

PENGENALAN SANDI MORSE DARI SINYAL ELECTROENCEPHALOGRAM YANG DIREKAM PERANGKAT NEUROSKY MINDWAVE MENGGUNAKAN DYNAMIC TIME WARPING

Ahmad Hayam Brilian¹⁾, Handayani Tjandrasa²⁾, dan Chastine Fatichah³⁾

^{1, 2, 3)}Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: hayam11@mhs.if.its.ac.id¹⁾, handatj@its.ac.id²⁾, chastine@cs.its.ac.id³⁾

ABSTRAK

Komunikasi terjadi antara makhluk hidup yang satu dengan yang lain. Komunikasi yang sering digunakan oleh manusia adalah komunikasi verbal. Namun, beberapa orang yang menderita kecacatan parah tidak mampu berkomunikasi dengan baik. Penderita cacat parah tidak mampu menuliskan kata yang dikehendaki, apalagi untuk berkomunikasi secara lisan karena mengalami gangguan syaraf. Namun beberapa penderita cacat parah masih bisa mengedipkan matanya dengan normal. Sehingga perlu dibangun sebuah metode yang mampu menerjemahkan kedipan mata menjadi kata verbal. Salah satu bentuk pengkodean yang sering dipakai adalah sandi morse. Pemilihan ini disebabkan karena pola-pola yang terdapat pada sandi morse dapat ditirukan dengan menggunakan kedipan mata. Pada pengerjaan penelitian ini, sinyal electrooculogram (EOG) diekstrak dari sinyal electroencephalogram (EEG) yang didapatkan dari perangkat Neurosky Mindwave. Tahap pertama dalam pengerjaan penelitian ini adalah desain sistem penerima data dari perangkat. Data yang diperoleh akan diekstraksi dengan menggunakan filter bandpass. Filter bandpass cenderung memberikan tren dari sinyal EEG karena cukup baik dalam membersihkan noise. Tren sinyal yang didapatkan diasumsikan sebagai sinyal EOG. Sinyal EOG hasil filterisasi akan diperkecil ukuran panjangnya untuk mempercepat proses klasifikasi dengan menggunakan k-nearest neighbor dan dynamic time warping. Dengan menggunakan data yang diambil dari 3 subjek uji, didapatkan nilai rata-rata akurasi sebesar 96,3%.

Kata Kunci: bandpass, EEG, EOG, dynamic time warping.

ABSTRACT

Communication occurs among human and verbal communication is used by human as a form of daily communication. However, there are people who suffered from severe disability and are not be able at doing communication. These people can not write and say the words they want because of the nerve system disruption, but many of them can control their eye movement well. So, there is a chance to build a method having ability to translate the eye blinking into words. One among the popular codification system is morse code. The choice of morse code is based on that the eye blinking can imitate the code pattern on the morse code system. In this research, electrooculogram (EOG) signals is extracted from electroencephalogram signals (EEG) recorded from a Neurosky Mindwave device. First, the system for receiving data from the device must be designed and implemented. Then, the acquired data is extracted using bandpass filter. Bandpass filter tend to give a good signals' trend result. The achieved signals' trend is asumed as EOG signals. The size of acquired EOG signals will be stretched to speed up the classification process using k-nearest neighbor and dynamic time warping. The average of accuracy measurement with the use of dataset used in this research is 96,7%.

Keywords: bandpass, EEG, EOG, dynamic time warping.

I. PENDAHULUAN

Sebagai makhluk sosial, manusia membutuhkan komunikasi dalam melakukan aktifitas sehari-hari. Komunikasi yang dilakukan dapat menggunakan bermacam-macam cara, baik yang langsung maupun tidak langsung.

Komunikasi langsung terjadi jika lebih dari satu subjek bertukar informasi dengan bertatap muka secara langsung. Namun, bagi penderita cacat parah, jenis komunikasi seperti ini tentu menimbulkan permasalahan tersendiri. Penderita cacat parah tidak mampu menuliskan kata yang dikehendaki, apalagi untuk berkomunikasi secara lisan karena mengalami gangguan syaraf yang berhubungan dengan indra yang bersangkutan.

Namun beberapa dari penderita cacat dapat mendedipkan matanya selayaknya orang normal lainnya. Kedipan mata seseorang berpeluang untuk dijkadikan alat komunikasi. oleh karena itu, diperlukan sebuah alat yang berfungsi sebagai pembantu orang-orang dengan keadaan seperti ini untuk berkomunikasi. Salah satunya dengan membangun sebuah sistem otomatis yang memanfaatkan sinyal *Electroencephalogram* (EEG) sebagai media komunikasi [1].

Sinyal EEG yang didapatkan tentu tidak dapat digunakan sebagai media komunikasi secara langsung. Maka dari

itu, sinyal yang didapatkan perlu diubah ke dalam bentuk kode, salah satunya adalah sandi Morse. Sandi Morse adalah metode komunikasi yang bisa memfasilitasi penderita cacat parah. Sandi Morse merepresentasikan karakter alfabet dan numerik ke dalam bentuk titik dan garis.

Dalam penelitian ini, digunakan metode *cut-off bandpass* untuk mengisolasi sinyal EOG (*Electrooculogram*) dari sinyal EEG *Neurosky Mindwave*. Perangkat *Neurosky* memiliki satu elektroda yang terpasang pada posisi fp1 (kening kiri), sehingga kontribusi gerak otot mata sangat dominan pada sinyal EEG yang dihasilkan. Beberapa metode pernah diusulkan sebelumnya salah satunya adalah *Empirical Mode Decomposition* [2]. Sinyal EOG yang telah didapatkan selanjutnya akan diklasifikasikan menggunakan *k-nearest neighbor* dengan kombinasi *dynamic time warping*. *Dynamic time warping* adalah untuk membandingkan sinyal dengan pola dan panjang yang berbeda antara dua sinyal. DTW banyak dan sukses digunakan dalam permasalahan pengenalan suara dan pengenalan gerakan [3]. Namun kekurangan dari kNN yang dikombinasikan dengan DTW adalah waktu eksekusi yang lama. Langkah yang dapat diterapkan untuk mempercepat proses klasifikasi adalah dengan memilih himpunan data latihan (*training*). Salah satunya dengan menggunakan *numerosity reduction* [4]. Sedangkan Srisai menggunakan ASA (*Average Shape Averaging*) untuk membentuk *template* yang dibangun dengan menggunakan *dynamic time warping* [5]. Untuk mempercepat proses klasifikasi, panjang data sinyal akan distandardisasi sebagai ganti metode pemilihan himpunan latihan data.

II. DASAR TEORI

A. *Neurosky Mindwave*

Neurosky Mindwave merupakan perangkat yang dipakai untuk mengambil data pada pengerjaan penelitian ini. Perangkat ini terhubung pada komputer secara nirkabel dengan baterai ukuran AA sebagai sumber daya. Jumlah elektroda yang terpasang pada alat ini adalah 2 buah, satu elektroda dipasang pada posisi kening bagian kiri (*fp1*) dan satu elektroda referensi berbentuk penjepit yang dipasang pada telinga kiri. Penggunaan perangkat ini tidak memerlukan larutan *saline* karena bertipe elektroda kering. *Sampling rate* yang dihasilkan berfrekuensi 512 Hz. Gambar 1 menunjukkan perangkat *Neurosky Mindwave*.

Akuisisi data pada penelitian ini memanfaatkan program *thinkgear* yang disertakan bersama *CD (Compact Disc) Bundle* perangkat. Program *thinkgear* akan bertindak sebagai penyedia data (*middleware*) bagi pengembang yang ingin memanfaatkan data yang dihasilkan perangkat. Komputer dimana program *thinkgear* berjalan selanjutnya akan disebut sebagai penyedia (*server*). Sistem yang membutuhkan data dari penyedia selanjutnya disebut klien. Terdapat beberapa langkah yang harus dijalankan ketika proses pengambilan data berlangsung. Proses tersebut adalah pembuatan saluran koneksi antara penyedia dan klien, inisiasi hubungan antara penyedia-klien dan pengaturan paket data, penerimaan data, dan penutupan saluran koneksi jika sistem yang dibangun mengalami terminasi.

Ketika tahap inisiasi koneksi, klien mengirimkan data ke penyedia dengan format json. *Field* data yang dikirim adalah *appName* dan *appKey*. *AppName* adalah *field* yang berisi nama aplikasi yang bertindak sebagai klien sedangkan *appKey* adalah identitas aplikasi yang tercatat di penyedia yang berisi string dengan panjang 40 karakter. Server *thinkgear* mengirimkan data dalam 2 format, yaitu format binary dan json *string*.

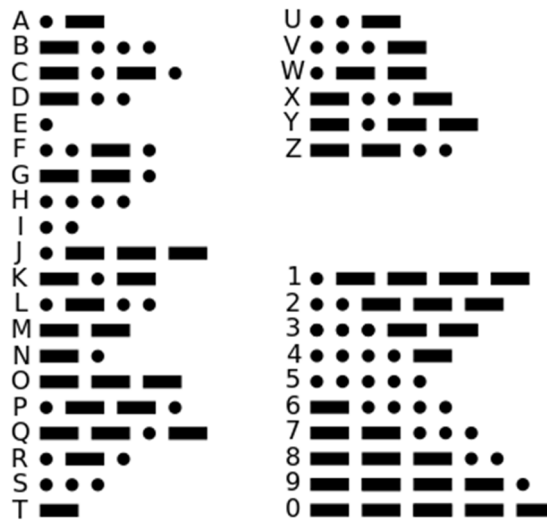
Nilai yang dihasilkan oleh perangkat ini adalah *rawEeg*, *theta*, *lowAlpha*, *highAlpha*, *lowBeta*, *highBeta*, *lowGamma*, *highGamma* dan *blinkStrength*. Selain *rawEeg*, semua nilai ditransmisikan setiap 1 detik, sedangkan nilai *rawEeg* yang dikembalikan setiap detiknya tidak lebih dari 512. Selain itu, nilai *meditation* dan *attention* yang diperoleh dari perhitungan algoritma pribadi pengembang perangkat juga dikembalikan per detiknya. Penggunaan nilai-nilai yang disediakan akan disesuaikan dengan tujuan pemanfaatan perangkat. Dari nilai-nilai yang dikembalikan, hanya nilai *rawEeg* yang digunakan pada proses pengolahan.

B. *Sandi Morse*

Sandi Morse adalah sistem representasi huruf, angka, tanda baca dan sinyal dengan menggunakan kode titik dan garis yang disusun mewakili karakter tertentu pada alfabet dan angka. Sandi Morse diciptakan oleh Samuel F.B. Morse dan Alfred Vail pada tahun 1835 untuk mengirim pesan melalui kabel telegraf. Kegunaan utama dari sistem sandi ini adalah untuk komunikasi jarak jauh atau bila komunikasi secara langsung tidak memungkinkan untuk dipakai. Pemilihan sandi morse sebagai media bantu komunikasi dalam penelitian ini adalah karena kedipan mata bisa menirukan pola yang terdapat pada sandi morse. Gambar 2 menunjukkan pola sandi morse yang digunakan secara umum.



Gambar 1. Neurosky Mindwave



Gambar 2. Daftar alfabet sandi morse

C. Transformasi Fourier

Transformasi *Fourier* dikenal sebagai metode yang handal untuk menganalisis sinyal. Sebuah sinyal kompleks merupakan hasil jumlahan sinyal teratur dalam bentuk sin dan cos. Transformasi fourier mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi fourier untuk sebuah waktu kontinyu $x(t)$ secara matematis ditunjukkan oleh Persamaan (1).

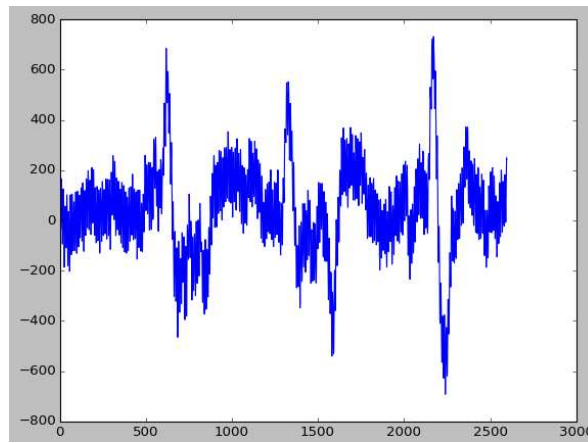
$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt, \tag{1}$$

dimana $\omega \in (-\infty, \infty)$

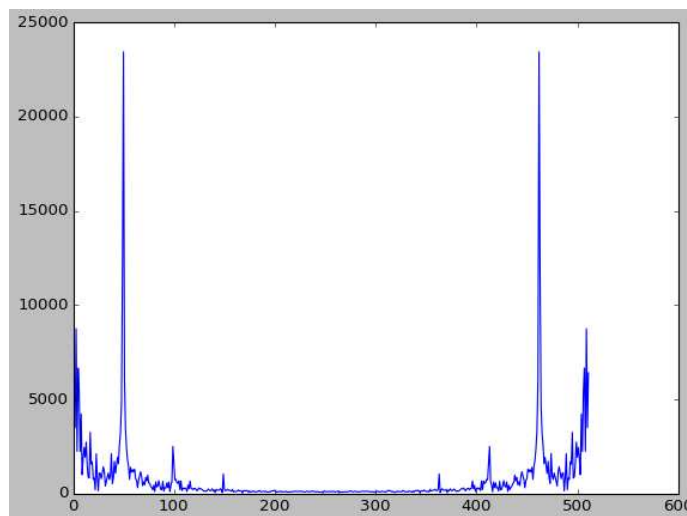
Sementara *Discrete Fourier Transform* dibentuk dengan menggantikan integral berhingga menjadi sederetan jumlahan pada suatu nilai berhingga. Persamaan DFT ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$X(\omega_k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n)e^{-j\omega_k t_n}, \tag{2}$$

dengan $k = 0, 1, N-1$



Gambar 4. Sinyal kompleks



Gambar 3. Persebaran frekuensi sinyal

$X(t_n)$ selanjutnya akan disebut sebagai $x(n)$ merupakan notasi sampel ke- n pada sinyal masukan. $X(\omega_k)$ juga dapat dijumpai sebagai $X(k)$ merupakan sampel spektrum ke- k [5]. Pada penelitian ini transformasi fourier digunakan pada tahap *preprocessing* (isolasi sinyal EOG) dan standardisasi data. Pada tahap *preprocessing* transformasi fourier digunakan untuk menghilangkan (*nullify*) *magnitude* sinyal pada frekuensi tertentu, sedangkan pada tahap standardisasi data transformasi fourier digunakan sebagai dasar pemotongan frekuensi sinyal pada baris angka tertentu.

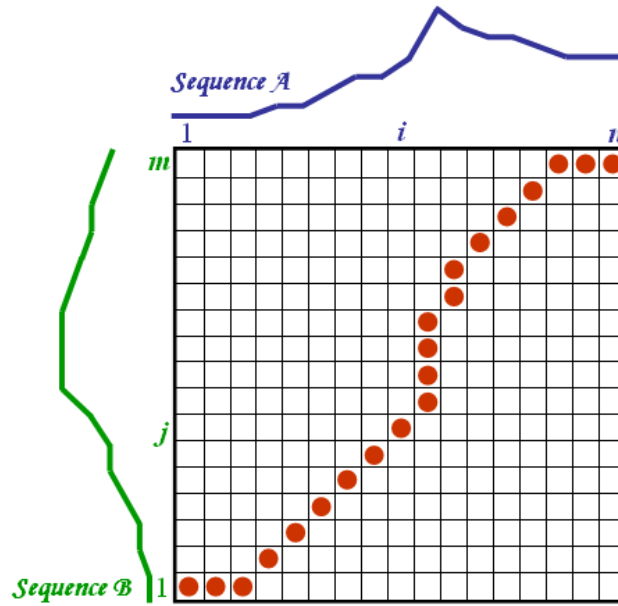
D. Dynamic Time Warping

DTW adalah metode untuk menghitung kesamaan antara dua deret waktu (*time series*) yang berbeda karena waktu dan kecepatan. Contohnya dalam pendeteksian kesamaan pola gerak berjalan. Kecepatan gerak seseorang mungkin berbeda, namun pola gerak dan naik turun lembahnya sama. Cara kerja DTW adalah dengan membandingkan *optimal warping path*. Dimana *optimal warping path* adalah jalur dengan cost terpendek dari selisih perbandingan sinyal-sinyal masukan [7]. Gambar 5 menunjukkan gambaran *optimal warping path* yang dihasilkan dari algoritma DTW.

Terdapat dua data *time series* (barisan angka) Q (dilambangkan pada Persamaan (3)) dan C (dilambangkan pada Persamaan (4)) dengan panjang p dan m secara berurutan, dimana :

$$Q = q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_p \tag{3}$$

$$C = c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_m \tag{4}$$



Gambar 5. Optimal warping path. Ilustrasi diambil dari <http://www.psb.ugent.be/cbd/papers/gentxwarper/DTWalgorithm.htm>. [9]

Untuk menyusun kedua data tersebut menggunakan DTW, dibentuk sebuah matriks dengan ukuran p dan m dimana elemen ke i, j dari matriks tersebut adalah jarak $d(q_i, c_j)$ antara dua titik di q_i dan c_j . Sebuah *warping path* W (titik berwarna merah pada Gambar 5) adalah himpunan elemen matriks terurut yang menunjukkan pemetaan antara Q dan C . Elemen W ke k didefinisikan sebagai $w_k = (i, j)$, sehingga didapatkan :

$$W = w_1, w_2, \dots, w_k, \dots, w_K, \quad (5)$$

$$\max(m, p) \leq K \leq m + p - 1$$

Pada Persamaan (5) ditunjukkan bahwa panjang minimum *warping path* K tidak kurang dari panjang maksimum dari kedua sinyal masukan. Panjang *warping path* K mencapai minimum jika kedua sinyal masukan adalah identik ($Q = C$). *Warping path* yang terbentuk harus memenuhi beberapa kondisi, yaitu 1) Kondisi batas: $w_k = (1,1)$ dan $w_k = (p, m)$ yang mengharuskan *warping path* dimulai dan berakhir secara diagonal pada ujung yang berlawanan. 2) Kontinuitas: Diberikan $w_k = (a, b)$ sehingga $w_{k-1} = (a', b')$ dimana $a - a' \leq 1$ dan $b - b' \leq 1$. 3) Monositas: Diberikan $w_k = (a, b)$ sehingga $w_{k-1} = (a', b')$ dimana $a - a' \geq 1$ dan $b - b' \geq 1$.

Setelah *warping path* memenuhi kondisi yang telah disebutkan, dicari *path* yang meminimalisasi *warping cost*. Penghitungan *warping cost* minimum ditunjukkan pada Persamaan (6):

$$DTW(Q, C) = \min\left(\sum_{k=1}^K w_k\right) \quad (6)$$

Jalur (*path*) dapat ditemukan dengan menggunakan pendekatan *dynamic programming* untuk mengevaluasi rekursi yang mendefinisikan jumlahan jarak $\gamma(i, j)$ sebagai jarak $d(i, j)$ yang terdapat pada elemen matriks acuan dengan penjumlahan jarak elemen-elemen tetangga. Persamaan (7) menunjukkan formulasi penghitungan *cost warping path* untuk elemen ke- i dan j .

$$\gamma(i, j) = d(q_i, c_j) + \min(\gamma(i-1, j-1), \gamma(i-1, j), \gamma(i, j-1)) \quad (7)$$

E. Cut-Off Bandpass

Metode filterisasi bandpass memiliki beberapa varian yaitu pembatasan frekuensi dengan perkalian konstanta *butterworth* orde ke- n [8] dan pembatasan frekuensi secara biner. Dalam penelitian ini digunakan pembatasan frekuensi secara biner karena proses implementasi yang sederhana dan rentang frekuensi yang dihilangkan tidak bersisa. Dalam penggunaan konstanta *butterworth*, representasi domain frekuensi sinyal masukan dikalikan dengan konstanta *butterworth* yang dibangkitkan. Karena

penelitian ini menggunakan pembatasan frekuensi secara biner, sehingga pembahasan penggunaan konstanta *butterworth* sebagai pengali tidak dibahas secara lanjut dalam penelitian ini.

Pembatasan frekuensi terambil pada penelitian ini adalah nol dan sepuluh Hz. Sehingga magnitudo frekuensi yang terletak pada lebih dari sepuluh Hz akan dinolkan namun tidak dipotong. Berbeda dengan pemotongan frekuensi dimana informasi frekuensi tidak diperhatikan namun, posisi panjang barisan menjadi pertimbangan dalam pemotongan. Sehingga sinyal masukan mengalami filterisasi bandpass dan pemotongan secara terurut.

III. PERANCANGAN DAN METODOLOGI PERANGKAT LUNAK

A. Desain Umum Sistem

Data sinyal yang diperoleh dari perangkat Neurosky. Data sinyal yang diperoleh (selanjutnya disebut data masukan) akan mengalami *preprocessing* untuk mendapatkan sinyal EOG dan standardisasi panjang data. Data sinyal EOG terstandar kemudian akan diklasifikasikan menggunakan algoritma *k-nearest neighbor* dengan *dynamic time warping* sebagai pengukur jarak.

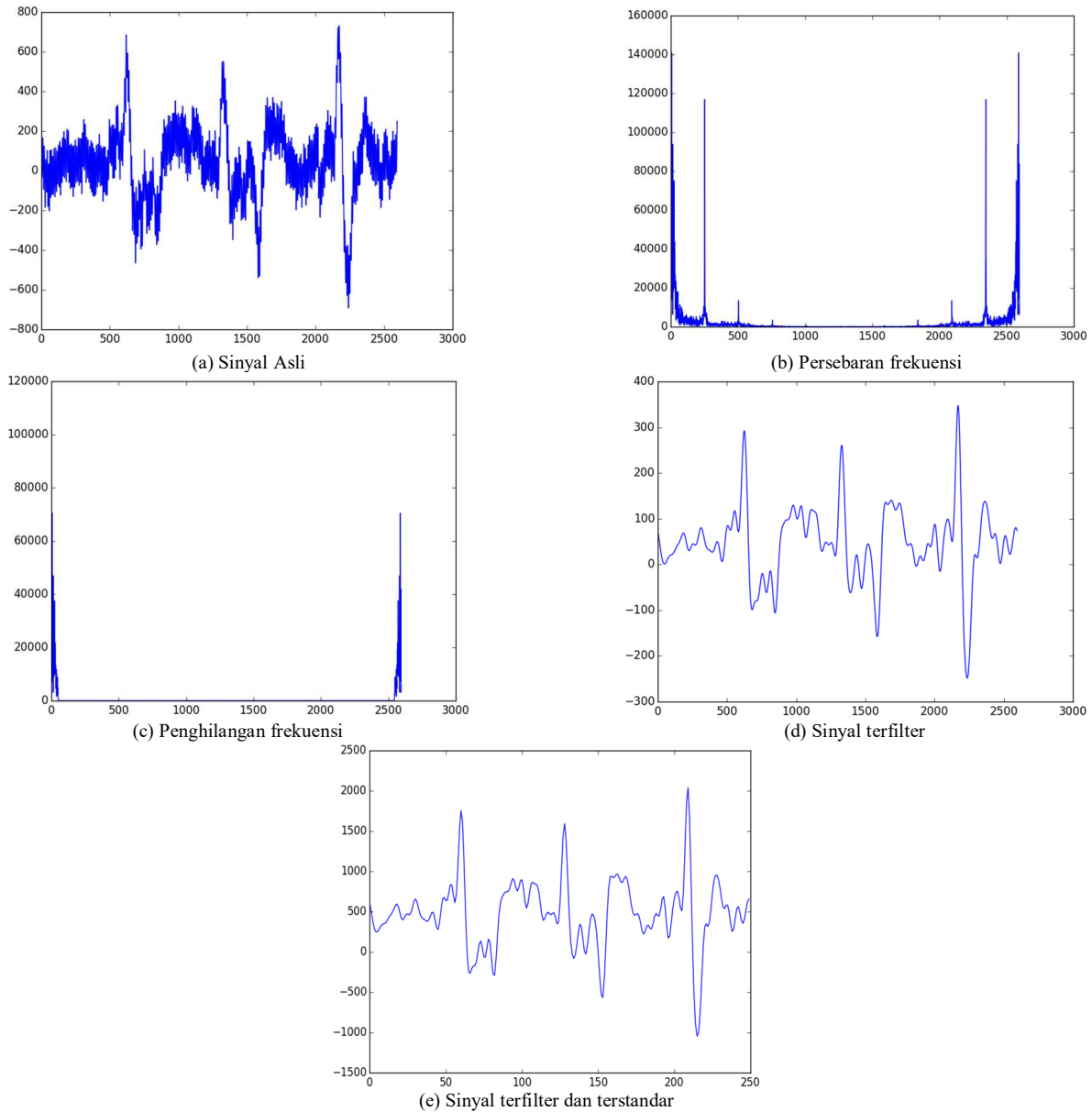
B. Data Masukan

Data masukan sistem yang akan dibangun adalah data sinyal EEG hasil pembacaan perangkat *Neurosky Mindwave*. Data uji yang didapatkan berjumlah 552 terbagi dalam 26 kelas. Panjang data bervariasi sesuai dengan panjang pola sandi morse. Untuk data dengan jumlah satu elemen diperlukan waktu perekaman 3 detik sedangkan untuk data dengan jumlah elemen empat diperlukan waktu perekaman 7 detik. Frekuensi *sampling rate* dari perangkat yang digunakan tidak lebih dari 512 Hz, sehingga untuk data yang berdurasi rekam 3 detik akan dihasilkan minimal 1500 data *rawEeg* dan minimal 3500 untuk data berdurasi rekam 7 detik.

Data sinyal yang diperoleh dipicu oleh kedipan mata subjek pengguna. Responden / subjek pengambilan data diminta untuk menirukan pola titik garis yang terdapat pada sandi morse dengan mengedipkan mata. Pola titik dihasilkan dari kedipan mata singkat tidak lebih dari satu detik sedangkan pola garis dihasilkan dari kedipan mata lebih dari satu detik. Contoh data masukan yang diproses dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3. Jika diuraikan kedalam domain frekuensi (Gambar 4) terlihat bahwa terdapat nilai yang besar diantara pertengahan baris ke nol dan seratus (baris lima puluh). Ini menunjukkan bahwa perangkat yang digunakan tidak disesuaikan dengan frekuensi elektrik yang digunakan di Indonesia. Namun, dengan menggunakan filter *cut-off bandpass* dengan frekuensi terambil 0-10 Hz, hal ini tidak menjadi masalah karena frekuensi 50 Hz akan di-nol-kan, sehingga sinyal hasil filterisasi akan terbebas dari frekuensi 50 Hz.

C. Preprocessing dan Standardisasi Data

Data masukan akan mengalami *preprocessing* untuk isolasi sinyal EOG dan standardisasi ukuran panjang data. Pada penelitian sebelumnya, digunakan metode *cut-off bandpass* untuk mengisolasi EOG dari sinyal EEG dan menggunakan *decision based recognition* untuk mengenali pola sandi morse. Pada penelitian ini, sinyal EOG diisolasi menggunakan metode *cut-off bandpass*. Metode ini bekerja dengan cara mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Besar *magnitude* pada frekuensi tertentu di-nolkan (penghilangan frekuensi tertentu), sehingga tersisa frekuensi yang diinginkan. Pada penelitian ini, rentang frekuensi yang disertakan adalah 0-10 Hz. Sinyal EOG yang berhasil diekstraksi masih memiliki panjang yang berbeda antara satu dengan yang lain. Oleh karena itu, perlu dilakukan standardisasi panjang sinyal yang diperoleh. Standardisasi (pemotongan) panjang sinyal dilakukan dengan cara pemotongan pada domain frekuensi sinyal masukan. Hasil keluaran dari fungsi transformasi fourier adalah representasi besar magnitudo untuk masing-masing frekuensi dengan ukuran sama dengan ukuran data input. Hasil keluaran fungsi transformasi fourier inilah yang akan dipotong. Pemotongan dilakukan pada baris angka ke 250. Barisan frekuensi yang telah dipotong selanjutnya akan diinverskan kembali untuk mendapatkan representasi sinyal dalam domain waktu. Visualisasi aliran data yang diproses pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir data *preprocessing* dan standarisasi

D. Data Keluaran

Data sinyal EOG dengan panjang terstandar selanjutnya akan diklasifikasikan dengan menggunakan algoritma *k*-nearest neighbor dan dynamic time warping. Alasan penggunaan *k*-nearest neighbor adalah karena *warping path* atau *cost* yang dihasilkan dari *dynamic time warping* bukan fitur yang merepresentasikan suatu data masukan, melainkan ukuran perbedaan (*distance*) dari dua data yang diukur. Pemisahan himpunan data uji dan data latih menggunakan *5-fold crossvalidation*. Parameter penghitungan performa metode yang diusulkan adalah tingkat kebenaran pengenalan (akurasi) dan *running time*. Penghitungan kebenaran pengenalan (akurasi) menggunakan Persamaan (8).

$$Akurasi = \frac{tp}{n} \tag{8}$$

IV. IMPELEMENTASI

Perangkat lunak dibangun pada perangkat keras berprocessor Intel® Pentium® 2410M 2.30GHz dan RAM 4 GB. Perangkat lunak dikembangkan dengan bahasa pemrograman *Python* bersama paket-paket pustaka *numpy*,

matplotlib, sklearn dan *mlpy*.

Sistem menerima data berupa barisan bilangan desimal yang berasal dari perangkat secara langsung atau berkas yang telah disimpan sebelumnya. Sinyal EOG akan diisolasi dan distandardisasi panjangnya menjadi 250. Terdapat beberapa skenario yang disediakan yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *dynamic time warping* dan penggunaan *cut-off bandpass* dalam proses pengenalan.

V. UJI COBA

Terdapat enam skenario uji coba dalam penelitian ini. Skenario tersebut adalah: penggunaan pengklasifikasi kNN pada data tanpa *preprocessing* dan distandardisasi panjang, penggunaan pengklasifikasi kNN dan DTW pada data tanpa *preprocessing* dan distandardisasi panjang, penggunaan pengklasifikasi kNN pada data terstandar, penggunaan pengklasifikasi kNN pada data terstandar dan terproses, penggunaan pengklasifikasi kNN dan DTW pada data terstandar, serta penggunaan pengklasifikasi kNN dan DTW pada data terstandar dan terproses. Data terstandar adalah data yang mengalami distandardisasi panjang, dan data terproses adalah data yang telah mengalami *preprocessing cut-off bandpass*. Tujuan dari uji coba ini adalah mengetahui pengaruh penggunaan DTW dan *preprocessing* serta distandardisasi data pada proses pengenalan.

Berdasarkan hasil uji coba didapatkan bahwa penggunaan *dynamic time warping* berpengaruh besar terhadap hasil klasifikasi. Hal ini dibuktikan dengan nilai akurasi yang ditunjukkan pada skenario 2, 3, dan 4. Sedangkan pengaruh penggunaan filter *cut-off bandpass* berpengaruh jika proses pengklasifikasian tidak menyertakan DTW, terlihat pada hasil uji coba skenario 3 dan 4. Proses distandardisasi data berpengaruh besar terhadap lama waktu pengenalan. Penggunaan data terstandar pada skenario 3, 4, 5 dan 6 memiliki *running time* lebih kecil jika dibandingkan dengan skenario 1 dan 2 yang menggunakan data asli.

Meskipun skenario dengan nilai akurasi terbaik didapatkan pada skenario 2, namun waktu pengenalan yang dihabiskan adalah 10,1 detik. Hal ini sangat jauh jika dibandingkan dengan skenario 6 yang memiliki waktu pengenalan yang singkat namun memiliki nilai akurasi yang tidak berbeda jauh jika dibandingkan dengan skenario 2. Bila kedua parameter ini dibandingkan, maka metode terbaik terletak pada skenario 6. Ringkasan hasil uji coba pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel I.

VI. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa proses distandardisasi (*stretching*) data berpengaruh dalam mempercepat proses klasifikasi dengan pengurangan waktu sebesar 90%. Penggunaan *dynamic time warping* dalam proses klasifikasi menggunakan *k-nearest neighbor* meningkatkan ketepatan pengenalan pola pada sistem yang dibangun. Meskipun memiliki pengaruh terhadap skenario pengenalan pola menggunakan *k-nearest neighbor* tanpa DTW, proses ekstraksi sinyal EOG menggunakan *cut-off bandpass* tidak berpengaruh besar jika sistem dikombinasikan dengan DTW.

TABEL I
RINGKASAN HASIL UJI COBA

Skenario	Akurasi (%)	Running Time (detik)
kNN Data asli	41,85	0,50
kNN + DTW Data asli	96,56	10,10
kNN Data terstandar	48,73	0,01
kNN Data terstandar terproses	58,72	0,02
kNN + Dtw Data terstandar	95,79	0,27
kNN + Dtw Data terstandar terproses	96,37	0,23

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, serta Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C.-M. Wu, C.-H. Luo, S.-W. Lin, S.-C. Chen, M.-C. Hsieh, C.-T. Chao and C.-C. Tai, "Morse Code Recognition System with Adaptive Fuzzy Algorithm for the Disabled," *Journal of Medical and Biological Engineering*, 2002.
- [2] M. Abo-Zahhad, S. M. Ahmed and S. N. Abbas, "A Novel Biometric Approach for Human Identification and Verification Using Eye Blinking Signal," *Signal Processing Letters*, 2015.
- [3] K. Adistambha, C. H. Ritz and I. S. Burnett, "Motion Classification using Dynamic Time Warping," 2008.
- [4] X. Xi, E. Keogh, C. Shelton, L. Wei and C. A. Ratanamahatana, "Fast Time Series Classification using Numerosity Reduction," in *Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning*, Pittsburg, 2006.
- [5] D. Srisai and C. A. Ratanamahatana, "Efficient Time Series Classification under Template Matching using Time Warping Alignment," in *Fourth International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology*, 2009.
- [6] M. H. Tri Budi Santoso, "Transformasi Fourier Diskrit," Surabaya.
- [7] Anonim, "Landasan Teori," 1 2012. [Online]. Available: <http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdok/Bab2/2012-1-00533-mtif%202.pdf>. [Accessed 12 Juli 2015].
- [8] S. S. Gupta, S. Soman, P. G. Raj, R. Prakash, S. Sailaja and R. Borgohain, "Detecting Eye Movements in EEG for Controlling," in *CyberneticsCom*, 2012.
- [9] Anonim, "DTW Algorithm," [Online]. Available: <http://www.psb.ugent.be/cbd/papers/gentxwarper/DTWalgorithm.htm>. [Accessed 12 Juni 2015].