

## INTISARI

Isyarat *electromyography* (EMG) adalah isyarat listrik hayati yang dibangkitkan oleh otot. Isyarat EMG telah banyak diaplikasikan pada perangkat-perangkat elektromedik diantaranya adalah perangkat *prosthetics*, *exoskeleton robot*, *functional electrical stimulation* dan *tele-operation*. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi peneliti dalam pengembangan perangkat elektromedik berbasis isyarat EMG adalah kelelahan otot. Pada saat terjadi kelelahan otot maka isyarat EMG akan mengalami perubahan amplitudo dan frekuensi sehingga pada pengembangan estimasi sudut melalui isyarat EMG, kelelahan otot ini dapat mempengaruhi hasil estimasi. Pada model estimasi sudut sendi dengan pendekatan *pattern recognition* melalui *machine learning*, model hanya mengenali pola gerakan yang telah diajarkan tetapi tidak mengenali gerakan baru atau belum pernah diajarkan. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan estimasi sudut sendi melalui isyarat EMG dengan pendekatan *non-machine learning* berbasis fitur adaptif sehingga dapat mengkompensasi kelelahan otot.

Pada penelitian ini dua puluh subjek dilibatkan untuk proses pengambilan data isyarat EMG dan posisi sudut sendi. Isyarat EMG disadap pada titik biceps dengan menggunakan elektroda *disposable Ag/AgCl*. Pada proses pengambilan data, partisipan memegang perangkat *exoskeleton* dan dibebani dengan beban 1 sampai dengan 2 kg. Partisipan menggerakkan perangkat *exoskeleton* dengan pola gerakan periodik dan acak yang dilakukan secara bergantian dan kontinyu. Isyarat EMG diproses secara *offline* dan langkah-langkah yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian antara lain: 1) investigasi fitur kawasan waktu yang terkait dengan gerakan fleksi dan ekstensi, 2) pengembangan estimasi sudut dengan pendekatan *non-machine learning* melalui tapis Kalman, 3) investigasi kelelahan otot dengan analisis *continuous wavelet transform*, 4) pengembangan estimasi sudut dengan pendekatan *non-machine learning* disertai kompensasi kelelahan otot, dan 5) pengembangan estimasi sudut dengan pendekatan *pattern recognition* melalui *machine learning* (sebagai pembandingan).

Hasil investigasi fitur kawasan waktu berdasarkan parameter kinerja *root mean square error* (RMSE), *correlation*, *Euclidean distance*, dan *slope* menunjukkan bahwa fitur *zero crossing* (ZC), *sign slope change* (SSC), *myopulse percentage rate* (MYOP) dan *Wilson amplitude* (WAMP) mempunyai kinerja yang baik dalam kaitan dengan gerak fleksi dan ekstensi. Pada pengembangan estimasi sudut melalui isyarat EMG dengan pendekatan *non-machine learning* yang mengkombinasikan fitur ZC dan tapis Kalman menunjukkan bahwa nilai RMSE yang konsisten pada saat terjadi perubahan periode gerak fleksi dan ekstensi. Hasil investigasi kelelahan otot menunjukkan bahwa rerata *mean frequency* (MNF) menurun sebesar 15,69% dan rerata *mean power* (MNP) meningkat sebesar 84,14% dari keadaan belum letih ke letih. Hal ini menunjukkan bahwa kelelahan otot lebih banyak memberikan pengaruh ke amplitudo isyarat EMG. Hasil pengembangan metode estimasi sudut dengan kompensasi kelelahan otot menunjukkan bahwa model yang diusulkan mampu mengkompensasi kelelahan otot dan secara statistik tidak menunjukkan perbedaan RMSE yang *significant* ( $p\text{-value} > 0,05$ ). Penelitian ini membuktikan bahwa estimasi sudut melalui isyarat EMG dari satu kelompok otot *biceps* menghasilkan kinerja yang baik. Hasil pengembangan adaptif fitur menunjukkan bahwa model mampu mengkompensasi pengaruh kelelahan otot pada isyarat EMG. Pada penelitian selanjutnya metode yang diusulkan ini dapat diterapkan pada berbagai macam perangkat medik dengan kendali berdasarkan isyarat EMG.

**Kata kunci:** Isyarat EMG, estimasi sudut sendi, *non-machine learning*, fitur kawasan waktu, tapis *lowpass*, tapis Kalman, kelelahan otot.

## ABSTRACT

Electromyography signal (EMG) is a bioelectric signal which generated from muscle when it performs a contraction or activities. EMG signal had been widely applied in electromedical devices such as prosthetic, exoskeleton robot, functional electrical stimulation (FES) and teleoperation. The essential problem faced by previous studies in developing a system based on EMG signal is muscle fatigue. When the muscle is in the fatigue condition then the amplitude and frequency of the EMG signal will increase and decrease significantly, respectively. In the study of elbow joint angle estimation using EMG signal, this muscle fatigue can influence the estimation. Furthermore, in the estimation based on pattern recognition approach using machine learning, the approach was only recognized the pattern which had been trained but the model did not recognize a new motion which had not been trained. Therefore, the aim of the study is to develop an elbow joint angle estimation using EMG signal based on a *non-machine learning* method with an adaptive feature to compensate the effect of muscle fatigue.

In this study, twenty subjects were involved in the data collection process. EMG signal was collected in the biceps using disposable electrode (Ag/AgCl). In the experiment protocol, the participants held the exoskeleton frame and weighted with one to two kilograms. In the recording state, the participants performed a flexion and extension motion with two types of motion which were periodic and random. The EMG signal was processed offline. The following steps were to answer the aims of the study: 1) to investigate the time domain feature in relationship with flexion and extension motion, 2) to develop an elbow joint angle estimation based on a *non-machine learning* method using zero crossing (ZC) and Kalman filter, 3) to investigate the effect of muscle fatigue on EMG signal using continuous wavelet analysis, 4) to develop an elbow joint angle estimation based on a *non-machine learning* method using an adaptive feature to compensate the effect of muscle fatigue and 5) to develop an elbow joint angle estimation based on pattern recognition and machine learning (used as a comparison study).

The results of time domain feature investigation based on the root mean square error (RMSE), correlation, Euclidean distance (ED), and slope value show that the zero crossing (ZC), sign slope change (SSC), myopulse percentage rate (MYOP) and Wilson amplitude (WAMP) features have good performance in relation to flexion and extension motion. In the development of elbow joint angle estimation using EMG signal using ZC feature and Kalman filter, the RMSE values are consistent when the period of motion is changing. The results of muscle fatigue investigation show that the mean frequency (MNF) value decreases (15.69%) and mean power (MNP) increases 84.14%. Those results indicate that muscle fatigue influences the EMG parameters (frequency and amplitude). The results of elbow joint estimation with muscle fatigue compensation show that the proposed method is able to compensate the effect of muscle fatigue significantly ( $p\text{-value} > 0,05$ ). This study reveals that single muscle group from biceps is able to estimate the elbow joint angle with good performance. The proposed method has demonstrated the effectiveness of the adaptive feature to compensate the effect of muscle fatigue. In the next study, the proposed method will be implemented in the related study such as FES, exoskeleton robot control, and prosthetic devices.

**Keyword:** EMG signal, elbow joint angle estimation, non-machine learning, time domain features, lowpass filter, Kalman filter, muscle fatigue.