



Pengurangan Noise Pada RTL-SDR Menggunakan *Least Mean Square* Dan *Recursive Least Square*

Aviv Yuniar Rahman¹, Mamba'us Sa'adah², Istiadi³

^{1,3}Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

²Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro Dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

¹aviv@widyagama.ac.id, ²mambaus.ms@gmail.com, ³istiadi@widyagama.ac.id

Abstract

Noise reduction is an important process in a communication system, one of which is radio communication. In the process of broadcasting radio Frequency Modulation (FM) often encountered noise so that listeners find it difficult to understand the information provided. In the past, noise reduction used traditional filters that were only able to filter certain frequencies. However, for future technologies an adaptive filter is needed that can dynamically reduce noise effectively. Register Level-Software Defined Radio (RTL-SDR) can capture signals with a very wide frequency range but has a less clear sound quality. So it needs to be done noise reduction. In this study, two methods are used, namely Least Mean Square (LMS) and Recursive Least Square (RLS). The data used five radio stations in Malang. The results showed that the LMS algorithm is stable but has a slow convergence speed, whereas the RLS algorithm has poor stability but has a high convergence speed. From the test, it can be concluded that the performance of RLS is better than LMS for noise reduction in RTL-SDR. The best performance is the reduction of White Noise using RLS on the Oryza radio station with an Normalized Weight Differences (NWD) value of -13.93 dB.

Keywords: RTL-SDR, noise reduction, least mean square, recursive least square.

Abstrak

Pengurangan noise merupakan proses penting dalam suatu sistem komunikasi, salah satunya pada komunikasi radio. Pada proses broadcasting radio Frequency Modulation (FM) sering dijumpai noise sehingga pendengar sulit memahami informasi yang diberikan. Dulu, pengurangan noise menggunakan filter tradisional yang hanya mampu memfilter frekuensi tertentu. Namun, untuk teknologi yang akan datang diperlukan penggunaan filter adaptif yang secara dinamis dapat efektif mengurangi noise. Register Transfer Level-Software Defined Radio (RTL-SDR) bisa menangkap sinyal dengan range frekuensi yang sangat luas namun mempunyai kualitas suara yang kurang jernih. Sehingga perlu dilakukan pengurangan noise. Pada penelitian ini digunakan dua metode yaitu Least Mean Square (LMS) dan Recursive Least Square (RLS). Data yang digunakan dalam penelitian adalah lima stasiun radio yang ada di Malang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma LMS ini stabil namun memiliki kecepatan konvergensi yang lambat, sedangkan pada algoritma RLS memiliki kestabilan yang kurang baik namun memiliki kecepatan konvergensi yang tinggi. Dari pengujian dapat disimpulkan bahwa kinerja RLS lebih baik daripada LMS untuk pengurangan noise pada RTL-SDR. Kinerja terbaik yaitu pengurangan White Noise menggunakan RLS pada stasiun radio Oryza dengan nilai Normalized Weight Differences (NWD) -13.93 dB.

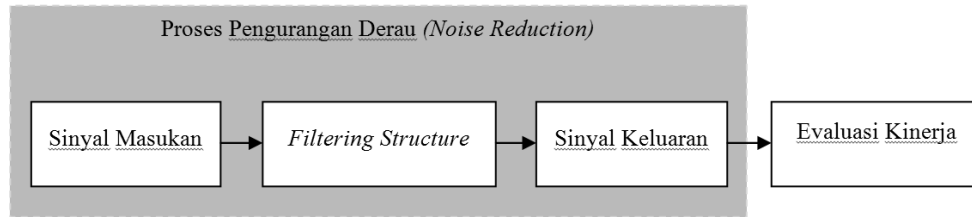
Kata kunci: RTL-SDR, pengurangan noise, least mean square, recursive least square.

© 2020 Jurnal RESTI

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari sering dijumpai noise. Salah satu contoh noise adalah pada radio. Noise pada radio ini berakibat pendengar tidak mengerti dengan

sinyal asli yang disampaikan. Sehingga perlu dilakukan pengurangan noise supaya sinyal yang dikirim menjadi jelas. Pengurangan noise didefinisikan sebagai perbedaan antara daya derau input dan daya derau keluaran[1].



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Penerimaan sinyal radio diperumit dengan adanya komponen yang tidak diinginkan yaitu *noise* [2]. *Noise* pada radio merupakan jumlah emisi dari berbagai sumber yang bukan berasal dari pemancar komunikasi radio melainkan *White Gaussian Noise* yang memiliki distribusi amplitudo normal. *White Gaussian Noise* memiliki efek dalam penyiaran audio [3]. Beberapa metode sudah diusulkan untuk menghilangkan *noise* dalam rangka peningkatan kualitas suara [4]. Pengiriman sinyal atau data dari agar sampai ke tujuan dengan baik menjadi hal yang menantang karena ada perubahan lingkungan di sekitar yang mempengaruhi sinyal [5].

Teknologi komunikasi yang akan datang memerlukan penggunaan filter adaptif yang secara dinamis dapat mengkonfigurasi ulang parameter filter untuk semua frekuensi [6]. *Noise Reduction* dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti *adaptive filtering* [7], *temporal filtering*, *spatial filtering* [8] dan lain sebagainya.

Adaptive filtering menjadi metode yang efektif dan populer untuk pemrosesan dan analisis sinyal [9]. Filter digital mampu secara adaptif melalui struktur operasi matematika dan algoritma untuk memfilter *noise*. Salah satu penerapan *noise reduction* menggunakan LMS juga diterapkan untuk menghilangkan *Additive White Gaussian Noise* [10].

Filter adaptif dengan algoritma LMS menunjukkan kinerja yang baik pada proses *noise reduction* yang diterapkan pada sinyal audio terutama dalam arti kecepatan konvergensi [11]. Pada LMS ukuran langkah variabel digunakan setiap kali ambang kesalahan rata-rata kuadrat yang diterima tercapai [12]. Selain itu pada LMS juga terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kinerja, seperti *step size* yang mengarah ke tingkat konvergensi, filter order dan iterasi [13]. Dalam menggunakan algoritma juga bisa menggunakan algoritma RLS sebagai pengganti algoritma LMS. Hanya saja memiliki sebuah perbedaan bobot perhitungan di dalam algoritma RLS tersebut. Serta bisa diketahui di dalam rumus algoritma RLS dan algoritma LMS juga berbeda dalam menghitung sebuah bobotnya [14].

Software Defined Radio (SDR) pada awalnya digunakan untuk aplikasi militer sebagai alat komunikasi antara berbagai unit dalam format yang aman. Proyek-proyek seperti *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) menggunakan

beberapa *air interface* dan variasi teknik pemrosesan sinyal untuk pengembangan SDR [15].

Pada saat ini penelitian mengenai SDR menjadi sangat menarik karena SDR menjadi teknik komunikasi nirkabel modern terkini [16]. Salah satunya penelitian mengenai implementasi *spectrum sensing* (SS) dengan menggunakan data sinyal *Frequency Modulation* (FM) [17].

Sehingga pada penelitian ini kami juga menggunakan data sinyal FM dengan RTL-SDR. Dan menerapkan metode LMS dan RLS untuk pengurangan *noise* karena pada setiap komunikasi selalu terdapat *noise* sehingga mengganggu proses penyampaian sebuah informasi.

2. Metode Penelitian

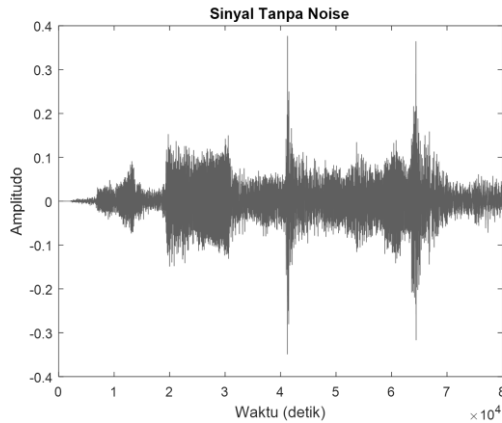
Pada penelitian ini, alur kinerja sistem ditunjukkan pada Gambar 1. Alur kinerja sistem ini terdiri dari 4 tahapan. Pertama sinyal masukan yang berupa hasil rekaman *broadcasting* radio FM yang sudah mengandung *noise*. Kedua, *filtering structure* menggunakan metode LMS dan RLS. Ketiga, Sinyal Keluaran berupa sinyal yang diinginkan (tanpa *noise*). Dan tahapan terakhir adalah evaluasi kinerja.

2.1. Sinyal Masukan

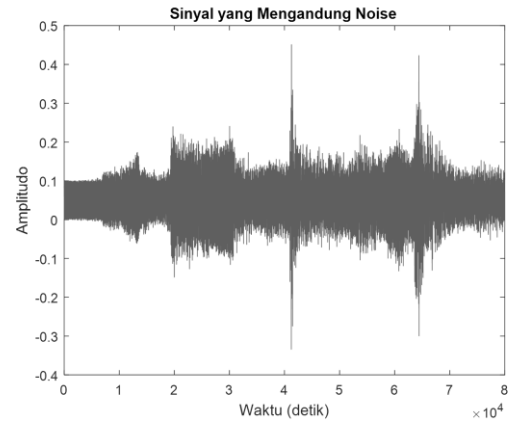
Sinyal masukan adalah sinyal hasil *broadcasting* radio FM Malang. Sinyal ini adalah sinyal yang akan dianalisa. Terdapat 5 stasiun radio yang diambil pada penelitian ini yaitu:

1. Kharimas Dian Suara (KDS) 8 97.8 FM
2. Malangkucuswara 101.3 FM
3. Oryza Universitas brawijaya 107.5 FM
4. Radio Republik Indonesia (RRI) Programa 3 105.3 FM
5. Senaputra 105.3 FM

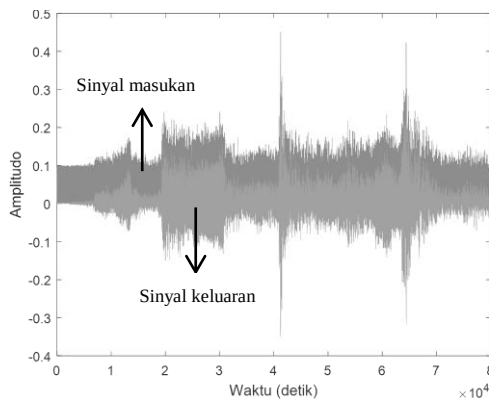
Data tersebut diambil dan direkam menggunakan perangkat RTL-SDR dengan antenna internal bawaan dari perangkat ini. Digunakan 5 data stasiun tersebut karena hanya 5 stasiun radio *broadcasting* ini yang dapat diambil dari tempat pemasangan RTL-SDR. Sinyal hasil rekaman dari perangkat RTL-SDR dirusak dengan penambahan *noise Gaussian*. Sinyal ini akan dijadikan sebagai sinyal masukan untuk diproses atau difilter.



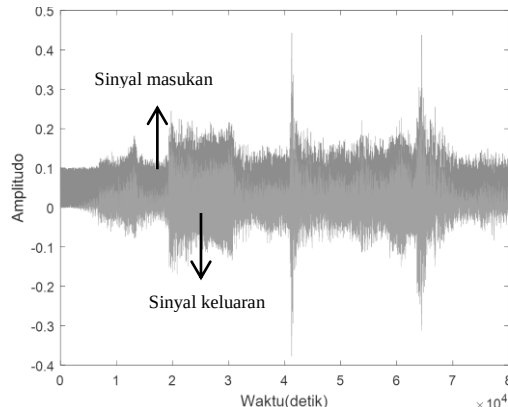
Gambar 2. Sinyal Tanpa Noise



Gambar 3. Sinyal Mengandung Noise



Gambar 4. Perbandingan Sinyal Keluaran dan Masukan Radio RRI Menggunakan LMS



Gambar 5. Perbandingan Sinyal Keluaran dan Masukan Radio RRI Menggunakan RLS

2.2. Filtering Structure

Proses *filtering* ini digunakan untuk mengekstraksi sinyal yang diinginkan dari sinyal yang mengandung *noise*. Pada proses ini menggunakan dua metode yaitu LMS dan RLS. Pada proses ini akan dilakukan iterasi. *Error* akan semakin mengecil seiring dengan bertambahnya iterasi.

2.3. Sinyal Keluaran

Sinyal keluaran merupakan sinyal yang diinginkan (tanpa *noise*). Hasil sinyal keluaran ini akan dibandingkan dengan sinyal masukan. Dan kemudian akan dianalisa dan memasuki tahapan selanjutnya yaitu evaluasi kinerja.

2.4. Evaluasi Kinerja

Evaluasi digunakan untuk mengukur kinerja hasil sistem yang diusulkan. Evaluasi kinerja yang digunakan pada penelitian ini adalah *Normalized Weight Differences* (NWD). Persamaan NWD ditunjukkan pada rumus 1.

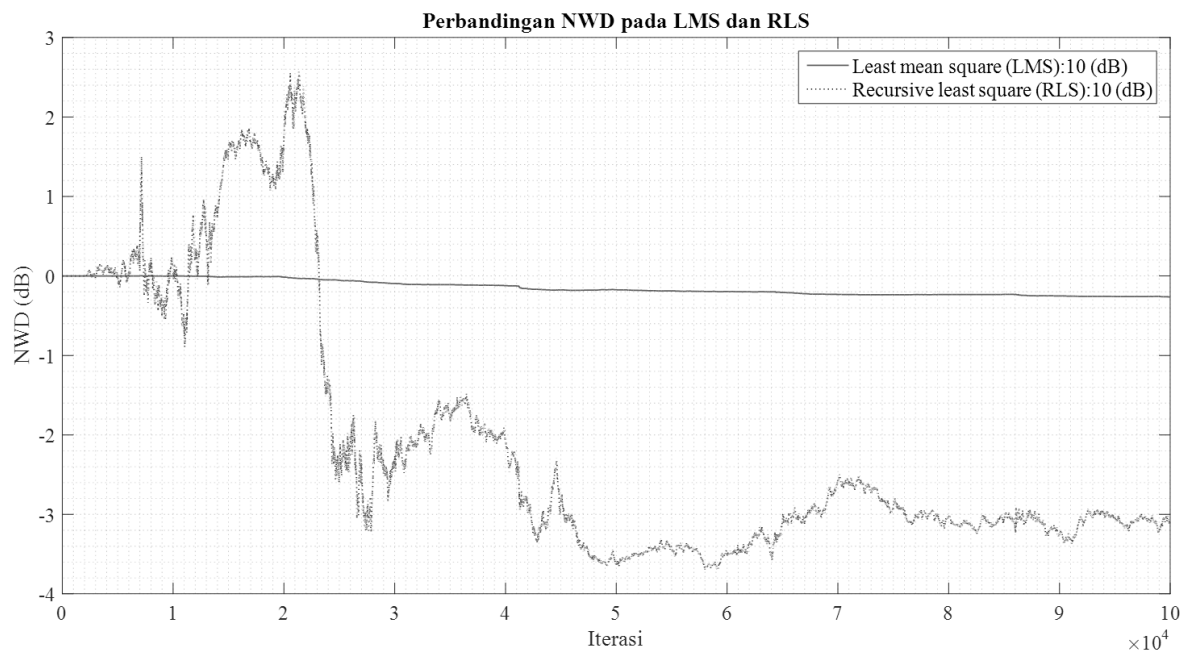
$$NWD(n) = \frac{\|\hat{\theta}(n) - \theta\|}{\|\theta\|} \quad (1)$$

Dimana θ dan $\hat{\theta}$ adalah vektor parameter yang diinginkan dan diperkirakan pada iterasi ke-n.

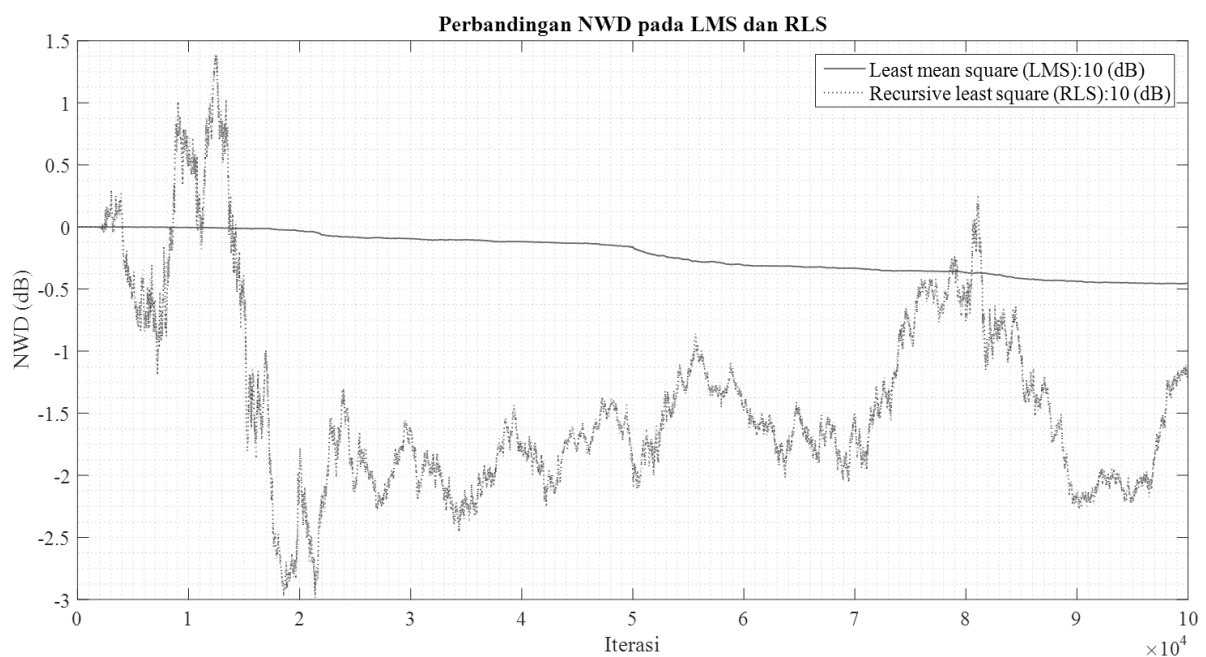
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil sinyal rekaman yang telah dilakukan menggunakan RTL-SDR disampling dengan Frekuensi Sinyal Sampling (f_s) = 48000. Sistem diuji dengan parameter kinerja yaitu NWD. Dengan data yang diambil dari lima stasiun radio FM. Salah satu hasil rekaman radio RRI tanpa *noise* ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan sinyal yang sudah ditambahkan *noise* ditunjukkan seperti Gambar 3.

Dari Gambar 4 dapat dilihat perbandingan hasil sinyal input yang mengandung *noise* dan sinyal keluaran yang sudah diproses menggunakan LMS, sedangkan pada Gambar 5 diproses menggunakan RLS. Sinyal keluaran tersebut sudah tidak mengandung *noise*. Spektrum sinyal yang memiliki amplitudo besar adalah sinyal masukan yang mengandung *noise*, sedangkan yang memiliki amplitudo lebih kecil adalah sinyal keluaran yang sudah bersih dari *noise*. Sinyal suara asli yang mengandung *noise* lebih besar dari sinyal aslinya.

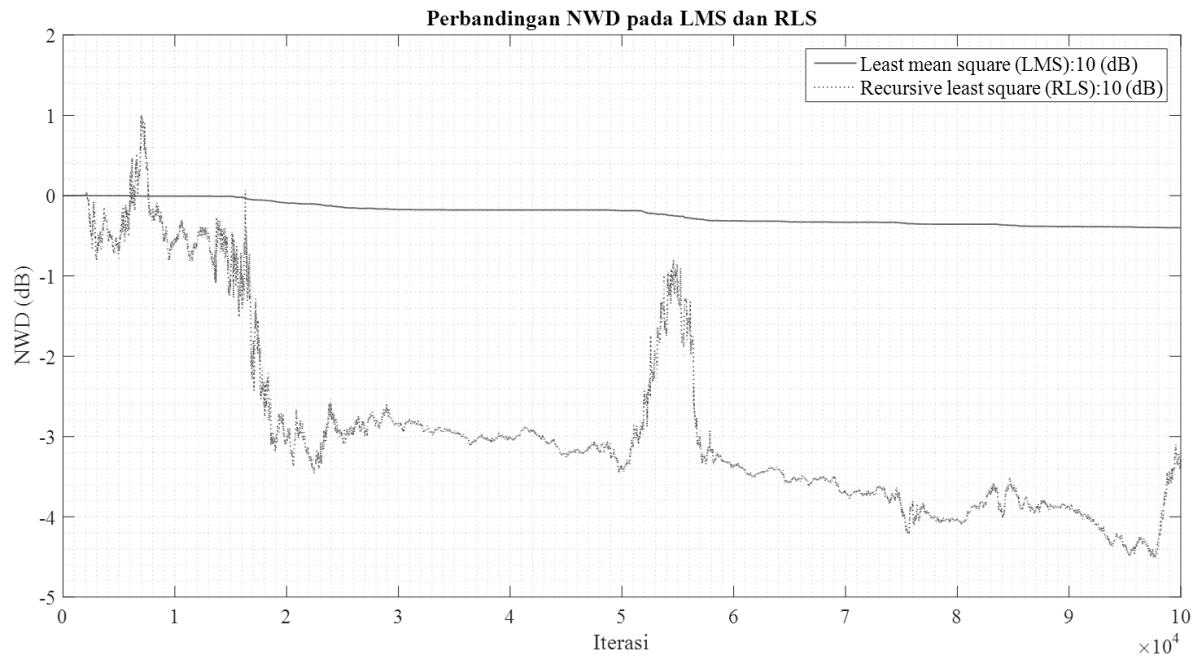


Gambar 6. Perbandingan NWD pada Pengurangan White Noise Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio RRI

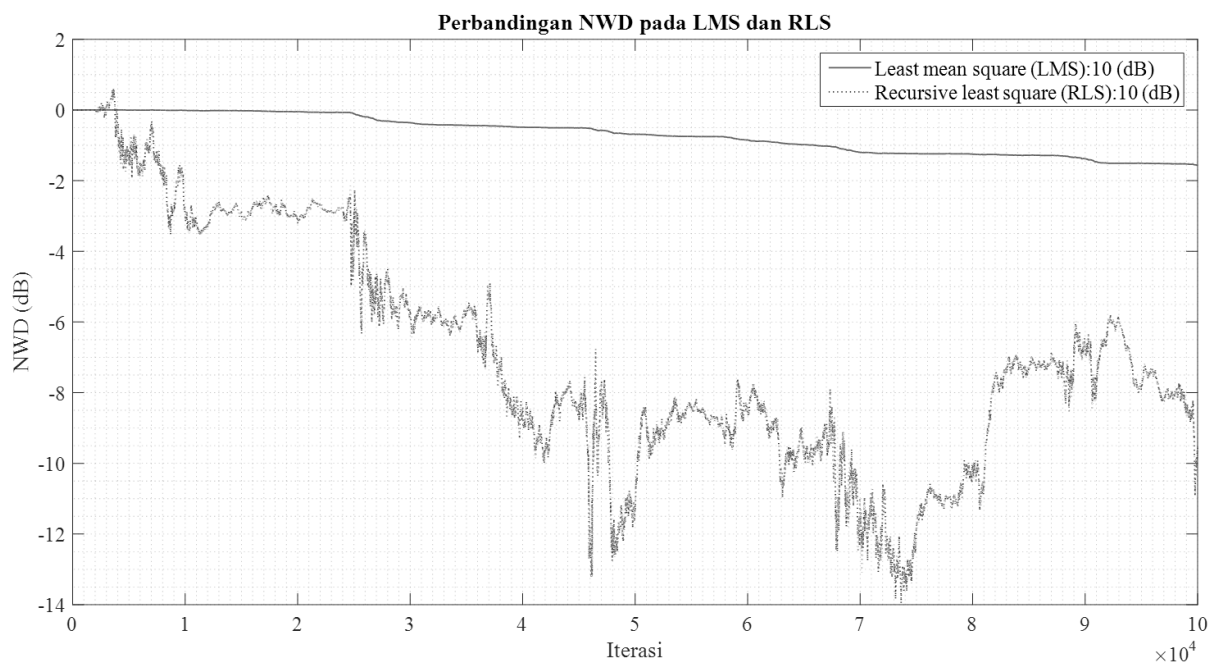


Gambar 7. Perbandingan NWD pada Pengurangan White Noise Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio KDS

Algoritma LMS dan RLS dibandingkan dengan *noise* yang dilakukan maka semakin besar nilai NWD, level 0.1. Untuk melihat perbandingan NWD sedangkan pada RLS nilai NWD terbesar didapat saat pengurangan *White Noise* menggunakan RLS dan LMS iterasi ke 5.853×10^4 . Oleh karena itu, pada Gambar 7 di stasiun radio RRI Gambar 6. Pada Gambar 6 dapat yang menunjukkan pengurangan *White Noise* dilihat bahwa pada LMS bahwa algoritma ini stabil menggunakan RLS dan LMS di stasiun radio KDS. sedangkan pada RLS memiliki kestabilan yang kurang Dengan menggunakan RLS didapatkan nilai NWD baik. Dengan menggunakan LMS, semakin besar iterasi terbesar saat iterasi ke 2.151×10^4 .



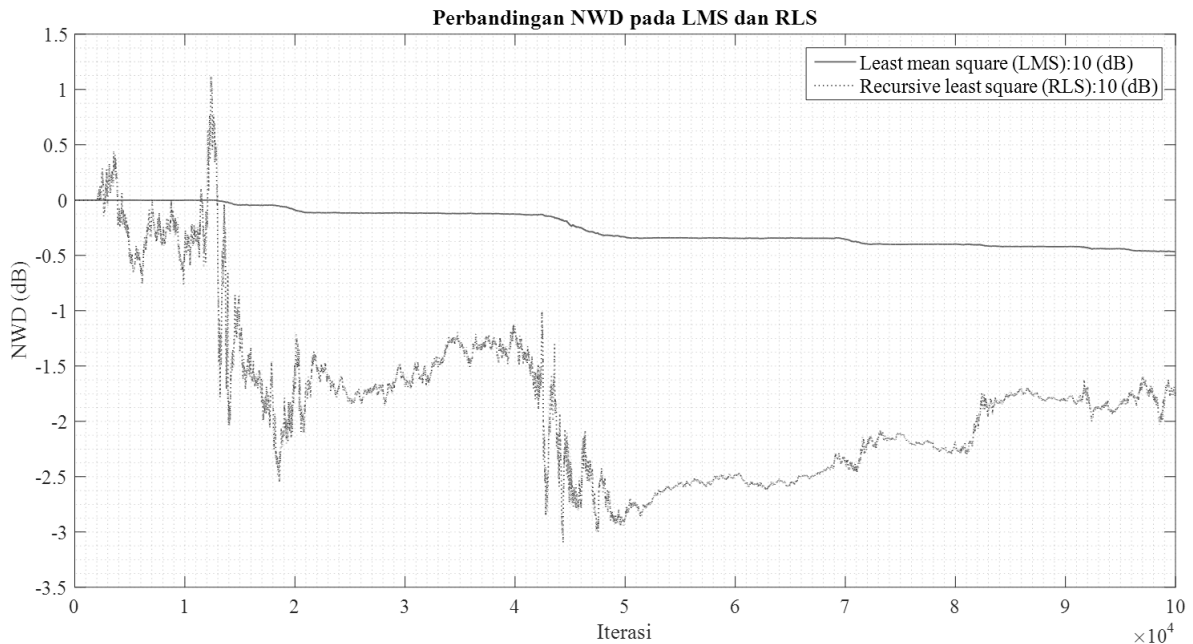
Gambar 8. Perbandingan NWD pada Pengurangan *White Noise* Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio Malangkeswara



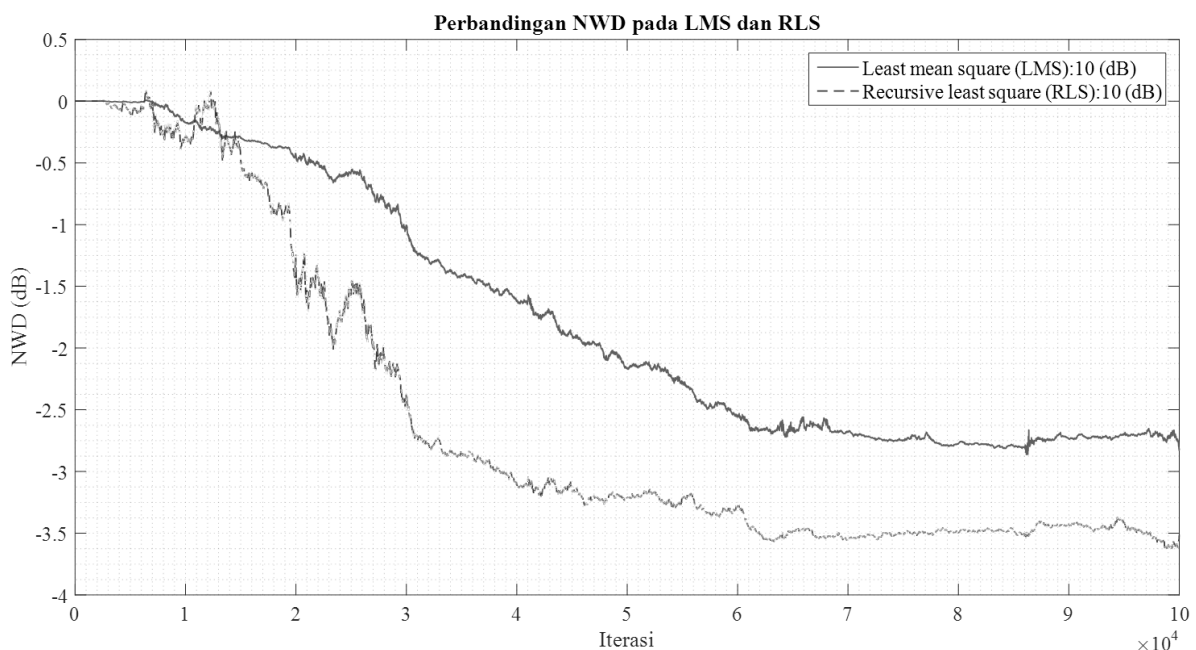
Gambar 9. Perbandingan NWD pada Pengurangan *White Noise* Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio Oryza

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 terlihat perbandingan NWD pengurangan *White Noise* menggunakan RLS dan LMS di stasiun radio Malangkeswara dan Oryza. Pada pengurangan *White Noise* menggunakan LMS, nilai NWD yang dihasilkan kecil namun stabil, dimana semakin besar iterasi yang dilakukan maka akan semakin besar pula nilai NWD. Hal tersebut membutuhkan waktu komputasi yang lama.

Pada pengurangan *White Noise* menggunakan RLS nilai NWD yang dihasilkan besar namun tidak stabil, sehingga perlu ditentukan nilai iterasi terbaik sehingga mendapat nilai NWD terbesar dan mendapatkan hasil yang maksimal. Pada RLS nilai NWD besar pada titik tertentu, di stasiun radio Malangkeswara terletak pada iterasi ke 9.751×10^4 sedangkan pada stasiun radio Oryza pada iterasi ke 7.371×10^4 .



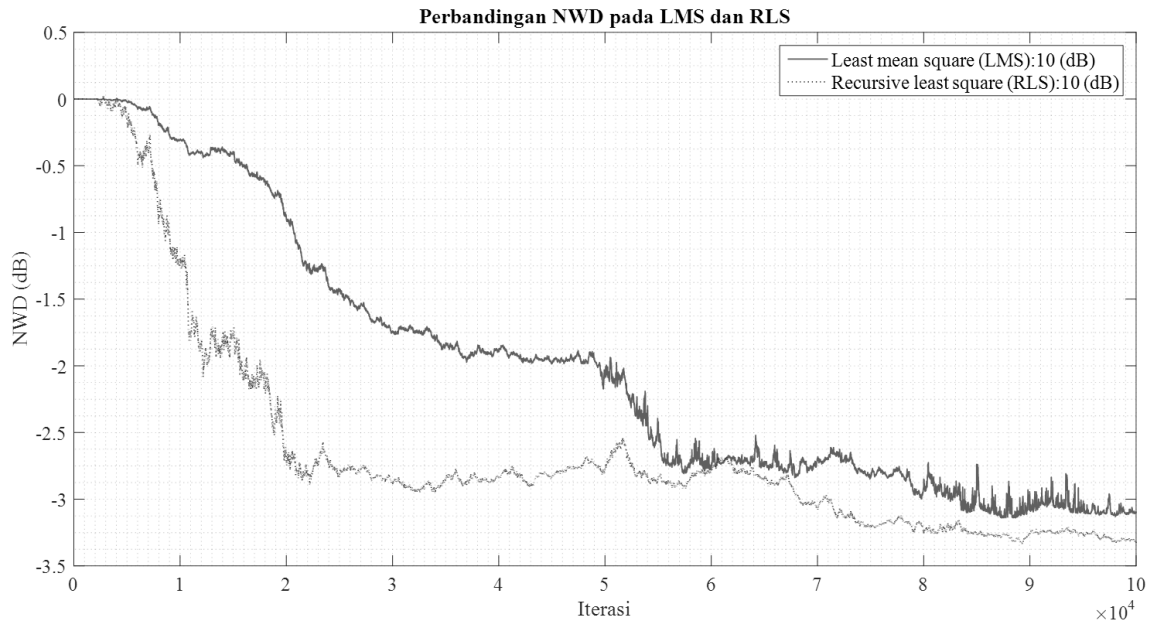
Gambar 10. Perbandingan NWD pada Pengurangan *White Noise* Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio Senaputra



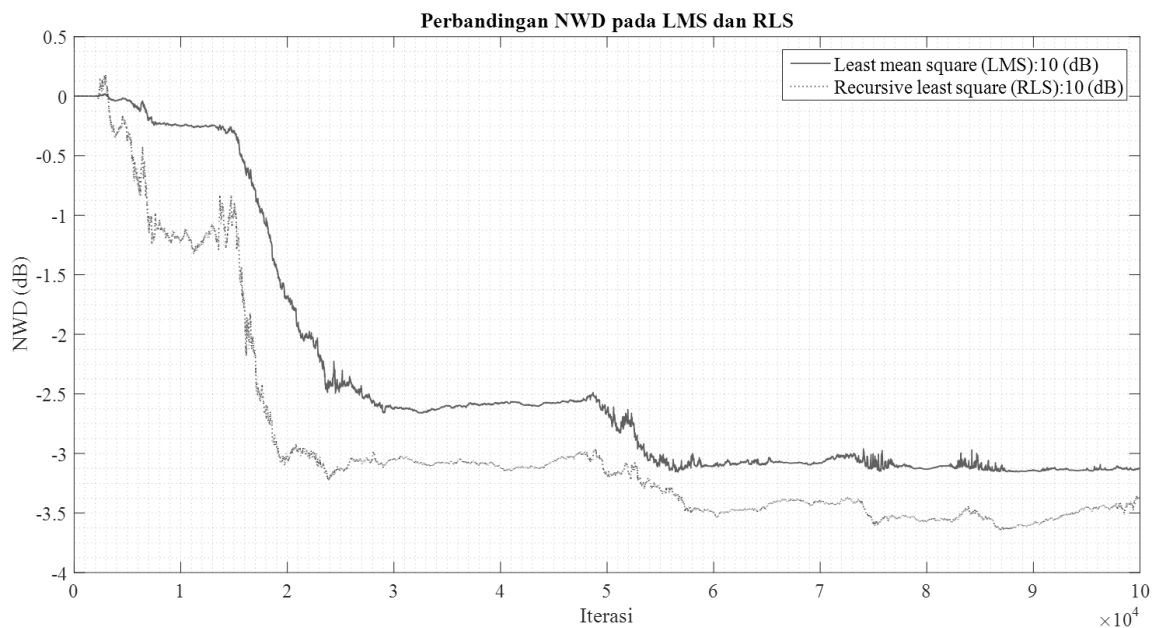
Gambar 11. Perbandingan NWD pada Pengurangan *Additive White Gaussian Noise* Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio RRI

Gambar 10 merupakan perbandingan NWD menggunakan RLS dan LMS di stasiun radio RRI. pengurangan *White Noise* menggunakan RLS dan LMS di stasiun radio Senaputra. Jika pengurangan *White Noise* menggunakan LMS, nilai NWD terbesar pada iterasi terakhir, sedangkan menggunakan RLS nilai NWD terbesar pada iterasi ke 4.463×10^4 .

Pada Gambar 11 terlihat perbandingan NWD pengurangan *Additive White Gaussian Noise* menggunakan RLS dan LMS di stasiun radio RRI. Karakteristik LMS dan RLS hampir sama yaitu nilai NWD terbesar terletak pada iterasi tertentu, hanya saja RLS mampu mempunyai NWD yang lebih besar. Pengurangan *Additive White Gaussian Noise* menggunakan LMS pada stasiun radio RRI mempunyai nilai NWD terbesar ketika mencapai iterasi ke 8.644×10^4 , sedangkan jika menggunakan RLS NWD terbesar ketika iterasi ke 9.818×10^4 .



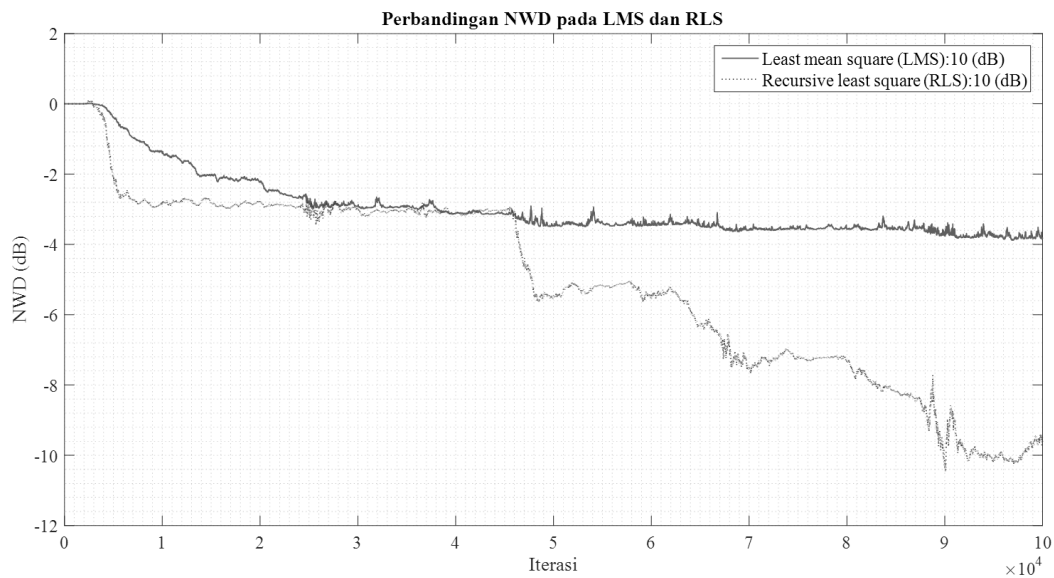
Gambar 12. Perbandingan NWD pada Pengurangan Additive White Gaussian Noise Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio KDS



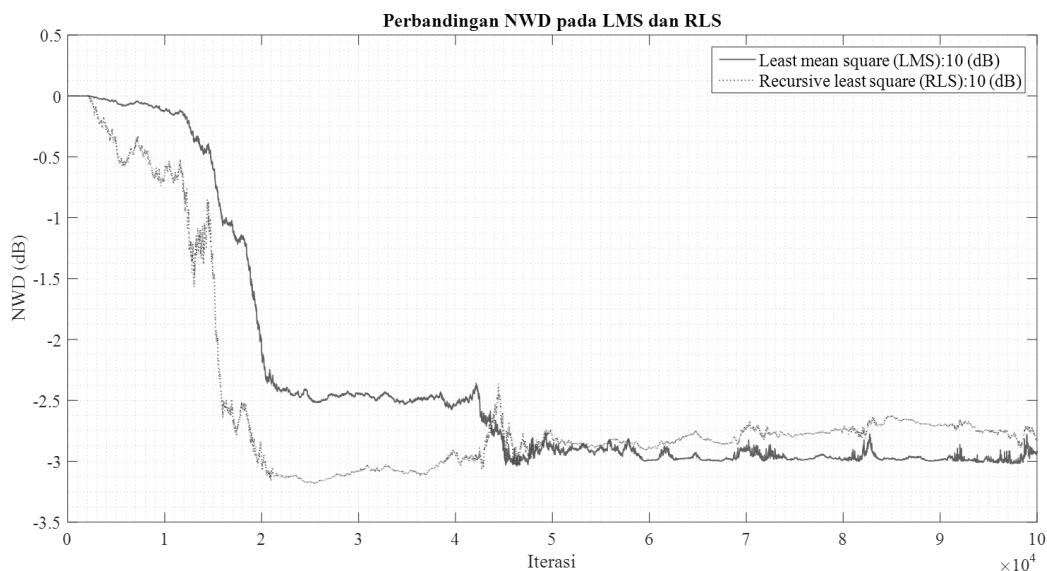
Gambar 13. Perbandingan NWD pada Pengurangan Additive White Gaussian Noise Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio Malangkeswara

Gambar 12 merupakan perbandingan NWD Pada Gambar 13 terlihat perbandingan NWD pengurangan Additive White Gaussian Noise menggunakan RLS dan LMS di stasiun radio KDS. Nilai NWD semakin besar seiring dengan bertambahnya iterasi, namun kurang stabil, sehingga nilai NWD terbesar ketika mencapai iterasi tertentu saja. Pada stasiun radio KDS pengurangan Additive White Gaussian Noise menggunakan LMS mencapai nilai NWD terbesar pada saat iterasi ke 8.834×10^4 . Jika menggunakan RLS nilai NWD terbesar terjadi saat iterasi ke 8.926×10^4 .

Gambar 13 terlihat perbandingan NWD pengurangan Additive White Gaussian Noise menggunakan RLS dan LMS di stasiun radio Malangkeswara. Pengurangan Additive White Gaussian Noise menggunakan LMS pada stasiun radio Malangkeswara mempunyai nilai NWD terbesar ketika mencapai iterasi ke 6.618×10^4 , sedangkan jika menggunakan RLS nilai NWD terbesar ketika iterasi ke 9.758×10^4 .



Gambar 14. Perbandingan NWD pada Pengurangan Additive White Gaussian Noise Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio Oryza

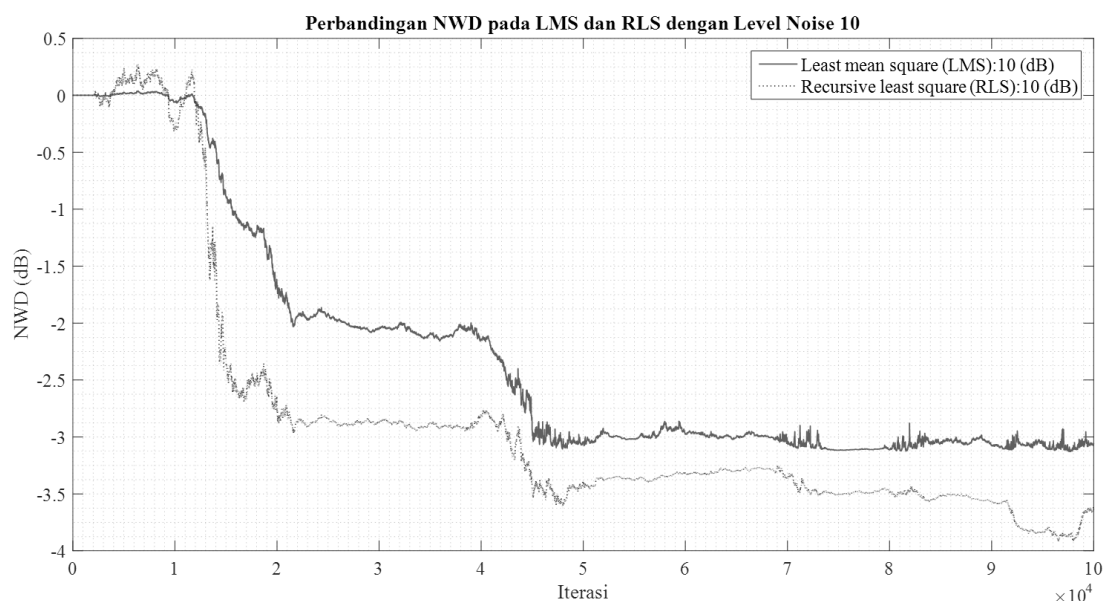


Gambar 15. Perbandingan NWD pada Additive White Gaussian Noise Menggunakan LMS dan RLS di Stasiun Radio Senaputra

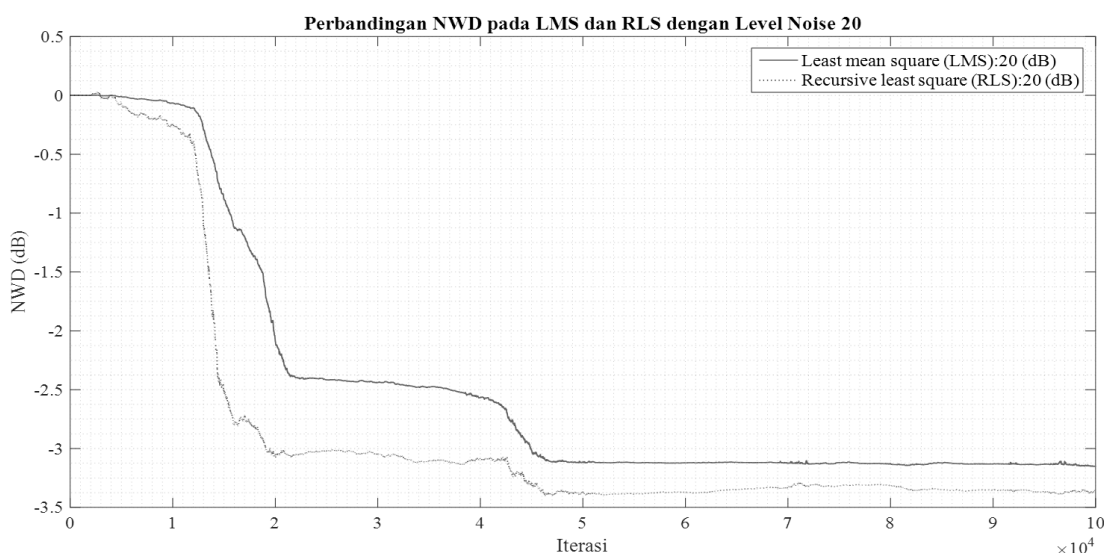
Gambar 14 menunjukkan perbandingan NWD menggunakan RLS dan LMS di stasiun radio pengurangan Additive White Gaussian Noise Senaputra. Dari perbandingan NWD pada pengurangan menggunakan RLS dan LMS di stasiun radio Oryza. White Noise dapat dilihat bahwa dengan menggunakan LMS, nilai NWD yang dihasilkan kecil namun stabil, dimana semakin besar iterasi yang dilakukan maka akan semakin besar pula nilai NWD. Pada pengurangan menggunakan RLS nilai NWD terbesar terjadi saat iterasi ke 9.824×10^4 .

Pada Gambar 15 merupakan perbandingan NWD pengurangan Additive White Gaussian Noise

White Noise menggunakan RLS, nilai NWD yang dihasilkan besar namun tidak stabil, sehingga perlu ditentukan nilai iterasi terbaik sehingga mendapat nilai NWD terbesar dan mendapatkan hasil yang maksimal.



Gambar 16. Perbandingan Konvergensi dengan Level Noise 10 (dB)



Gambar 17. Perbandingan Konvergensi dengan Level Noise 20 (dB)

Pada pengurangan *Additive White Gaussian Noise* dibutuhkan 20000 iterasi, sedangkan untuk algoritma menggunakan LMS mempunyai nilai NWD lebih besar RLS dibutuhkan 16000 iterasi untuk mencapai *steady state error* (ess). Sehingga dapat diketahui bahwa RLS jika dibandingkan pada pengurangan *White Noise*. Karakteristik LMS dan RLS hampir sama yaitu mempunyai nilai NWD terbesar pada titik tertentu. Namun RLS tetap menunjukkan hasil yang lebih maksimal.

Untuk membandingkan kinerja kecepatan konvergensi, NWD dari algoritma LMS dan RLS dengan *noise level* yang berbeda seperti ditunjukkan pada Gambar 16 dan Gambar 17. Algoritma LMS menunjukkan kecepatan konvergensi awal yang lambat. Algoritma LMS,

Radio Oryza dengan pengurangan *noise* menggunakan RLS dengan *white noise* mempunyai kinerja yang paling baik dengan nilai -13.93 dB dan dengan *additive white Gaussian noise* dengan nilai NWD -10.38 dB.

Tabel 1. NWD pada Stasiun Radio

Noise	Nama Stasiun Radio	NWD (dB)	
		RLS	LMS
White Noise	RRI	-3.664	-2.635
	KDS	-2.98	-0.4551
	Malangkueswara	-4.493	-0.3991
	Oryza	-13.93	-1.557
	Senaputra	-3.061	-0.4656
Additive White Gaussian Noise	RRI	-3.615	-2.845
	KDS	-3.323	-3.117
	Malangkueswara	-3.639	-3.14
	Oryza	-10.38	-3.836
	Senaputra	-3.173	-3.009

Begitupun pengurangan *noise* menggunakan LMS dengan *white noise* mempunyai kinerja yang paling baik dengan nilai -1.557 dB dan dengan *additive white Gaussian noise* dengan nilai NWD -3.836 dB. Radio Oryza mempunyai hasil kinerja yang paling bagus karena perangkat pemancar seperti jenis antena, kabel, power dan mixer yang digunakan bagus, selain itu ketinggian pemancar dan lokasi juga mempengaruhi kinerja. Nilai NWD bisa mempunyai nilai positif maupun negatif. Jika nilai $\hat{\theta}$ lebih kecil dari θ maka nilai NWD akan menjadi negatif. Sebaliknya, jika nilai $\hat{\theta}$ lebih besar maka NWD akan bernilai positif. Namun nilai NWD dengan terendah menjadi terbaik karena hal tersebut menunjukkan steady-state yang rendah dengan konvergensi yang cepat.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, LMS dan RLS dapat digunakan untuk mengurangi *noise* pada sinyal radio. Pada algoritma LMS untuk pengurangan *White Noise* ini stabil namun memiliki kecepatan konvergensi yang lambat, sedangkan pada RLS memiliki kestabilan yang kurang baik namun memiliki kecepatan konvergensi yang tinggi. Pada pengurangan *Additive White Gaussian Noise* karakteristik LMS dan RLS hampir sama yaitu mempunyai nilai NWD terbesar pada titik tertentu. Dari pengujian dapat disimpulkan bahwa kinerja RLS lebih baik daripada LMS untuk pengurangan *noise* pada RTL-SDR. Kinerja terbaik yaitu pengurangan *White Noise* menggunakan RLS pada stasiun radio Oryza dengan nilai NWD -13.93 dB.

Daftar Rujukan

- [1] H. Xia, K. Yang, Y. Ma, Y. Wang, and Y. Liu, "Noise Reduction Method for Acoustic Sensor Arrays in Underwater

- Noise," *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 24, pp. 8972–8981, 2016.
- [2] R. I. Sokolov and R. R. Abdullin, "Research of optimal pulse signal reception quality by mean risk minimum criterion with action of Gaussian and non-Gaussian noise," *2016 Int. Conf. Comput. Tech. Inf. Commun. Technol. ICCTICT 2016 - Proc.*, pp. 97–100, 2016.
- [3] I. Landa, M. M. Vélez, A. Arrinda, R. Torre, and M. Fernández, "Impulsive noise characterization and its effect on digital audio quality," *IEEE Int. Symp. Broadband Multimed. Syst. Broadcast. BMSB*, vol. 2015-Augus, pp. 4–6, 2015.
- [4] A. Brown, S. Garg, and J. Montgomery, "Automatic and Efficient Denoising of Bioacoustics Recordings Using MMSE STSA," *IEEE Access*, vol. 6, no. X, pp. 5010–5022, 2017.
- [5] S. S. Neelakanthmath, "Performance Analysis of Least Mean Square and Recursive Least Square Channel Estimation Techniques under Multipath Fading Environmental Conditions," no. 1, pp. 2–6, 2017.
- [6] A. Quadri, M. R. Manesh, and N. Kaabouch, "Noise Cancellation in Cognitive Radio Systems: A Performance Comparison of Evolutionary Algorithms," 2017.
- [7] Y. xing Li and L. Wang, "A novel noise reduction technique for underwater acoustic signals based on complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise, minimum mean square variance criterion and least mean square adaptive filter," *Def. Technol.*, no. xxxx, 2019.
- [8] N. Das, J. Vanthornhout, T. Francart, and A. Bertrand, "Stimulus-aware spatial filtering for single-trial neural response and temporal response function estimation in high-density EEG with applications in auditory research," *Neuroimage*, vol. 204, p. 116211, 2020.
- [9] J. W. Kelly, D. P. Siewiorek, A. Smailagic, and W. Wang, "An adaptive filter for the removal of drifting sinusoidal noise without a reference," *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 20, no. 1, pp. 213–221, 2016.
- [10] M. Sa'adah, D. P. Wulandari, and Y. K. Suprpto, "Noise Cancellation in Gamelan Signal by Using Least Mean Square Based Adaptive Filter," pp. 1–5, 2018.
- [11] A. Ukte and A. Kizilkaya, "Comparing the Performances of Least Mean Squares Based Multirate Adaptive Filters," no. 6, pp. 0–4, 2016.
- [12] F. Y. Farhan, "Improved Hybrid Variable and Fixed Step Size Least Mean Square Adaptive Filter Algorithm with Application to Time Varying System Identification," vol. 0, no. 2, pp. 94–98, 2015.
- [13] R. Nagal, P. Kumar, P. Bansal, and N. Delhi, "Performance Analysis of Least Mean Square Algorithm for Different Step Size Parameters with Different Filter Order and Iterations," pp. 326–331, 2015.
- [14] R. Martinek, J. Vanus, M. Kelnar, P. Bilik, and J. Zidek, "Application of recursive least square algorithm to adaptive channel equalization," *XXI IMEKO World Congr. Measurement Res. Ind.*, 2015.
- [15] F. Arreghini, C. Vitiello, M. Luise, A. Manco, G. Bacci, and M. Falzarano, "An Approach to T&E of Military SDR Platforms and Waveforms: the LANCERS Lab," *J. Signal Process. Syst.*, vol. 83, no. 1, pp. 93–111, 2016.
- [16] M. Mishra, "Software Defined Radio Based Receivers Using RTL - SDR : A Review," *2017 Int. Conf. Recent Innov. Signal Process. Embed. Syst.*, pp. 62–65, 2017.
- [17] M. Saber and H. K. Aroussi, "Raspberry Pi and RTL-SDR for Spectrum Sensing based on FM Real Signals," *2018 6th Int. Conf. Multimed. Comput. Syst.*, pp. 1–6, 2018.