Tabel 1 dan 2 adalah tabel hasil perhitungan SNR dan *Quality*. Dari table menunjukkan Fc = 150 Hz menghasilkan nilai yang paling baik.

Tabel 1. Pengaruh fc LPF terhadap nilai SNR input suara 1

Fc	Nilai SNR (dalam dB)		Perbaikan
	Input	Output	
75 Hz	-2,9259	-1,1797	1,7463
100 Hz	-2,9259	-0,7311	2,1948
125 Hz	-2,9259	-0,3581	2,5678
150 Hz	-2,9259	-0,1000	2,8260

Tabel 2 Pengaruh fc LPF terhadap nilai *quality* suara 1

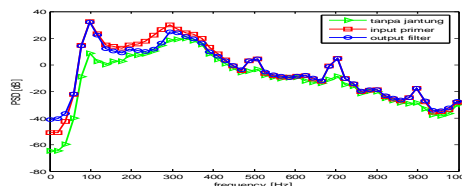
Fc	Quality
75 Hz	1,4950
100 Hz	1,6576
125 Hz	1,8063
150 Hz	1,9169

4.4.2 Power Spectral Density

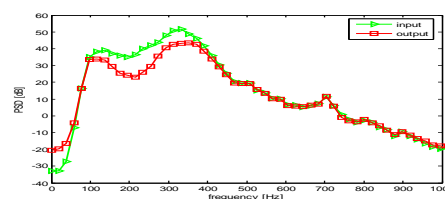
Persamaan PSD adalah sebagai berikut:

$$PSD(w) = \frac{1}{M_w} \sum_{m=0}^{M_w-1} |DFT_k(x_m)|^2 \tag{16}$$

Dimana M_w jumlah window, dan x_m adalah blok-blok sinyal window. Perhitungan PSD dilakukan terhadap sinyal input filter, sinyal output filter, dan sinyal yang diinginkan yaitu suara paru-paru. *Window* yang digunakan adalah *Hamming* dengan 1024 titik.



Gambar 9. Perbandingan PSD Sinyal input, sinyal output dan Suara paru-paru suara 1

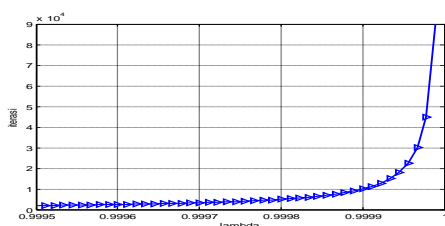


Gambar 10. PSD suara input dan suara output dengan input rekaman suara paru-paru sesungguhnya

Berdasarkan gambar 10 diatas, filter RLS-ANC ini mampu mereduksi dari frekuensi 100 Hz sampai dengan 450 Hz.

4.4.3 Analisis Pengaruh forgetting factor (λ)

$\lambda=1$ menunjukkan jumlah memori yang tidak terbatas, yang artinya mampu untuk menjalankan proses adaptasi sampai pada iterasi terakhir, sehingga penggunaan $\lambda=1$ membuat filter akan beradaptasi sampai pada iterasi terakhir.

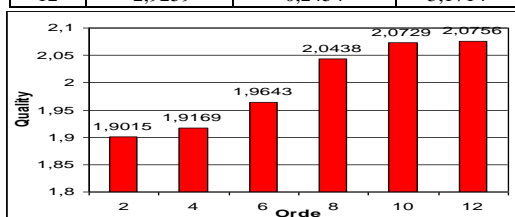


Gambar 11. Hubungan nilai forgetting factor terhadap jumlah iterasi rekaman suara 1

4.4.4 Analisis Pengaruh Orde Terhadap Performansi Filter

Tabel 4.5 Pengaruh orde filter terhadap nilai SNR input suara 1

Orde	Nilai SNR (dalam dB)		Perbaikan
	Input	Output	
2	-2,9259	-0,1349	2,7911
4	-2,9259	-0,1000	2,8260
6	-2,9259	0,0061	2,9320
8	-2,9259	0,1784	3,1043
10	-2,9259	0,2399	3,1659
12	-2,9259	0,2454	3,1714



Gambar 4.10 Pengaruh Orde filter terhadap nilai quality suara 1

Dapat disimpulkan: filter ini dapat melakukan perbaikan untuk semua nilai orde yang dibandingkan dengan orde 10 yang paling optimal.

5. PENUTUP

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Filter RLS-ANC yang digunakan dalam penelitian ini mampu untuk mereduksi suara jantung dari rekaman suara paru-paru
2. Rekaman suara paru-paru yang dapat direduksi suara jantungnya menggunakan filter RLS-ANC

pada penelitian ini adalah rekaman suara paru-paru dimana suara jantung memiliki amplituda yang lebih besar dibandingkan dengan suara paru-paru.

3. Frekuensi cut-off yang menghasilkan nilai perbaikan SNR dan quality yang paling baik adalah 150 Hz .
4. Filter RLS-ANC dalam penelitian ini efektif mereduksi suara jantung pada range frekuensi antara 100–450 Hz.
5. Jika menggunakan input primer yang diperoleh menggunakan stetoskop dan mic kondensor yang terhubung ke komputer, orde 10 merupakan orde yang paling optimal jika dibandingkan dengan orde lain yang diperbandingkan berdasarkan nilai perbaikan SNR, quality dan perbedaan terhadap orde selanjutnya dimana peningkatan nilai perbaikan SNR dan quality sudah tidak signifikan lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haykin, Simon, “Adaptive Filter Theory Third Edition”. Upper Saddle River, NJ:Prentice-Hall, 1996, ch. 1, 3,11, and 13..
- [2] J. Gnitecki, Z. K. Moussavi, H. Pasterkamp, ”Recursive least squares adaptive noise cancellation filtering for heart sound reduction in lung sounds recordings,” Department of Electrical and Computer Engineering, University of Manitoba, Canada, 2003
- [3] E. Saatci, A. Akan, “Heart Sound Reduction in Lung Soun by Spectrogram”, Istanbul University, Turkey, 2005
- [4] Saatci, Esra “Filtering of Lung Sounds For Heart Sound Reduction”, Final Project, 2005.
- [8] M. T. Pourazad, Z. K. Mousavi, G. Thomas, ”Heart sound cancellation from lung sound recordings using adaptive treshold and 2D interpolation in time frequency domain.” Department of Electrical and Computer Engineering, University of Manitoba, Canada, 2003.
- [11] www.bioscience.org/atlas/heart/sound/sound.htm
- [12] A.Rizal, S.Soegijoko, ”Stetoskop Elektronik Sederhana Berbasis PC dengan Fasilitas Pengolahan Sinyal Digital Untuk Auskultasi Jantung dan Paru”, SIBF, ITB Bandung, 2006.
- [13] Saputro, Ariyanto, ”Simulasi Equalisasi Adaptive Dengan Menggunakan Algoritma Recursive Least Square Pada QPSK”, Tugas Akhir, STTTelkom, Bandung, 2006.
- [15] Efeachor, E.C, Jervis, BW, ”Digital Signal Processing”, Addison wesley, 1995.
- [16] www.acoustics.org/press/132nd/2aea4.html

