UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengolahan Isyarat untuk Estimasi Laju Napas pada Radar Antena Jamak
Aisya Listiana Boemara, Dr. Iswandi, S.T., M. Eng. ; Ir. Sigit Basuki Wibowo, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Pemantauan tanda vital secara kontinu pada populasi pediatrik di lingkungan klinis, seperti unit perawatan intensif neonatal dan ruang pemulihan pascaoperasi, merupakan prosedur esensial, namun metode konvensional berbasis sensor kontak dapat memicu iritasi kulit dan membatasi kenyamanan pasien. Radar *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW) menawarkan solusi pemantauan non-kontak yang menjanjikan, tetapi masih terdapat celah penelitian mengenai perbandingan performa antara konfigurasi antena tunggal dan kombinasi antena pada estimasi laju pernapasan untuk populasi anak-anak.

Penelitian ini mengimplementasi dan mengevaluasi *pipeline* pemrosesan isyarat berlapis untuk mengekstraksi laju pernapasan dari data radar FMCW mentah, sekaligus membandingkan konfigurasi antena tunggal dengan pasangan antena berbasis *Maximal Ratio Combining* (MRC) berbobot SNR. Penelitian ini mempertimbangkan seluruh konfigurasi antena yang mungkin dari empat kanal penerima, yaitu empat konfigurasi antena tunggal dan enam pasangan kombinasi dua antena, sehingga keseluruhan ruang konfigurasi terevaluasi secara menyeluruh. Metodologi yang digunakan terdiri atas lima tahapan, yaitu transformasi domain jarak melalui *Range-FFT*, penghilangan *clutter* statis, pemilihan *range bin* adaptif berbasis magnitudo (argmax) dengan mekanisme *hysteresis*, ekstraksi fase dengan *phase unwrapping* pada jendela geser, serta estimasi laju napas menggunakan *Bandpass Filter Butterworth* zero-phase dan metode Welch PSD. Evaluasi dilakukan pada dataset publik pediatrik berisi 50 partisipan anak-anak berusia di bawah 13 tahun yang direkam menggunakan radar FMCW 60 GHz Texas Instruments IWR6843AOP, dibandingkan terhadap referensi sensor klinis Nihon Kohden BSM-6501K.

Hasil pengujian pada 10 konfigurasi antena menunjukkan bahwa pasangan Antena 2+3 memberikan performa terbaik dengan *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 3,179 bpm, diikuti oleh pasangan Antena 3+4 (MAE 3,315 bpm). Di antara konfigurasi antena tunggal, Antena 4 memberikan performa terbaik dengan MAE 3,392 bpm, sementara Antena 1 menunjukkan performa terendah dengan MAE 3,681 bpm. Selisih MAE antara pasangan terbaik dan antena tunggal terbaik hanya sebesar 0,213 bpm, dan kombinasi MRC dua antena tidak terbukti meningkatkan akurasi estimasi laju pernapasan secara signifikan dibandingkan konfigurasi antena tunggal pada $\alpha = 0,05$.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa *pipeline* yang diimplementasi mampu mengekstraksi laju pernapasan secara konsisten pada seluruh partisipan, dengan rekomendasi pemilihan antena tunggal untuk aplikasi klinis yang mengutamakan kesederhanaan perangkat keras karena selisih akurasinya tidak signifikan, sekaligus menyediakan infrastruktur pemrosesan laju pernapasan yang dapat mendukung pengembangan estimasi laju detak jantung pada tahap penelitian selanjutnya.

Kata kunci : *vital sign radar*, FMCW, estimasi laju pernapasan, populasi pediatrik, *Maximal Ratio Combining*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengolahan Isyarat untuk Estimasi Laju Napas pada Radar Antena Jamak
Aisya Listiana Boemara, Dr. Iswandi, S.T., M. Eng. ; Ir. Sigit Basuki Wibowo, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Continuous vital sign monitoring in pediatric populations within clinical environments, such as neonatal intensive care units and post-operative recovery rooms, is an essential procedure. However, conventional contact-based sensor methods can provoke skin irritation and limit patient comfort. Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) radar offers a promising non-contact monitoring alternative, yet a research gap persists regarding how single-antenna configurations compare against combined-antenna configurations for respiratory rate estimation in children.

This study aims to design and evaluate a layered signal processing pipeline that extracts respiratory rate from raw FMCW radar data and compares single-antenna configurations with SNR-weighted Maximal Ratio Combining (MRC) antenna pairs. The pipeline consists of 5 steps, such as range-domain transformation through Range-FFT, static clutter removal, adaptive range bin selection based on signal magnitude (argmax) with a hysteresis mechanism, phase extraction with phase unwrapping over a sliding window, and respiratory rate estimation using a zero-phase Butterworth bandpass filter together with the Welch PSD method. The evaluation was performed on a public pediatric dataset of 50 children under 13 years of age, recorded with a 60 GHz Texas Instruments IWR6843AOP FMCW radar and validated against a Nihon Kohden BSM-6501K clinical reference sensor.

Testing results across ten antenna configurations, with 4 single antennas and 6 antenna pairs, show that the Antenna 2+3 pair delivered the best performance, achieving a Mean Absolute Error (MAE) of 3.179 bpm, followed by the Antenna 3+4 pair (MAE 3.315 bpm). For the single-antenna configuration, the best-performing antenna was Antenna 4 with an MAE of 3.392 bpm, while Antenna 1 showed the lowest performance with an MAE of 3.681 bpm. The difference between the best pair and the best single antenna was only 0.213 bpm, and two-antenna MRC combining was not found to significantly improve respiratory rate estimation accuracy over single-antenna configurations at α = 0.05.

The study concludes that the proposed pipeline is capable of consistently extracting respiratory rate across all participants, and recommends a single-antenna configuration for clinical applications that prioritize hardware simplicity given that the accuracy difference is not significant. The pipeline further provides a respiratory rate processing infrastructure that can serve as a foundation for the development of heart rate estimation as a direction for future research beyond the scope of this thesis.

Keywords : vital sign radar, FMCW, breathing rate estimation, pediatric population, Maximal Ratio Combining.