

AKURASI KESAMAAN KELOMPOK DATA BERDASARKAN FCM DAN PCA-FCM PADA DATA GULA DARAH HASIL PEMINDAIAN NIRS TERHADAP DATA GULA DARAH HASIL GLUKOMETER

Dian Pertiwi¹⁾, Lilik Linawati²⁾, Ferdy Semuel Rondonuwu³⁾

^{1,2,3)}Fakultas Sains dan Matematika Universitas Kristen Satya Wacana

662016015@student.uksw.edu, lilik.linawati@uksw.edu,

ferdy.rondonuwu@uksw.edu

Abstrak

Diabetes merupakan gangguan metabolik yang ditandai dengan kadar gula darah yang tinggi. Penderita diabetes biasanya menggunakan alat Glukometer untuk memeriksa kadar gula darah dengan cara mengambil sampel darah, tetapi terdapat alternatif lain dalam pemeriksaan kadar gula darah tanpa menggunakan jarum suntik yaitu merupakan alat NIRS (Near Infrared Spectroscopy). Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data menggunakan alat NIRS dengan pemindaian pada darah dan jari terhadap 3 orang relawan dan menghasilkan output Data Gula Darah NIRS berupa data spektrum. Data Gula Darah NIRS dikelompokkan berdasarkan kesamaan karakteristik di antara objek-objek tersebut dengan Metode Fuzzy C-Means (FCM). Disisi lain Data Gula Darah NIRS dianalisis menggunakan PCA untuk mereduksi variabel sehingga diperoleh data dari variabel-variabel yang signifikan saja, selanjutnya pada hasil PCA dilakukan Clustering dengan FCM. Berdasarkan kelompok-kelompok yang terbentuk pada masing-masing analisis menggunakan FCM dan PCA-FCM, dicari akurasi kesamaan data dari cluster Data Gula Darah hasil pemindaian NIRS terhadap data hasil Glukometer dengan cara membandingkan anggota-anggota cluster. Setelah dilakukan pengelompokan pada semua data diperoleh tingkat akurasi $\geq 50\%$. Hal ini menunjukkan bahwa Data Gula Darah hasil pemindaian NIRS memiliki akurasi kesamaan yang cukup tinggi terhadap data hasil Glukometer.

Kata Kunci. diabetes, FCM, PCA-FCM, gula darah

Abstract

Diabetes is a metabolic disorder characterized by high blood sugar levels. People with diabetes usually use a glucometer to check blood sugar levels by taking blood samples. Still, another alternative is to check blood sugar levels without using a

syringe, namely the NIRS (Near Infrared Spectroscopy) device. In this study, data were collected using the NIRS device with blood and finger scans on three volunteers and produced the NIRS Blood Sugar Data output in the form of spectrum data. NIRS blood sugar data were grouped based on the similarity of characteristics between these objects using the Fuzzy C-Means (FCM) method. The researcher analyzed NIRS blood sugar data using PCA to reduce variables. So, the researcher only obtains significant variables in the study. Then Clustering was performed on PCA results using FCM. Based on the groups formed in each analysis using FCM and PCA-FCM, the accuracy of the similarity of data from the NIRS scanned Blood Sugar Data cluster to the Glucometer data was sought by comparing the cluster members. After grouping all the data, an accuracy rate of 50% was obtained. It shows that the Blood Sugar Data from the NIRS scan has a reasonably high similarity accuracy to the Glucometer data.

Keywords. diabetes, FCM, PCA-FCM, blood sugar

1. PENDAHULUAN

Diabetes adalah penyakit kronis serius yang terjadi karena pankreas tidak menghasilkan cukup insulin (hormon yang mengatur gula darah atau glukosa), atau ketika tubuh tidak dapat secara efektif menggunakan insulin yang dihasilkannya (KemenkesRI, 2019). Pemeriksaan kadar gula darah dapat dilakukan sendiri oleh pasien penderita diabetes dengan Alat Glukometer. Pasien dapat melakukan pemantauan kadar gula darah dengan menusuk jari untuk mengambil sampel darah. Hal tersebut dapat menyebabkan rasa nyeri pada jari dan perasaan ketakutan karena jari harus ditusuk benda tajam, untuk itu perlu dipikirkan alternatif lain untuk pemeriksaan kadar gula darah. Terdapat suatu alat yaitu *Near Infrared Spectrometer* (NIRS) adalah alat yang memanfaatkan sinar gelombang inframerah dengan kisaran daerah panjang gelombang $4000-10000\text{ cm}^{-1}$. Kelebihan NIRS dalam penelitian yaitu cepat tanpa membutuhkan persiapan sampel dan *non-destruktif*. Kelemahan dari proses NIRS memerlukan biaya yang cukup mahal.

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data Gula Darah hasil dari *Near Infrared Spectrometer* (NIRS). Hasil dari alat NIRS berupa data spektrum. Data spektrum pada pemindaian NIRS tidak dapat menunjuk langsung nilai kadar gula darah. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut pada Data Gula Darah hasil pemindaian NIRS berdasarkan data hasil Glukometer dengan pengelompokan data. Karena *output* data berupa spektrum dengan

banyak variabel (panjang gelombang 4000-10000 cm^{-1} dengan rentang 4 titik), sampel perlu dikelompokkan untuk memperoleh anggota kelompok yang mendekati data Glukometer.

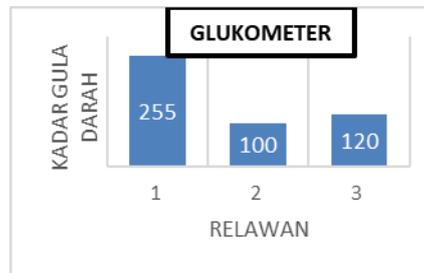
Metode yang digunakan untuk pengelompokan Data Gula Darah adalah Metode Fuzzy C-Means (FCM). Metode Fuzzy C-Means (FCM) adalah pengelompokan berdasarkan ukuran kedekatan data dimana keberadaan titik data dalam kelompok ditentukan oleh derajat keanggotaan pada himpunan fuzzy. Data spektrum masih dipengaruhi banyak variabel maka data perlu direduksi dengan metode Principal Component Analysis (PCA). Metode PCA bertujuan untuk mereduksi data, dengan menentukan variabel yang berkontribusi besar pada Data Gula Darah. *Output* PCA berupa komponen utama maka tidak dapat dibandingkan dengan *output* FCM yang berupa pusat cluster dan beberapa derajat keanggotaan, sehingga *output* PCA perlu diolah lagi dengan metode FCM agar dapat dilihat perbedaan sebelum reduksi maupun sesudah reduksi. Hasil PCA digunakan sebagai masukan FCM, dalam penelitian ini disebut metode PCA-FCM.

Penggunaan Metode FCM telah lebih dahulu dilakukan oleh Dyah Widhyanti (2019) menghasilkan tingkat keakurasian sebesar 76,67%. Pada Metode PCA-FCM oleh Andri Suryadi (2015) menghasilkan akurasi relatif sebesar 86,16%.

Setelah dilakukan pengelompokan data Gula Darah melalui pemindaian NIRS dengan Metode FCM dan PCA-FCM, hasil pengelompokan dibandingkan terhadap hasil Glukometer dan diperoleh persentase keakuratan Data Gula Darah dengan pemindaian NIRS. Pada penelitian ini juga dilakukan pemotongan variabel (panjang gelombang) untuk memperoleh variabel dengan keakuratan tertinggi Data Gula Darah yang mendekati hasil Glukometer. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan persentase keakuratan hasil pengelompokan Data Gula Darah berdasarkan pemindaian NIRS terhadap data hasil Glukometer menggunakan Metode FCM dan PCA-FCM.

2. METODE PENELITIAN

a. Identifikasi Data Gula Darah Glukometer



Gambar 1. Kadar Gula Darah dengan Glukometer

Grafik pada Gambar 1 menunjukkan kadar gula darah relawan 1 sebesar 255 mg/dl, yang termasuk ke dalam golongan kadar gula darah tinggi, relawan 2 sebesar 100 mg/dl yang termasuk ke dalam golongan kadar gula darah normal, relawan 3 sebesar 120 mg/dl yang termasuk ke dalam golongan kadar gula darah normal. Hasil pengukuran di atas akan digunakan sebagai acuan untuk pembandingan terhadap hasil analisis dengan FCM dan PCA-FCM.

b. Identifikasi Data Gula Darah NIRS

Data Gula Darah NIRS bersumber dari Pusat Studi Near-Infrared Spectroscopy, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana. Pengambilan data dilakukan dengan alat Near-Infrared Spectroscopy (NIRS). Tabel 1 adalah data yang akan diolah pada penelitian ini:

Tabel 1. Rincian Data Gula Darah NIRS

Nama/Kode	Data Darah (DR)	Data Jari Manis (JM)	Data Jari Tengah (JT)
Keterangan	Data diperoleh dengan memindai sampel darah menggunakan Alat NIRS.	Data diperoleh dengan cara memindai jari manis pada tangan kanan dan kiri menggunakan Alat NIRS.	Data diperoleh dengan cara memindai jari tengah pada tangan kanan dan kiri menggunakan Alat NIRS.
Pengulangan:			
Relawan 1	19 kali	16 kali	17 kali
Relawan 2	10 kali	16 kali	16 kali
Relawan 3	4 kali	16 kali	16 kali

Nama/Kode	Data Darah (DR)	Data Jari Manis (JM)	Data Jari Tengah (JT)
Jumlah Sampel [hasil pengulangan (n)]	33	48	49
Rentang Panjang Gelombang	4000-10000 cm ⁻¹	4000-10000 cm ⁻¹	4000-10000 cm ⁻¹
Panjang Gelombang	4000, 4004, 4008, ...	4000, 4004, 4008, ...	4000, 4004, 4008, ...
Ukuran Data	33x1501	48x1501	49x1501

c. Pengolahan Data Gula Darah menggunakan Metode FCM

Fuzzy C-Means

Algoritma FCM secara umum sebagai berikut (Kusumadewi, 2010):

1. Input data yang akan di cluster X , berupa matriks berukuran $n \times m$ (n = jumlah sampel data, m = atribut setiap data). X_{ij} = data sampel ke- i ($i = 1, 2, \dots, n$), atribut ke- j ($j = 1, 2, \dots, m$).
2. Tentukan:
 - a) Jumlah cluster = c ;
 - b) Pangkat = w ;
 - c) Maksimum iterasi = MaxIter ;
 - d) Error terkecil yang diharapkan = ξ ;
 - e) Fungsi obyektif awal = $P_0 = 0$;
 - f) Iterasi awal = $t=1$;
3. Bangkitkan bilangan random $\mu_{ik}, i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, c; n \times c$ menunjukkan ukuran matriks sebagai elemen-elemen matriks partisi awal U . Hitung jumlah derajat keanggotaan setiap kolom (atribut):

$$Q_j = \sum_{k=1}^c \mu_{ik}$$

Setelah itu hitung elemen matriks yang ternormalisasi dengan rumus :

$$\mu_{ik_{norm}} = \frac{\mu_{ik}}{Q_j}$$

Bentuk matriks partisi awal yang telah ternormalisasi sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \mu_{11_{norm}} & \mu_{12_{norm}} & \dots & \mu_{1c_{norm}} \\ \mu_{21_{norm}} & \mu_{22_{norm}} & \dots & \mu_{2c_{norm}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{n1_{norm}} & \mu_{n2_{norm}} & \dots & \mu_{nc_{norm}} \end{bmatrix}$$

4. Hitung pusat cluster V_{kj} , dengan $k = 1, 2, \dots, c$; dan $j = 1, 2, \dots, m$, menggunakan persamaan berikut:

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik_{norm}})^w x_{ij}}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik_{norm}})^w}$$

5. Menghitung nilai fungsi objektif yaitu jarak antara objek data terhadap pusat cluster.

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \left(\left(\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right) * (\mu_{ik_{norm}})^w \right)$$

6. Memperbaiki derajat keanggotaan setiap data dalam setiap cluster dengan menghitung perubahan matriks partisi :

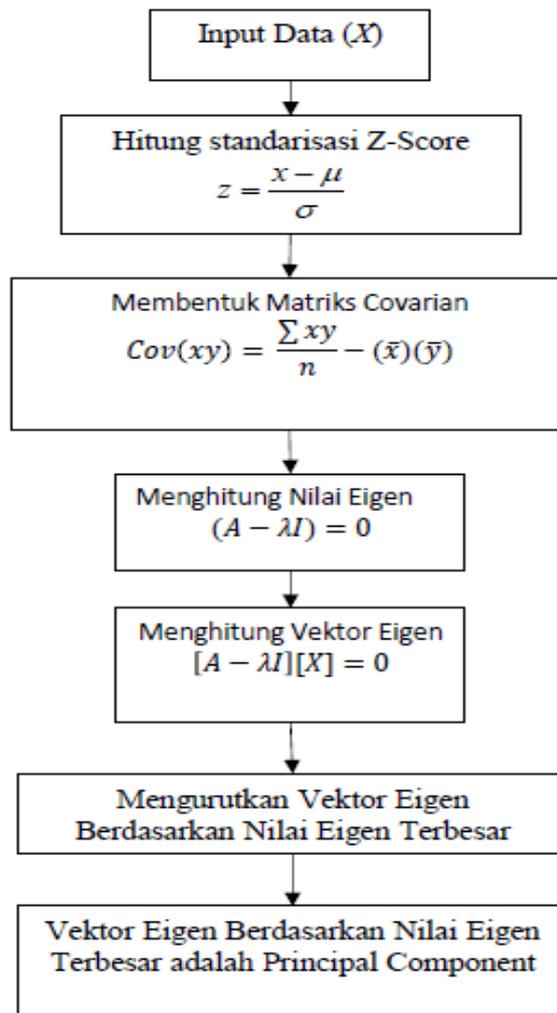
$$\mu_{ik} = \frac{\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}}{\sum_{i=1}^c \left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}}$$

7. Mengecek kondisi iterasi berhenti :
- Jika : $(|P_t - P_{t-1}| < \xi)$ atau $(t > \text{MaxIter})$ maka iterasi dihentikan;
 - Jika tidak: maka iterasi dinaikkan $t = t+1$, dengan mengulangi langkah ke-4 untuk memulai iterasi baru.

Data Gula Darah pada penelitian ini diolah menggunakan Metode Principal Component Analysis-Fuzzy C-Means (PCA-FCM) dengan bantuan *software* MATLAB.

- d. Pengolahan Data Gula Darah NIRS menggunakan Metode PCA-FCM
Principal Component Analysis (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menyederhanakan suatu data dengan cara mentransformasi linear sehingga terbentuk sistem koordinat baru dengan varians maksimum. PCA dapat digunakan untuk mereduksi dimensi suatu data tanpa mengurangi karakteristik data tersebut secara signifikan.



Gambar 2. Flowchart PCA

Hasil PCA yang telah direduksi variabelnya atau diperoleh variabel-variabel utama yang akan digunakan sebagai olah data lanjutan. Output data yang sudah direduksi tersebut dijadikan input untuk pengelompokan dengan Metode FCM. Sehingga pada penelitian ini metode tersebut dikatakan Metode PCA-FCM.

- e. Clustering Menggunakan Metode FCM dan Metode PCA-FCM
 - a) Clustering tanpa Pemisahan Variabel
Data Gula Darah NIRS (DR, JM, JT) pada Tabel 1 dilakukan clustering dengan menginput semua panjang gelombang 10000-4000 cm^{-1} .
 - b) Clustering dengan Pemisahan Variabel

Data gula darah NIRS (DR, JM, JT) pada Tabel 1 dilakukan clustering dengan menginput panjang gelombang yang telah dipisahkan dengan rentang 100 titik, diperoleh panjang gelombang 4000-4396 cm⁻¹, 4400-4796 cm⁻¹, 4800-5196 cm⁻¹, 5200-5596 cm⁻¹, 5600-5996 cm⁻¹, 6000-6396 cm⁻¹, 6400-6796 cm⁻¹, 6800-7196 cm⁻¹, 7200-7596 cm⁻¹, 7600-7996 cm⁻¹, 8000-8396 cm⁻¹, 8400-8796 cm⁻¹, 8800-9196 cm⁻¹, 9200-9596 cm⁻¹, 9600-10000 cm⁻¹.

f. Menghitung Akurasi Kesamaan Data

Setelah melakukan clustering Data Gula Darah hasil pemindaian NIRS menggunakan Metode FCM dan Metode PCA-FCM, kemudian dilakukan perhitungan tingkat akurasi kesamaan data berdasarkan rumus berikut:

$$Akurasi = \frac{\text{jumlah anggota cluster bernilai benar per cluster}}{\text{jumlah sampel per cluster}} \times 100\%$$

Akurasi kesamaan data digunakan untuk melihat keakuratan Data Gula Darah hasil pemindaian NIRS berdasarkan Data Glukometer.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengolahan data, diperoleh hasil persentase Data Gula Darah terhadap Data Glukometer baik tanpa pemisahan variabel maupun dengan pemisahan variabel sebagai berikut:

1) Tanpa pemisahan variabel (panjang gelombang)

Tabel 2. Perbandingan persentase hasil pengolahan Metode FCM dan Metode PCA-FCM tanpa pemisahan variabel

	% Keakuratan DR	% Keakuratan JM	% Keakuratan JT
FCM	57,89%	77,08%	67,03%
PCA-FCM	80%	77,08%	67,03%

Perhitungan dengan Metode FCM dan PCA-FCM menghasilkan persentase keakuratan yang sama pada Data Jari Manis dan Data Jari Tengah yaitu sebesar 77,08% dan 67,03%. Sedangkan pengolahan pada Data Darah dengan Metode PCA-FCM menghasilkan keakuratan yang

lebih tinggi sebesar 80% dibandingkan dengan menggunakan Metode PCA-FCM.

2) Dengan pemisahan variabel (panjang gelombang)

Tabel 3. Perbandingan persentase hasil pengolahan Metode FCM dan Metode PCA-FCM dengan pemisahan variabel

Panjang Gelombang (cm ⁻¹)	% Keakuratan DR		% Keakuratan JM		% Keakuratan JT	
	FCM	PCA-FCM	FCM	PCA-FCM	FCM	PCA-FCM
4000-4396	72,80%	74,56%	62,50%	62,50%	71,08%	71,08%
4400-4796	62,71%	62,72%	62,50%	62,50%	73,16%	73,16%
4800-5196	74,56%	74,56%	67%	67%	75,24%	75,24%
5200-5596	76,31%	57,89%	65%	66,67%	71,08%	71,08%
5600-5996	56,14%	56,14%	58,33%	58,33%	71,08%	71,08%
6000-6396	52,63%	57%	60%	58,33%	71,08%	71,08%
6400-6796	53,33%	53%	67%	67%	75,24%	75,24%
6800-7196	64,47%	64,47%	67%	67%	77,33%	79,41%
7200-7596	56,67%	56,14%	75%	79%	67,03%	67,03%
7600-7996	56,67%	57,89%	70,83%	70,83%	67,03%	67,03%
8000-8396	57,89%	57,89%	72,92%	72,92%	67,03%	67,03%
8400-8796	57,89%	57%	70,83%	70,83%	67,03%	67,03%
8800-9196	53,33%	57,89%	70,83%	70,83%	69,12%	69,12%
9200-9596	56,14%	57%	75%	75%	67,03%	67,03%
9600-10000	56,67%	56,14%	75%	75%	67,03%	67,03%
Rata-rata	60,55%	60,02%	67,98%	68,25%	70,44%	70,58%
Maks	76,31%	74,56%	75%	79%	77,33%	79,41%
Min	52,63%	53%	58,33%	58,33%	67,03%	67,03%

Pada pengolahan data dengan pemisahan variabel pada Data Darah menggunakan Metode FCM diperoleh persentase terendah sebesar 52,63% pada panjang gelombang 6000-6396 cm⁻¹ dan persentase tertinggi sebesar 76,31% pada panjang gelombang 5200-5596 cm⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode FCM pada pemeriksaan kadar gula darah dengan sampel darah menggunakan Alat NIRS dapat diambil rentang Panjang gelombang 5200-5596 cm⁻¹ saja karena menghasilkan persentase keakuratan yang tertinggi. Pada Data Darah menggunakan Metode PCA-FCM diperoleh persentase terendah sebesar 53% pada panjang gelombang 6400-6796 cm⁻¹ dan persentase tertinggi sebesar 74,56% pada panjang gelombang 4800-5196

cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode PCA-FCM pada pemeriksaan kadar gula darah dengan sampel darah menggunakan Alat NIRS dapat diambil rentang Panjang gelombang 4800-5196 cm^{-1} saja karena menghasilkan persentase keakuratan yang tertinggi.

Pada pengolahan data dengan pemisahan variabel pada Data Jari Manis menggunakan Metode FCM diperoleh persentase terendah sebesar 58,33% pada panjang gelombang 5600-5996 cm^{-1} dan persentase tertinggi sebesar 75% pada panjang gelombang 7200-7596 cm^{-1} , 9200-9596 cm^{-1} , 9600-10000 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode FCM pada pemeriksaan kadar gula darah dengan pemindaian jari manis menggunakan Alat NIRS dapat diambil rentang Panjang gelombang 7200-7596 cm^{-1} , 9200-9596 cm^{-1} , 9600-10000 cm^{-1} saja karena menghasilkan persentase keakuratan yang tertinggi. Pada Data Jari Manis menggunakan Metode PCA-FCM diperoleh persentase terendah sebesar 58,33% pada panjang gelombang 5600-5996 cm^{-1} , 6000-6396 cm^{-1} dan persentase tertinggi sebesar 79% pada panjang gelombang 7200-7596 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode PCA-FCM pada pemeriksaan kadar gula darah dengan pemindaian jari manis menggunakan Alat NIRS dapat diambil rentang Panjang gelombang 7200-7596 cm^{-1} saja karena menghasilkan persentase keakuratan yang tertinggi.

Pada pengolahan data dengan pemisahan variabel pada Data Jari Tengah menggunakan Metode FCM diperoleh persentase terendah sebesar 67,03% pada panjang gelombang 7200-7596 cm^{-1} , 7600-7996 cm^{-1} , 8000-8396 cm^{-1} , 8400-8796 cm^{-1} , 9200-9596 cm^{-1} , 9600-10000 cm^{-1} dan persentase tertinggi sebesar 77,33% pada panjang gelombang 6800-7196 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode FCM pada pemeriksaan kadar gula darah dengan pemindaian jari tengah menggunakan Alat NIRS dapat diambil rentang Panjang gelombang 6800-7196 cm^{-1} saja karena menghasilkan persentase keakuratan yang tertinggi. Pada Data Jari Tengah menggunakan Metode PCA-FCM diperoleh persentase terendah sebesar 67,03% pada panjang gelombang 7200-7596 cm^{-1} , 7600-7996 cm^{-1} , 8000-8396

cm^{-1} , $8400\text{-}8796 \text{ cm}^{-1}$, $9200\text{-}9596 \text{ cm}^{-1}$, $9600\text{-}10000 \text{ cm}^{-1}$ dan persentase tertinggi sebesar 79,41% pada panjang gelombang $6800\text{-}7196 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode PCA-FCM pada pemeriksaan kadar gula darah dengan pemindaian jari manis menggunakan Alat NIRS dapat diambil rentang Panjang gelombang $6800\text{-}7196 \text{ cm}^{-1}$ saja karena menghasilkan persentase keakuratan yang tertinggi.

Hasil persentase dari clustering kadar gula darah pada Data NIRS yang meliputi DR (Data Darah), Data JM (Data Jari Manis), Data JT (Data Jari Tengah) berdasarkan Data Glukometer menunjukkan bahwa hasil persentase keakuratan Data NIRS tanpa pemisahan variabel (Panjang gelombang) menghasilkan persentase yang lebih tinggi dibandingkan Data NIRS dengan pemisahan variabel (Panjang gelombang).

Hasil pengolahan pada Data NIRS dengan pemisahan variabel menunjukkan persentase keakuratan yang berbeda pada setiap pemisahan rentang panjang gelombang, hal tersebut menunjukkan bahwa setiap Panjang gelombang (1501 titik) memiliki pengaruh yang berbeda terhadap Data Gula Darah.

Pada Data Jari Manis maupun Data Jari Tengah menghasilkan persentase keakuratan rata-rata sebesar 60-70%, hal ini menunjukkan bahwa apabila dilakukan pemeriksaan kadar gula darah dengan pemindaian jari diperoleh persentase keakuratan yang cukup besar walaupun pada penelitian ini belum dapat menunjuk langsung kadar gula darah pada penderita diabetes.

4. SIMPULAN

Pengolahan Data Gula Darah (Data Darah, Data Jari Manis, Data Jari Tengah) menggunakan Metode FCM dan PCA-FCM baik tanpa pemisahan variabel (panjang gelombang) maupun dengan pemisahan variabel (panjang gelombang) menghasilkan persentase keakuratan $\geq 50\%$. Hal ini menunjukkan bahwa Data Gula Darah hasil pemindaian NIRS memiliki akurasi kesamaan yang cukup tinggi terhadap data hasil Glukometer.

DAFTAR PUSTAKA

- Firgiansyah, Andi. (2016). *Perbandingan Kadar Glukosa Darah Menggunakan Spektrofotometer dan Glukometer*[skripsi]. Semarang (ID). Universitas Muhammadiyah Semarang.
- KemenkesRI. (2019). *Hari Diabetes Sedunia*. Jakarta Selatan: Pusat Data dan Informasi.
- Kusumadewi, Sri. (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusumadewi, Sri. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Setiawan, Iwan.(2016). *Implementasi Pengenalan Citra Wajah dengan Algoritma Eigenface pada Metode Pricipal Component Analysis*. Dalam: Proceeding of the 2nd Informatics Conference di Universitas Budi Luhur, 18 Juni.
- Suryadi, Andri.(2015). *Sistem Pengenalan Wajah Menggunakan Metode Principal Component Analysis (PCA) dengan Algoritma Fuzzy C-Means (FCM)*. Jurnal Pendidikan Matematika. Vol.4 no. 2: 58-65.