

IDENTIFIKASI PENYAKIT PARKINSON DENGAN METODE DISCRETE COSINE TRANSFORM (DCT) DAN LEARNING VECTOR QUANTIZATION (LVQ) BERDASARKAN VGRF

IDENTIFICATION OF PARKINSON DISEASE USING DISCRETE COSINE TRANSFORM (DCT) AND LEARNING VECTOR QUANTIZATION (LVQ) METHODS BASED ON VGRF

Iwa Swandana¹, Jangkung Raharjo², Irma Safitri³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹swandanaiwa@students.telkomuniversity.ac.id

²jangkungraharjo@telkomuniversity.ac.id

³irmasaf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Penyakit Parkinson merupakan salah satu penyakit degenerasi yang sulit untuk didiagnosis. Sampai saat ini, masih banyak penderita Parkinson yang terlambat ditangani dikarenakan sulitnya untuk mendeteksi gejala awal yang diderita oleh penderita Parkinson. Penyakit Parkinson timbul dikarenakan adanya kerusakan pada sel substantia nigra. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan cara mengolah dan mengklasifikasi data rekaman menggunakan Vertical Ground Reaction Force (VGRF) dari database Physiobank. Dengan mengklasifikasi data sinyal rekaman VGRF berjumlah 16 sensor yang akan dipasang pada kaki pasien saat berjalan. Metode penelitian ini menggunakan Discrete Cosine Transform (DCT) untuk ekstraksi ciri dan Learning Vector Quantization (LVQ) untuk klasifikasi. Pemrosesan komputasi penelitian ini dilakukan menggunakan Python. Penulis berhasil memperoleh tingkat akurasi terbaik berdasarkan 428 data, yang terdiri dari 300 data latih dan 128 data uji menghasilkan akurasi dengan 2 nilai yang sama sebesar 91,41% dengan parameter klasifikasi yaitu Learn Rate sebesar 0,1 Epoch sebesar 50 Codebooks sebesar 5 dengan waktu komputasi 91.59 detik dan untuk nilai yang kedua Learn Rate sebesar 0,1 Epoch sebesar 50 Codebooks sebesar 7 dengan waktu komputasi 47.77 detik. Dengan adanya sistem ini keluaran yang diharapkan dapat memberikan penanganan lebih dini terhadap penderita Parkinson serta mengurangi jumlah penderita penyakit Parkinson karena dengan terlambatnya diagnosis dapat menyebabkan gejala yang diterima oleh penderita Parkinson berkembang lebih berbahaya. **Kata Kunci:** *Parkinson, Vertical Ground Force Reaction, Discrete Cosine Transform, Learning Vector Quantization*

Abstract

*Parkinsons disease is one of degenerated disease that difficult to be diagnosis. Until now, there is a lot of Parkinson sufferers that who are late being handled because of the difficulty to detect the early symptoms suffered by Parkinsons sufferers. This Parkinsons disease emerge because there is a damage in the substantia nigra cell. Therefore, this research was conducted by processing and classifying the recorded data using the Vertical Ground Reaction Force (VGRF) from the Physiobank database. By classifying records data signal VGRF in total of 16 sensor which is will be mounted on the patients feet when walking. This research methods using Discrete Cosine Transform (DCT) for the feature extraction and Learning Vector Quantization (LVQ) for the classification. The computing process of this research uses the Python programs. The writers managed to get the best results based on 428 data, namely 300 data for the data training and 128 data for the data testing generated the same 2 values of 91.41% with classification parameters, that is Learn Rate of 0.1 Epoch by 50 Codebooks for 5 with a computing time of 91.59 seconds and for the second value, Learn Rate of 0.1 Epoch by 50 Codebooks for 7 with a computing time of 47.77 seconds. With the presence of this system the outcome is expected to provide early treatment for Parkinsons sufferers and reduce the number of Parkinsons sufferers because due to late of diagnosis can cause the symptoms sufferes develop even more dangerous. **Keyword:** *Parkinson, Vertical Ground Force Reaction, Discrete Cosine Transform, Learning Vector Quantization**

1. Pendahuluan

Penyakit Parkinson adalah suatu penyakit yang menyerang sel saraf secara bertahap pada bagian otak tengah yang mana bagian mengatur pergerakan tubuh. Gejala dari penyakit Parkinson ini adalah badan merasa lemah atau terasa lebih kaku pada sebagian tubuh, serta tremor atau gemeteran halus pada salah satu tangan. Penyakit ini memberikan pengaruh pada bagian kecil otak tengah bernama substantia nigra yang berfungsi sebagai pengirim pesan ke berbagai saraf di tulang belakang yang mana tulang belakang memiliki kendali otot-otot pada tubuh^[1].

Penderita penyakit Parkinson sangat beresiko apabila tidak ditangani dengan seksama, oleh sebab itu penelitian ini mengamati pola berjalan dari seseorang yang mengalami perlambatan yang diakibatkan oleh saraf berdasarkan data rekaman sinyal Vertical Ground Reaction Force (VGRF). Salah satunya adalah dengan pemanfaatan teknologi informasi. Saat ini teknologi informasi juga telah berkembang di dunia medis.

Selain itu penelitian sudah pernah dilakukan oleh Gusty Aditya Arrazaq yang berjudul “Diagnosis Penyakit Parkinson Melalui Analisis Pola Berjalan Berdasarkan VGRF Menggunakan Wavelet Dan Support Vector Machine” pada tahun 2017 memperoleh akurasi sebesar 81,29% dengan waktu *central processing unit* (CPU) selama 80,87 detik^[2]. dan penelitian selanjutnya oleh saudara Agung Setyo Budi dengan judul “Deteksi Penyakit Parkinson Berdasarkan Klasifikasi Usia Dengan Menggunakan Metode Wavelet Packet Dekomposition (WPD) dan Knearest Neighbor (KNN) Berbasis Android” dengan akurasi sebesar 80% dan waktu *central processing unit* selama 34 menit^[3].

Maka pada penelitian kali ini penulis ingin membandingkan hasil yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya dari saudara Gusty dan Agung, sedangkan pada penelitian ini penulis menggunakan Discrete Cosine Transform (DCT) sebagai ekstraksi ciri dan klasifikasi menggunakan Learning Vector Quantization (LVQ) karena LVQ memiliki kemampuan untuk memberikan pelatihan terhadap lapisan-lapisan kompetitif sehingga secara otomatis dapat mengklasifikasikan vektor input yang diberikan. Diharapkan dalam penelitian ini penulis dapat membandingkan metode manakah yang lebih baik.

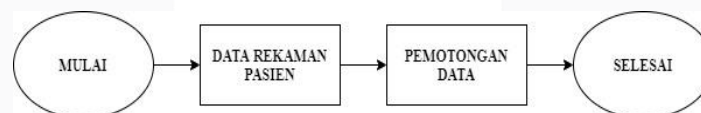
2. Ekstraksi Discrete Cosine Transform (DCT)

2.1. Proses Awal dan Ekstraksi Ciri

Pada proses awal penelitian ini, analisis pola penyakit parkinson dengan bagaimana bentuk seseorang berjalan, karena dapat menunjukkan sumber masalah dari otot, saraf, atau tulang^[4]. dianalisis melalui pola berjalan pasien menggunakan rekaman VGRF yang dipasang pada kaki kanan dan kaki kiri yang mana diterima oleh 16 sensor pada VGRF tersebut dengan menghitung tekanan (dalam newton). Analisis pada rekaman VGRF dalam bentuk sinyal dimana sumber data berasal dari database Physiobank. Rekaman VGRF adalah sinyal stasioner, sehingga status kesehatan dari pasien memiliki hasil yang tidak teratur dalam skala waktu. Ekstraksi ciri berfungsi untuk menajamkan perbedaan-perbedaan pola sehingga akan sangat memudahkan dalam pemisahan kategori khas pada proses klasifikasi, penelitian ini dengan menggunakan informasi penting dari data citra diwakili dengan nilai statistik^[5].

2.2. Preprocessing

Pada tahap pre-processing ini, menyiapkan citra data baik data pelatihan maupun data pengujian yang akan diolah pada sistem. Pada data pasien, pasien memiliki rentang jarak waktu pengambilan data yang berbeda-beda, sebagai contoh pasien 1 diambil datanya selama 1 menit, sedangkan pasien 2 datanya diambil selama 2 menit. Untuk melakukan klasifikasi data diperlukan panjang atau total data yang sama, oleh karena itu pre-processing ini bertujuan untuk menstandarkan data dengan menyamakan jumlah baris data agar semua data memiliki kesamaan baris.



Gambar 2. 1 Diagram Preprocessing

2.3. Discrete Cosine Transform (DCT)

Discrete Cosine Transform (DCT) biasa digunakan untuk mengubah sebuah sinyal menjadi komponen frekuensi dasarnya dengan memperhitungkan nilai riil dari hasil transformasinya dan cenderung memiliki pendekatan yang cukup baik terhadap sinyal asli. DCT juga dapat diperoleh dari produk vektor (masukan) dan $n \times n$ matriks ortogonal yang setiap barisnya merupakan basis vektor^[6].

Discrete Cosine Transform dari sederet N bilangan real $y(k,l), m=0, \dots, M$, dirumuskan sebagai berikut^[8]:

$$y(k,l) = w(k) \sum_{m=0}^M u(m,l) \cos \left[\frac{(2m+1)(k-1)\pi}{2M} \right] \quad (2.1)$$

Keterangan:

k dan M = jumlah baris

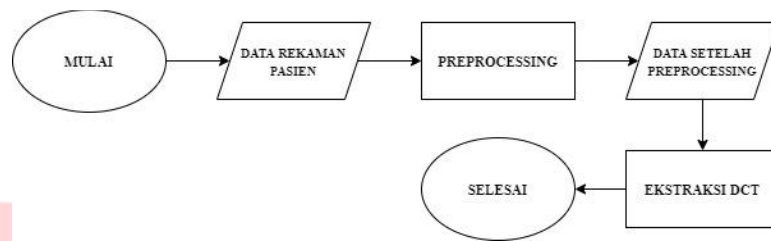
l = jumlah kolom

$u(m,l)$ = isi dari matriks $u(m,l)$

2.4. Alur Ekstraksi Ciri

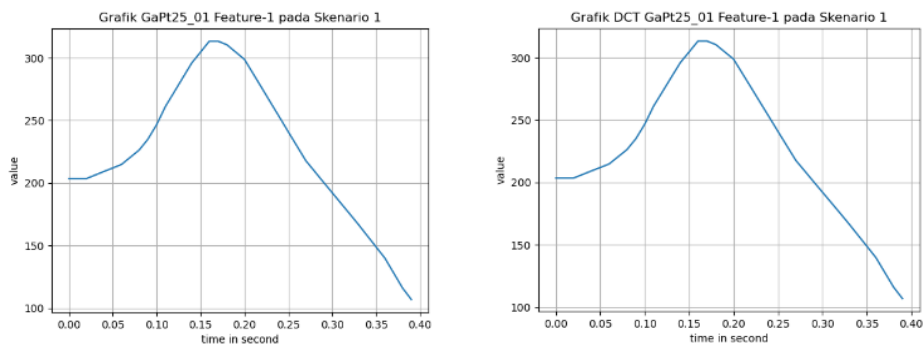
Untuk mendapatkan ciri asli dari data yang dibutuhkan maka perlu melakukan proses ekstraksi menggunakan metode DCT. Proses ini bertujuan untuk mengambil informasi-informasi penting dari sebuah data. Proses ini

bertujuan menghilangkan noise yang terdapat pada sinyal VGRF namun tidak menghilangkan informasi penting yang dibutuhkan untuk langkah selanjutnya.

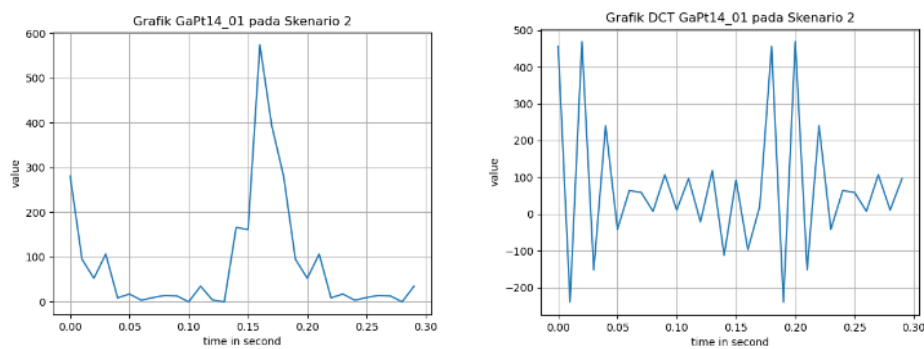


Gambar 2. 2 Blok Diagram Ekstraksi Ciri

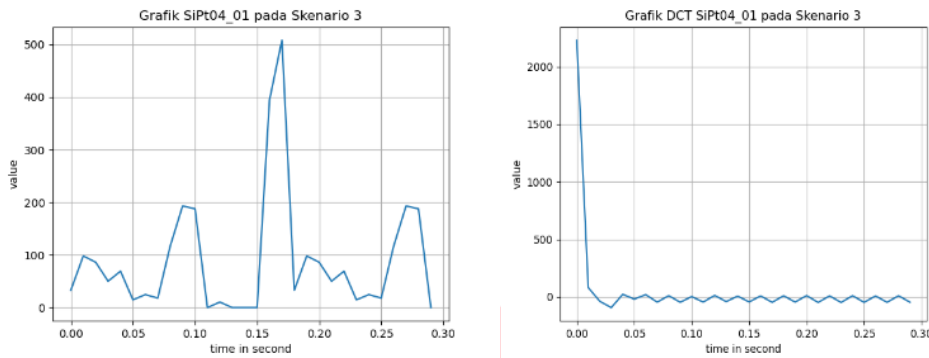
Discrete Cosine Transform (DCT) biasa digunakan untuk mengubah sinyal menjadi komponen frekuensi dasarnya. Pada tahap ini mengubah input data ke dalam format tertentu untuk memetakan nilai-nilai input data ke satu set koefisien. Kemudian dilakukan pembersihan koefisien DCT yang tidak penting untuk pembentukan nilai-nilai data baru dimana frekuensi yang tinggi akan diseleksi untuk dihilangkan. Pengujian dari skenario berdasarkan dari ekstraksi ciri yang dibedakan menjadi 3 bagian dimana tiap bagian memiliki pola DCT yang berbeda-beda. Pada gambar dibawah ini dapat dilihat grafik ekstraksi ciri dari pasien yang diambil secara acak menggunakan skenario yang berbeda.



Gambar 2. 3 Grafik Pasien GaPt25_01 Sebelum dan Sesudah DCT dengan Skenario 1



Gambar 2. 4 Grafik Pasien GaPt14_01 Sebelum dan Sesudah DCT dengan Skenario 2

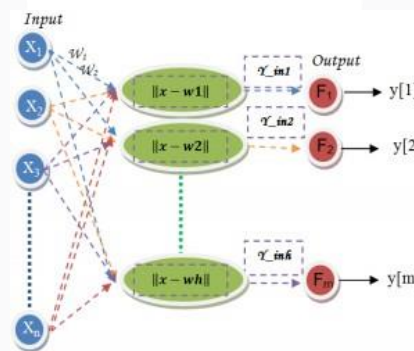


Gambar 2. 5 Grafik Pasien SiPt04_01 Sebelum dan Sesudah DCT dengan Skenario 3

3. Klasifikasi Learning Vector Quantization (LVQ)

3.1. Learning Vector Quantization (LVQ)

Learning Vector Quantization (LVQ) telah banyak dimanfaatkan untuk pengenalan pola baik berupa citra, suara, dan lain-lain. Jaringan LVQ sering pula digunakan untuk ekstraksi ciri (feature) pada proses awal pengenalan pola. Metode LVQ termasuk dengan Supervised Learning dalam penentuan bobot / model pembelajarannya, dimana pada metode LVQ ditentukan hasil seperti apa selama proses pembelajaran. LVQ adalah sebuah metode pelatihan yang memiliki sistem belajar secara otomatis pada lapisan kompetitif yang terawasi untuk mengklasifikasikan vektor-vektor input ke dalam kelas-kelas tertentu^[7], kelas yang dihasilkan tergantung bagaimana jarak antara vektor input. Vektor input akan dikelompokkan ke dalam kelompok yang sama apabila beberapa vektor input memiliki rentang jarak yang sangat berdekatan. Algoritma yang digunakan pada LVQ yaitu klasifikasi prototype supervised learning versi dari algoritma Kohonen Self Organizing Map (SOM)^[8]. Keunggulan dari LVQ yaitu memiliki kemampuan untuk memberikan pelatihan terhadap lapisan-lapisan kompetitif sehingga secara otomatis dapat mengklasifikasikan vektor input yang diberikan^[9]. LVQ terdiri dari dua lapisan, yaitu masukan untuk mengklasifikasikannya kedalam suatu kelas. Pemodelan LVQ dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Arsitektur Jaringan LVQ [10]

LVQ akan melakukan perhitungan kedekatan berdasarkan jarak Euclidean minimum antara suatu vektor masukan (X_n) dengan beberapa vektor bobot lapisan kompetitif (W_1, W_2, W_m). Adapun jarak Euclidean dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Euclidean\ Distance = d = \sqrt{\sum (X_n - W_n)^2} \tag{2.8}$$

Dimana d merupakan fungsi Euclidean Distance yang berarti jarak yang akan digunakan sebagai nilai minimum, kemudian n adalah banyaknya data yang digunakan, X_n adalah nilai citra input, W_n adalah nilai bobot.

Setelah mendapat nilai jarak minimum, maka nilai tersebut akan ditetapkan menjadi 1 yang menunjukkan bahwa vektor masukan tersebut kedalam kelas yang sesuai (kelas target), sedangkan nilai jarak lainnya akan ditetapkan menjadi 0. Tahap selanjutnya memasuki lapisan linier, nilai jarak minimum yang didapatkan tadi akan merubah nilai vektor bobot kelas target. Dengan learning rate yang ditentukan, perubahan nilai bobot baru dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$W_m' = W_m + (X_n - W_m) \tag{2.9}$$

Dimana W_m' adalah nilai bobot akhir atau bisa disebut juga dengan bobot baru, W_m adalah nilai bobot awal atau bisa disebut dengan bobot lama, merupakan nilai learning rate, X_n adalah nilai citra input.

Pada dasarnya perhitungan diatas akan dilakukan terus menerus sampai nilai bobot tidak berubah jika ada input baru. Untuk menghemat penggunaan memori, dalam melakukan perhitungan LVQ dapat ditentukan maksimal pengulangan (epoch). Adapun algoritma dari LVQ adalah sebagai berikut:

1. Inisiasi bobot awal (W) dan parameter LVQ
2. Masukkan data input (x) dan kelas target (T)
3. Tetapkan kondisi awal, $epoch = 0$
4. Kerjakan jika ($epoch < max\ epoch$) dan (min).

- a) $Epoch = epoch + 1$
- b) Tentukan J sedemikian hingga $\|X_i - W_j\|$ minimal menggunakan perhitungan rumus jarak *Euclidean*

c) Perbaiki W_j dengan ketentuan sebagai berikut:
 Jika $T = C_j$ maka

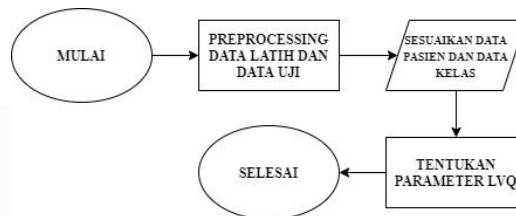
$$W_j(t + 1) = W_j(t) + (t)[x(t) - W_j] \tag{2.10}$$

Jika $T \neq C_j$ maka

$$W_j(t + 1) = W_j(t) + (t)[x(t) - W_j] \tag{2.11}$$

3.2. Alur Klasifikasi Data

Klasifikasi adalah suatu proses mengelompokkan sebuah data dengan data lain yang memiliki karakteristik yang sama. Proses klasifikasi penelitian ini menggunakan algoritma LVQ. Setelah mendapatkan data ciri yang diinginkan dari tahap ekstraksi maka data tersebut sudah dapat diklasifikasikan.

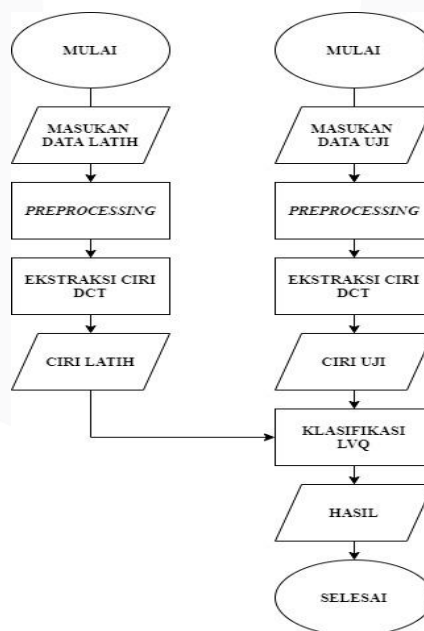


Gambar 3. 2 Blok Diagram Klasifikasi

4. Pengujian dan Analisis Hasil

4.1. Desain Sistem

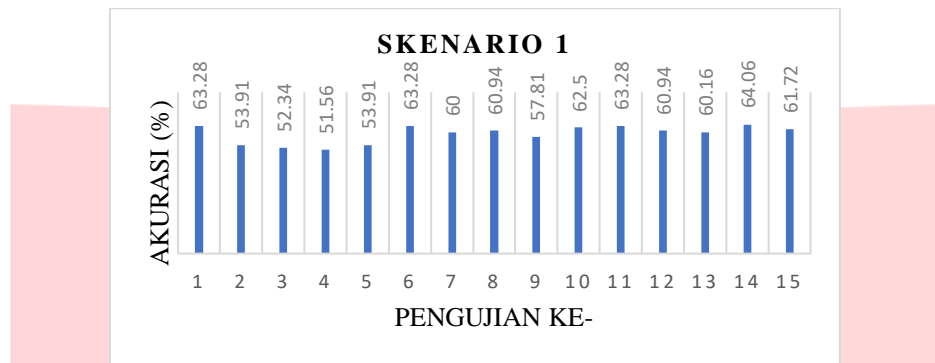
Pada tahap ini menjelaskan tentang perancangan sistem identifikasi penyakit Parkinson berbasis VGRF menggunakan metode Discrete Cosine Transform (DCT) dan klasifikasi Learning Vector Quantization (LVQ). Sistem dirancang dengan menggunakan software pendukung. Berikut adalah ilustrasi kerja sistem secara umum :



Gambar 4. 1 Blok Diagram Sistem

4.2. Pengujian Skenario 1

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem sebanyak 15 kali menggunakan skenario 1 dengan mengubah parameter dari klasifikasi LVQ yaitu mengubah nilai parameter Learn rate, Epoch, Codebooks dimana pola ekstraksi dari skenario 1 yaitu DCT melakukan ekstraksi ciri pada data pasien dengan melakukan ekstraksi hanya pada tiap bagian kolom sensor dari data pasien.



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Skenario 1

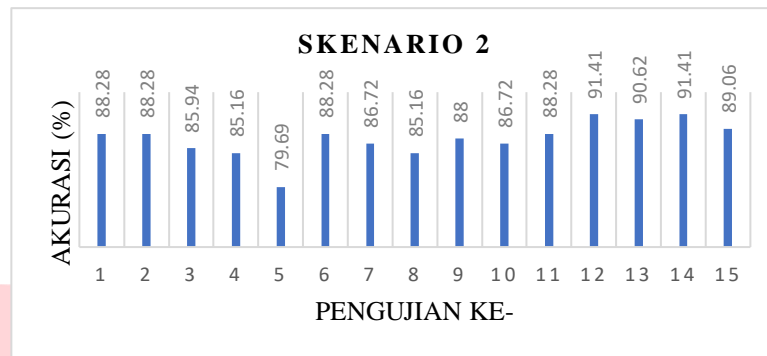
Tabel 4. 1 Tabel Pengujian Terbaik Menggunakan Skenario 1

Learn Rate = 0,1	Epoch = 50	Codebooks = 7
Percobaan Ke-	Akurasi %	Time
1	51,56%	26.98s
2	57,81%	27.83s
3	55,47%	22.57s
4	64,06%	26.31s
5	57,81%	32.64s
6	50,00%	26.72s
7	55,47%	26.09s
8	52,34%	26.68s
9	56,25%	26.41s
10	58,59%	28.14s

Tabel pengujian di atas merupakan data hasil terbaik dari 15 kali pengujian menggunakan skenario 1, didapatkan hasil akurasi tertinggi pada pengujian ke 14 sebesar 64.06% menggunakan nilai Learn Rate sebesar 0,1 nilai Epoch sebesar 50 dan nilai Codebooks sebesar 7.

4.3. Pengujian Skenario 2

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem sebanyak 15 kali menggunakan skenario 2 dengan mengubah parameter dari klasifikasi LVQ yaitu mengubah nilai parameter Learn rate, Epoch, Codebooks dimana pola ekstraksi dari skenario 2 yaitu DCT melakukan ekstraksi ciri pada data pasien dengan melakukan ekstraksi hanya pada tiap bagian baris sensor dari data pasien.



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Skenario 2

Tabel 4.2 Tabel Pengujian Terbaik Menggunakan Skenario 2

Learn Rate = 0,1	Epoch = 50	Codebooks = 5
Percobaan Ke-	Akurasi %	Time
1	82,81%	68.91s
2	82,81%	87.01s
3	83,59%	85.54s
4	84,38%	83.77s
5	82,03%	95.67s
6	84,38%	92.25s
7	83,59%	93.45s
8	83,59%	93.65s
9	91,41%	91.59s
10	87,50%	92.46s

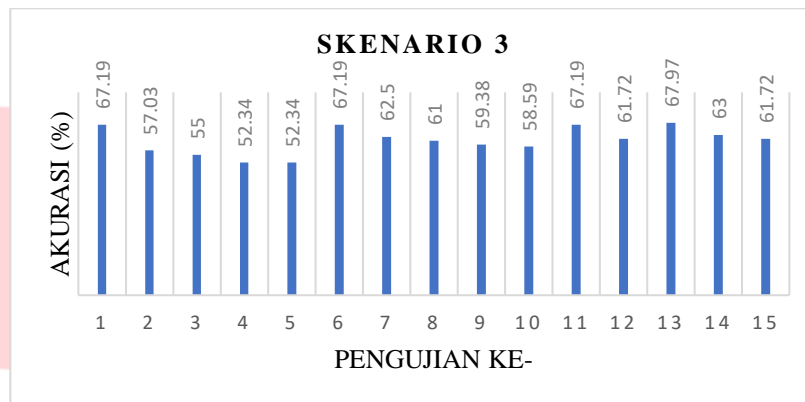
Tabel 4.3 Tabel Pengujian Terbaik Kedua Menggunakan Skenario 2

Learn Rate = 0,1	Epoch = 50	Codebooks = 7
Percobaan Ke-	Akurasi %	Time
1	82,03%	46.71s
2	90,62%	48.99s
3	84,38%	47.00s
4	91,41%	47.77s
5	84,38%	46.92s
6	80,47%	47.77s
7	83,59%	46.72s
8	85,94%	46.30s
9	82,03%	46.82s
10	87,50%	46.86s

Tabel pengujian di atas merupakan data hasil terbaik dari 15 kali pengujian menggunakan skenario 2, didapatkan hasil akurasi tertinggi pada pengujian ke 12 dan 14 dari tabel 4.2 dan tabel 4.3 sebesar 91.41% menggunakan nilai Learn Rate sebesar 0,1 nilai Epoch sebesar 50 dan nilai Codebooks sebesar 5 (Tabel 4.2) dan nilai Learn Rate sebesar 0,1 nilai Epoch sebesar 50 dan nilai Codebooks sebesar 7 (Tabel 4.3).

4.4. Pengujian Skenario 3

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem sebanyak 15 kali menggunakan skenario 3 dengan mengubah parameter dari klasifikasi LVQ yaitu mengubah nilai parameter Learn rate, Epoch, Codebooks dimana pola ekstraksi dari skenario 1 yaitu DCT melakukan ekstraksi ciri pada data pasien dengan melakukan ekstraksi secara langsung pada seluruh data sensor dari data pasien.



Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Skenario 3

Tabel 4. 4 Tabel Pengujian Terbaik Menggunakan Skenario 3

Learn Rate = 0,1	Epoch = 50	Codebooks = 6
Percobaan Ke-	Akurasi %	Time
1	60,94%	44.50s
2	67,97%	44.39s
3	59,38%	44.55s
4	50,00%	45.00s
5	56,25%	43.94s
6	60,16%	45.20s
7	50,00%	42.10s
8	47,66%	44.25s
9	62,50%	42.56s
10	51,56%	56.03s

Tabel pengujian di atas merupakan data hasil terbaik dari 15 kali pengujian menggunakan skenario 3, didapatkan hasil akurasi tertinggi pada pengujian ke 13 sebesar 67.97% menggunakan nilai Learn Rate sebesar 0,1 nilai Epoch sebesar 50 dan nilai Codebooks sebesar 6.

5. Kesimpulan

Melalui berbagai proses yang telah dilakukan dalam penelitian ini, penulis berhasil menciptakan sistem identifikasi penyakit parkinson berdasarkan data sinyal VGRF dengan menggunakan metode ekstraksi ciri DCT dan klasifikasi LVQ. Berdasarkan berbagai analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada proses ekstraksi ciri DCT dari data VGRF sangat berpengaruh dalam penelitian kali ini. Hal ini dapat dilihat dari variasi nilai yang berbeda pada setiap skenario yang telah melalui proses pengujian.

Pada penelitian kali ini metode klasifikasi yang digunakan adalah metode LVQ, dimana dari berbagai hasil pengujian pada skenario 1, 2, dan 3 menghasilkan akurasi terbaik pada pengujian skenario 2 dengan nilai akurasi 91.41% dimana pengujian ini menggunakan nilai parameter dari Learn Rate sebesar 0,1 Epoch sebesar 50 dan Codebooks sebesar 5 dan dengan nilai yang sama didapatkan pada skenario 2 dengan akurasi 91.41% dengan nilai parameter dari Learn rate sebesar 0,1 Epoch sebesar 50 dan Codebooks sebesar 7.

Berdasarkan tingkat akurasi yang diperoleh, sistem maupun konsep yang telah dilakukan diharap dapat memberi kontribusi yang bermanfaat dan positif pada berbagai bidang yang bersangkutan dengan penelitian yang telah dilakukan.

Daftar Pustaka

- [1] “*Hope Through Research: Parkinson’s Disease.*” National Institute of Neurological Disorders and Stroke, 2014.
- [2] G. A. Arrazaq *et al.*, ““Diagnosis Of Parkinson’s Disease Through Gait Analysis Based On VGRF Using Wavelet And Support Vector Machine,”” vol. 4, no. 2, pp. 1855–1862, 2017.
- [3] A. S. Budi, J. Raharjo, and I. Safitri, ““Deteksi Penyakit Parkinson Berdasarkan Klasifikasi Usia Dengan Menggunakan Metode Wavelet Packet Dekomposition (WPD) dan Knearest Neighbor (KNN) Berbasis Android,”” 2019.
- [4] M. Yoneyama, Y. Kurihara, K. Watanabe, and H. Mitoma, “Accelerometry-Based Gait Analysis and Its Application to Parkinson ’ s Disease Assessment — Part 1 : Detection of Stride Event,” vol. 22, no. 3, pp. 613–622, 2014.
- [5] A. Fadlil, “Perbandingan pengklasifikasi fungsi jarak dan jaringan syaraf tiruan pada sistem pengenalan wajah,” vol. 2007, no. Snati, pp. 1–4, 2007.
- [6] T. N. Ahmed Natarajan, Rao, and K.R, “Discrete Cosine Transform,” no. January, pp. 90–93, 1974.
- [7] E. Sabrina, P. Studi, S. Teknik, F. Teknik, and U. N. Surabaya, “Klasifikasi Penyakit Diabetic Retinopathy menggunakan Metode Learning Vector Quantization (LVQ) I Gusti Putu Asto Buditjahjanto.”
- [8] A. S. Arifianto, M. Sarosa, and O. Setyawati, “Klasifikasi Stroke Berdasarkan Kelainan Patologis dengan Learning Vector Quantization,” vol. 8, no. 2, pp. 117–122, 2014.
- [9] R. Hamidi, M. T. Furqon, and B. Rahayudi, “Implementasi Learning Vector Quantization (LVQ) untuk Klasifikasi Kualitas Air Sungai,” vol. 1, no. 12, pp. 1758–1763, 2017.
- [10] S. Saralajew, S. Nooka, M. Kaden, and T. Villmann, “Machine Learning Reports Learning Vector Quantization Capsules,” vol. 1, no. 1, pp. 1–20, 2018.