

## ABSTRACT

Electroencephalography (EEG) is a technique for measuring electrical activity in the scalp. The EEG detects fluctuations caused by ion currents in brain neurons. Research on EEG is currently growing, especially in the field of motor imagery. The problem encountered in research with multi-class motor imagery EEG is the low *accuracy* produced by the single classifier model. Problems that arise when applied to multi-class data are variance and bias. Therefore, an *ensemble* learning method is needed which is a combination of classifiers, so that it can overcome the problems that exist in the classification of multi-class motor imagery EEG.

The method used in this study is experimental, where the stages begin with preprocessing, feature extraction with wavelet packet decomposition and common spatial patterns, application of feature selection with model-based feature selection and classification using *ensemble* learning which includes *bagging* algorithms with *random forests* and *extra trees*, *boosting* algorithm with *adaptive boosting* and *gradient boosting*, *stacking* and *blending* with a combination of *random forest*, *extra trees*, and KNN. After the classification process, the next step is a statistical *test* with the Friedman *test*, followed by a post hoc *test* with the Dunn-Bonferroni *test*. Based on the classification, the best *ensemble* learning model is the *blending* model with an *average accuracy* of 80.68% and an execution time of 66.7148 seconds.

**Keywords :** BCI, *ensemble* learning, EEG, classification, motor-imagery

## INTISARI

*Electroencephalography* (EEG) adalah teknik untuk mengukur aktivitas listrik di kulit kepala. EEG mendeteksi fluktuasi tegangan yang disebabkan oleh arus ion di neuron otak. Penelitian tentang EEG saat ini semakin berkembang, khususnya di bidang *motor imagery*. Permasalahan yang dihadapi dalam penelitian dengan *multi-class motor imagery* EEG adalah rendahnya akurasi yang dihasilkan dengan model *single classifier*. Masalah yang muncul ketika diterapkan dalam *multi-class* data adalah *variance* dan bias. Oleh karena itu, diperlukan metode *ensemble learning* yang merupakan model gabungan dari *classifier*, sehingga dapat mengatasi permasalahan yang ada pada klasifikasi *multi-class motor imagery* EEG.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental, dimana tahapannya dimulai dengan *preprocessing*, ekstraksi fitur dengan *wavelet packet decomposition* dan *common spatial patterns*, penerapan seleksi fitur dengan *model based feature selection* dan klasifikasi menggunakan *ensemble learning* yang meliputi algoritme *bagging* dengan *random forest* dan *extra trees*, algoritme *boosting* dengan *adaptive boosting* dan *gradient boosting*, *stacking* dan *blending* dengan kombinasi *random forest*, *extra trees*, dan KNN. Setelah proses klasifikasi, langkah selanjutnya adalah uji statistik dengan *friedman test* yang dilanjutkan dengan uji *post hoc* dengan *dunn-bonferroni test*. Berdasarkan hasil klasifikasi, model *ensemble learning* yang paling baik adalah model *blending* dengan rata-rata akurasi sebesar 80,68% dan waktu eksekusi sebesar 66,7148 detik.

**Kata kunci** -- BCI, *ensemble learning*, EEG, klasifikasi, motor-imagery