UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Sintesis Suara Bell/Lonceng dengan Metode FM, Aditif dan Wavetabel dengan Pure Data dan MFCC DTW
Lafendra Amalia, Ir. Addin Suwastono, S.T., M.Eng., IPM. , Prof. Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M. Sc., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Industri perangkat lunak produksi musik digital terus berkembang dengan nilai pasar global mencapai USD 525,6 juta pada tahun 2024, mendorong kebutuhan akan metode pembangkitan suara secara algoritmik yang lebih fleksibel dibandingkan pendekatan berbasis rekaman audio statis. Suara bel sering digunakan sebagai tolok ukur dalam penelitian sintesis suara karena memiliki karakteristik akustik yang kompleks, yaitu distribusi frekuensi parsial yang inharmonik, peluruhan amplitudo eksponensial dengan laju berbeda pada setiap parsial, serta perubahan spektrum yang dinamis terhadap waktu. Meskipun berbagai metode sintesis telah dikembangkan, studi komparatif antara sintesis aditif, FM, dan wavetable dalam satu lingkungan implementasi yang seragam serta evaluasi objektif yang bersifat kuantitatif masih terbatas.

Penelitian ini mengimplementasikan dan membandingkan tiga metode sintesis suara bel menggunakan Pure Data berbasis *dataflow*. Analisis sinyal referensi dilakukan menggunakan waveform, FFT, dan STFT untuk mengekstraksi parameter spektral dan temporal sebagai dasar setiap metode. Evaluasi kemiripan dilakukan secara objektif menggunakan kombinasi *Mel-Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) dan *Dynamic Time Warping* (DTW), serta DTW berbasis *time-series* untuk mengevaluasi kemiripan bentuk gelombang.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sintesis *wavetable* memperoleh tingkat kemiripan tertinggi pada kedua metrik yang digunakan pada nilai awal parameter evaluasi. Pada evaluasi MFCC-DTW, sintesis *wavetable* memperoleh *Similarity Score* sebesar 83,90%, diikuti sintesis aditif sebesar 83,87% dan sintesis FM sebesar 80,61%. Hasil yang konsisten juga diperoleh pada evaluasi DTW *time-series*, dengan *Similarity Score* sebesar 99,70% untuk wavetable, 99,52% untuk aditif, dan 99,34% untuk FM. Namun, uji sensitivitas terhadap parameter ekstraksi MFCC menunjukkan bahwa selisih tipis antara *wavetable* dan aditif pada evaluasi MFCC-DTW tidak konsisten di seluruh konfigurasi parameter yang diuji, sehingga kedua metode disimpulkan kompetitif dalam mereproduksi karakteristik suara bel, sedangkan sintesis FM secara konsisten menghasilkan kemiripan terendah pada kedua metrik. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi MFCC-DTW dan DTW *time-series* dapat digunakan sebagai kerangka evaluasi objektif yang bersifat kuantitatif untuk membandingkan kualitas hasil sintesis suara digital secara terukur.

Kata kunci : sintesis suara digital, suara bel, Pure Data, MFCC, DTW

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Sintesis Suara Bell/Lonceng dengan Metode FM, Aditif dan Wavetabel dengan Pure Data dan MFCC DTW
Lafendra Amalia, Ir. Addin Suwastono, S.T., M.Eng., IPM. , Prof. Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M. Sc., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The digital music production software industry continues to grow, with the global market reaching USD 525.6 million in 2024, driving demand for algorithmically flexible sound generation methods over static audio sample playback. Bell sound is widely used as a benchmark in sound synthesis research due to its complex acoustic characteristics, including inharmonic partial frequency distribution, exponential amplitude decay at different rates for each partial, and dynamic spectral changes over time. Despite numerous synthesis methods being developed, comparative studies of additive, FM, and wavetable synthesis within a unified implementation environment alongside quantitative objective evaluation remain limited.

This study implements and compares three bell sound synthesis methods using Pure Data, a dataflow-based programming environment. Reference signal analysis was performed using waveform, FFT, and STFT representations to extract spectral and temporal parameters as the basis for each synthesis method. Similarity evaluation was conducted objectively using a combination of Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) and Dynamic Time Warping (DTW), as well as time-series DTW to evaluate waveform similarity.

The evaluation results show that wavetable synthesis achieved the highest similarity across both evaluation metrics under the initial evaluation parameters. In the MFCC-DTW evaluation, wavetable synthesis obtained a Similarity Score of 83.90%, followed by additive synthesis at 83.87% and FM synthesis at 80.61%. Consistent results were also observed in the time-series DTW evaluation, with Similarity Scores of 99.70% for wavetable synthesis, 99.52% for additive synthesis, and 99.34% for FM synthesis. However, a sensitivity analysis of the MFCC extraction parameters showed that the narrow margin between wavetable and additive synthesis on the MFCC-DTW metric was not consistent across the tested parameter configurations, indicating that the two methods perform competitively in reproducing bell sound characteristics, while FM synthesis consistently yielded the lowest similarity on both metrics. Furthermore, this study demonstrates that the combination of MFCC-DTW and time-series DTW can serve as an objective, quantitative framework for measurably evaluating the similarity of digital sound synthesis results.

Keywords: *digital sound synthesis, bell sound, Pure Data, MFCC, DTW*