

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Penyakit Jantung

1. Pengertian Penyakit Jantung

Penyakit kardiovaskular atau yang biasa disebut penyakit jantung umumnya mengacu pada kondisi yang melibatkan penyempitan atau pemblokiran pembuluh darah yang bisa menyebabkan serangan jantung, nyeri dada (*angina*) atau *stroke*. Kondisi jantung lainnya yang mempengaruhi otot jantung, katup atau ritme, juga dianggap bentuk penyakit jantung (*American Heart Association*, 2017).

2. Klasifikasi Penyakit Jantung

Berikut adalah penjelasan dari klasifikasi penyakit jantung.

a. Diagnosis Normal

Jantung normal merupakan kondisi dimana jantung bekerja secara normal untuk memompa darah dan menyuplai oksigen keseluruh tubuh.

b. Diagnosis *Hypertensive Heart Disease* (HHD)

Hypertensive heart disease (HHD) adalah istilah yang diterapkan untuk menyebutkan penyakit jantung secara keseluruhan, mulai dari *left ventricle hyperthrophy* (LVH), aritmia jantung, penyakit jantung koroner, dan penyakit jantung kronis, yang disebabkan kerana peningkatan tekanan darah, baik secara langsung maupun tidak langsung (theHeart.org, 2014).

c. Diagnosis *Congestive Heart Failure* (CHF)

Congestive Heart Failure (CHF) adalah suatu kondisi dimana jantung

mengalami kegagalan dalam memompa darah guna mencukupi kebutuhan sel-sel tubuh akan nutrisi dan oksigen. Hal ini mengakibatkan peregangan ruang jantung (dilatasi) guna menampung darah lebih banyak untuk dipompakan ke seluruh tubuh atau mengakibatkan otot jantung kaku dan menebal. Jantung hanya mampu memompa darah untuk waktu yang singkat dan dinding otot jantung yang melemah tidak mampu memompa dengan kuat (Udjianti, 2010).

d. *Diagnosis Angina Pectoris*

Angina pectoris adalah istilah medis untuk nyeri dada atau ketidaknyamanan akibat penyakit jantung koroner. Hal itu terjadi ketika otot jantung tidak mendapat darah sebanyak yang dibutuhkan. Hal ini biasanya terjadi karena satu atau lebih arteri jantung menyempit atau tersumbat, biasa juga disebut iskemia (*American Heart Association*, 2016).

3. Penyebab Penyakit Jantung

Berdasarkan *Centers for Disease Control and Prevention*, 2015 faktor-faktor penyebab penyakit jantung adalah sebagai berikut

a. Diet Tidak Sehat

Diet lemak jenuh, dan kolesterol mengakibatkan penyakit jantung. Selain itu, terlalu banyak garam (*sodium*) dalam makanan bisa menaikkan kadar tekanan darah.

b. Kurang Aktivitas

Tidak cukup aktivitas fisik mengakibatkan penyakit jantung, hal ini juga dapat meningkatkan kemungkinan memiliki kondisi medis lain yang

merupakan faktor resiko, termasuk obesitas, tekanan darah tinggi, kolesterol tinggi, dan diabetes.

c. Obesitas

Obesitas adalah kelebihan lemak tubuh. Obesitas dikaitkan dengan kadar kolesterol dan trigliserida yang lebih tinggi dan menurunkan kadar kolesterol "baik". Selain penyakit jantung, obesitas juga bisa menyebabkan tekanan darah tinggi dan diabetes.

d. Alkohol

Konsumsi alkohol bisa menaikkan kadar tekanan darah dan beresiko terkena penyakit jantung. Ini juga meningkatkan kadar trigliserida, suatu bentuk kolesterol, yang bisa mengeraskan arteri.

e. Merokok

Merokok dapat merusak jantung dan pembuluh darah, yang meningkatkan resiko kondisi jantung seperti aterosklerosis dan serangan jantung. Selain itu, nikotin meningkatkan tekanan darah, dan karbon monoksida mengurangi jumlah oksigen yang dibawa oleh darah. Paparan asap rokok orang lain dapat meningkatkan resiko penyakit jantung bahkan untuk bukan perokok.

f. Tekanan darah tinggi

Tekanan darah tinggi merupakan faktor resiko utama penyakit jantung. Ini adalah kondisi medis yang terjadi saat tekanan darah di arteri dan pembuluh darah lainnya terlalu tinggi. Tekanan darah tinggi sering disebut "silent killer" karena banyak orang tidak memperhatikan gejala sinyal

darah tinggi. Menurunkan tekanan darah dengan perubahan gaya hidup atau dengan pengobatan bisa mengurangi resiko penyakit jantung dan serangan jantung.

g. Kolesterol Tinggi

Kolesterol adalah zat berlemak, seperti lemak yang dibuat oleh hati atau ditemukan pada makanan tertentu. Jika mengkonsumsi lebih banyak kolesterol daripada yang bisa digunakan tubuh, kolesterol ekstra bisa terbentuk di dinding arteri, termasuk di jantung. Hal ini menyebabkan penyempitan arteri dan bisa menurunkan aliran darah ke jantung, otak, ginjal, dan bagian tubuh lainnya. Kolesterol tinggi adalah istilah yang digunakan untuk kadar *low-density lipoprotein*, atau LDL, yang dianggap "buruk" karena dapat menyebabkan penyakit jantung. Kadar kolesterol lipoprotein *high-density* yang lebih tinggi, atau HDL, dianggap "baik" karena memberikan perlindungan terhadap penyakit jantung.

h. Diabetes

Diabetes mellitus juga meningkatkan resiko penyakit jantung. Tubuh membutuhkan glukosa (gula) untuk energi. Insulin adalah hormon yang dibuat di pankreas yang membantu memindahkan glukosa dari makanan yang ke sel tubuh. Jika menderita diabetes, tubuh tidak cukup membuat insulin, tidak dapat menggunakan insulin sendiri dengan baik. Diabetes menyebabkan gula terbentuk di dalam darah. Resiko kematian akibat penyakit jantung bagi orang dewasa dengan diabetes adalah dua sampai empat kali lebih tinggi daripada orang dewasa yang tidak menderita

diabetes.

i. Genetika dan Riwayat Keluarga

Faktor genetik kemungkinan berperan dalam tekanan darah tinggi, penyakit jantung, dan kondisi terkait lainnya. Namun, kemungkinan juga bahwa orang-orang dengan riwayat penyakit jantung keluarga memiliki lingkungan yang sama dan faktor potensial lainnya yang meningkatkan resikonya. Resiko penyakit jantung bisa meningkat bahkan lebih bila faktor keturunan dikombinasikan dengan pilihan gaya hidup yang tidak sehat, seperti merokok dan makan makanan yang tidak sehat.

j. Usia

Resiko penyakit jantung meningkat seiring bertambahnya usia.

k. Ras atau etnisitas

Pada tahun 2013 penyakit jantung adalah penyebab utama kematian di Amerika Serikat untuk kulit putih non-Hispanik, kulit hitam non-Hispanik, dan Indian Amerika. Bagi orang Hispanik, dan orang Amerika Asia dan Kepulauan Pasifik, penyakit jantung adalah yang kedua setelah kanker sebagai penyebab kematian.

B. Penelitian yang Relevan

1. Achmad Rizal, (2007) meneliti tentang aplikasi pengolahan sinyal digital pada analisis dan pengenalan suara jantung untuk diagnosis penyakit jantung. Ekstraksi dilakukan dalam domain waktu dan frekuensi menggunakan beberapa teknik seperti LPC, RMS, DPW, dan Shannon serta klasifikasi menggunakan JST BP, ART2, dan Xkorelasi. Hasil pengujiannya adalah

dengan teknik RMS untuk suara jantung mampu memberikan tingkat akurasi 95% untuk 15 kelas data.

2. Lisa Anggraeni, (2014) meneliti tentang deteksi kelainan jantung berdasarkan pola PCG menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* (JST-BP). Ekstraksi ciri menggunakan *Linear Predictive Coding* (LPC) untuk memperoleh fitur dari setiap pola. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa ekstraksi PCG menggunakan LPC memberikan hasil yang cukup baik Karena mampu menunjukkan kemiripan fitur dari PCG dalam satu jenis. Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan 66 data, metode JST-BP memiliki akurasi pengujian 54,54% dan sensitivitas 96,55% dalam klasifikasi 4 jenis kelainan.
3. Ira Puspasari, (2015) meneliti tentang analisis sinyal suara jantung koroner. Ekstraksi ciri menggunakan pengolahan sinyal non-stasioner berdasarkan domain waktu dan frekuensi *Short Time Fourier Transform*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari proses ekstraksi ciri diketahui seluruh frekuensi memiliki rata-rata nilai lebih dari 200 Hz. Sedangkan suara jantung normal memiliki frekuensi antara 20-200 Hz, dan abnormal memiliki rentang frekuensi hingga 1000 Hz. Pengujian dilakukan terhadap tiga spesifikasi jantung koroner. pada jantung koroner dengan spesifikasi *hypertrophy ventricular* kiri dengan repolarisasi abnormal. Diperoleh frekuensi karakteristik $505,56 \pm 8,82$ Hz, yang terdeteksi pada rata-rata *window* ke $21,44 \pm 2,92$, dengan rata-rata waktu $0,05 \pm 0,02$ s. Jantung koroner dengan spesifikasi *lateral infarct* dan *ischemic inferior* memiliki nilai karakteristik

rata-rata frekuensi sebesar $376,11 \pm 2,20$ Hz, rata-rata *window* ke- $141,67 \pm 2,5$, dan rata-rata waktu $0,35 \pm 0,02$ s. Sedangkan jantung koroner dengan spesifikasi *inferior infarct*, *ishemic* dan *sinus rhythm* dengan ventrikular kompleks frekuensi awal memiliki nilai karakteristik rata-rata frekuensi sebesar $217,14 \pm 12,78$ Hz, pada rata-rata *window* ke- $74,29 \pm 4,16$, dengan waktu $0,17 \pm 0,02$ s.

4. Fransiscus Daso, (2015) meneliti tentang analisis sinyal suara jantung dengan menggunakan analisis spektrum. Proses transformasi dilakukan dengan algoritma FFT. Hasil transformasi sinyal suara jantung normal terdapat sebuah bukit yang besar yang memiliki peak di frekuensi 56 Hz dan frekuensi maksimum di 277.5 hz. Bentuk hasil transformasi sinyal jantung normal ini dijadikan acuan untuk membandingkan dengan sinyal jantung berikutnya yang tidak normal. Hasil transformasi sinyal suara jantung tidak normal dengan kelainan *Mitral Stenosis* menunjukkan adanya bunyi frekuensi rendah yang ditandai dengan bukit kecil di posisi paling kiri grafik. Bukit berikutnya menunjukkan S1 dan S2 yang memiliki frekuensi lebih tinggi. Frekuensi pada puncak bukit tertinggi didapat pada 49 Hz dan frekuensi tertinggi di 118.95 Hz.
5. Anggi Tiara Citra Ekinasti, (2016) meneliti tentang analisis dan ekstraksi ciri sinyal suara jantung menggunakan transformasi wavelet diskrit. Dekomposisi dilakukan pada frekuensi cuplik 8 Khz, 44.1 Khz, dan 48 Khz, dengan menggunakan *wavelet coiflet*, *symlet*, *daubechies*, dan *biorthogonal*. Ekstraksi ciri dilakukan dengan mencari nilai energi dari detail koefisien dan

aproksomasi koefisien serta mencari standar deviasi dari sinyal suara jantung. Hasil penelitiannya adalah pola sinyal PCG normal berdasarkan frekuensi cuplik 8KHz, 44100Hz, 48KHz, dengan *mother wavelet* symlet 2, symlet 5, symlet 7, daubechies 2, daubechies 5, daubechies 7, coiflet 2, coiflet 5, biorthogonal 2.8, biorthogonal 3.9, biorthogonal 6.8 dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan pola kondisi jantung normal.

C. Signal *Phonocardiogram* (PCG)

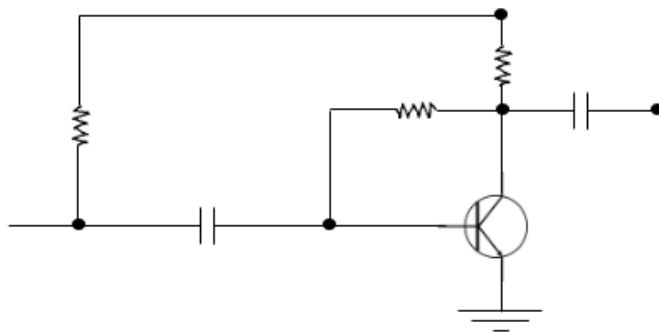
Phonocardiogram adalah teknik dalam penelusuran suara jantung dan pencatatan getaran akustik jantung melalui suatu transduser mikrofon yang akan direkam dan ditampilkan pada osiloskop. Suatu mikrofon yang dirancang khusus ditempatkan pada dinding dada sehingga getaran yang dihasilkan oleh jantung dapat diterima, diperkuat, serta direkam. Suara-suara ini mengindikasikan laju dan ritme jantung dalam memompa darah. Suara ini juga memberikan informasi tentang efektifitas pemompaan jantung dan aktifitas katup-katup jantung (Amrullah, 2012).

Suara jantung dapat digunakan lebih efisien oleh dokter ketika mereka ditampilkan secara visual. Dengan adanya hasil PCG dari pasien, ahli medis dapat mendengar kembali, melihat perekaman secara visual, serta dapat menganalisis dan mengolah data tersebut sesuai dengan kebutuhan. Dalam keadaan normal suara jantung menghasilkan dua suara yang berbeda yang sering dinyatakan dengan lub-dub atau disebut suara jantung pertama (S1) dan suara jantung kedua (S2). Suara lub atau suara jantung pertama (S1) muncul akibat dua penyebab yaitu penutupan katub atrioventrikular (katub mitral dan trikuspidalis) dan kontraksi

otot-otot jantung. Sedangkan suara dub atau suara jantung kedua (S2) disebabkan dari penutupan katub semilunaris (katub aorta dan pulmonal) (Debbal, 2009).

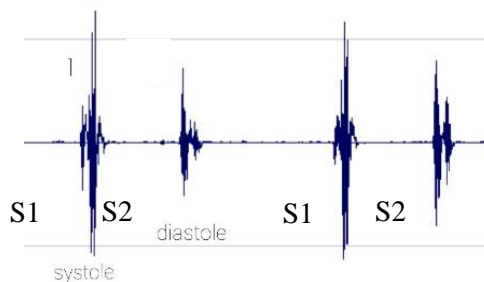
Suara jantung pertama memiliki waktu yang sedikit lebih lama dibandingkan dengan suara jantung kedua. Diantara suara jantung pertama dan suara jantung kedua terdapat dua interval yaitu *sistole* dan *diastole*. *Sistole* adalah tekanan darah yang dialirkan dari jantung ke arteri dan nadi, sedangkan *diastole* merupakan tekanan darah balik dari arteri dan nadi ke jantung. *Sistole* ialah interval antara suara jantung S1 dan S2, sedangkan *diastole* interval antara suara jantung S2 dan S1 (Nurlaili, 2011).

Gambar berikut adalah rangkaian alat rekam *phonocardiogram*.



Gambar 2.1. Rangkaian alat rekam *phonocardiogram*

Gambar berikut adalah contoh signal *phonocardiogram*.



Gambar 2.2. *Phonocardiogram* Jantung

D. Wavelet

1. Pengertian *Wavelet*

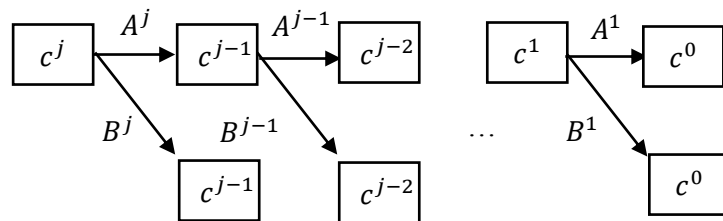
Wavelet telah berkembang sejak abad ke-20, yaitu paper dari Frazier dan Jawerth (1985), selain itu wavelet juga populer disebut “*French School*” di Perancis yang diketai oleh J. Morlet, A. Grossmann dan Y. Meyer. *Wavelet* atau “*ondolettes*” dalam bahasa Perancis digunakan oleh *geophysicist* pada tahun 80-an sebagai sarana untuk mengolah sinyal elektrik. Kesuksesan numeris terapan ini dilakukan oleh A. Grossmann dan J. Morlet (Sianipar, 2003).

Wavelet adalah basis fungsi yang dikembangkan mengacu pada kebutuhan spesifik dari analisis signal dengan tetap memberikan keuntungan dalam representasi *Time-Frequency* secara terlokalisasi dan menyeluruh, dimana sinyal asli didekomposisi menjadi band-band frekuensi kemudian analisis sinyal dilakukan pada tiap-tiap band tersebut. Kelebihan *wavelet* sebagai fungsi transform adalah adanya fungsi kompresi (*dilation*) dan pergeseran (*translation*) dalam fungsi induknya (Ucuk Darusalam, 2009).

Menurut Daniel T.L Lee (1994), *wavelet* telah banyak diaplikasikan pada analisis sementara sinyal, analisis citra, sistem komunikasi, dan aplikasi pemrosesan sinyal lainnya. Beberapa contoh keluarga *wavelet* adalah *Haar*, *Daubechies*, *Symlets*, *Coiflets*, *BiorSplines*, *ReverseBior*, *Meyer*, *DMeyer*, *Gaussian*, *Mexican hat*, *Morlet*, *Complex*, *Shannon*, *Frequency B-Spline*, *Complex Morlet*, *Riyad*, dll.

2. Transformasi Wavelet

Transformasi merupakan suatu proses pengubahan data kedalam bentuk lain agar mudah dianalisis, sebagai misal transformasi fourier merupakan suatu proses pengubahan data (sinyal) kedalam beberapa gelombang kosinus yang berfrekuensi berbeda, sedangkan transformasi wavelet merupakan proses pengubahan sinyal kedalam berbagai *wavelet* basis (*mother wavelet*) dengan berbagai fungsi pergeseran dan penyekalaan. Proses transformasi *wavelet* dilakukan dengan mengkonvolusi sinyal dengan data tapis atau dengan proses merata-rataan dan pengurangan secara berulang, yang sering disebut dengan metode *filter bank* (Bagus K, 2006). Gambar berikut ini menunjukkan proses transformasi *Wavelet* dengan cara *filter bank*.



Gambar 2.3. Transformasi Wavelet. (Chui, 1992).

Terdapat dua jenis transformasi *wavelet* yaitu *Continue Wavelet Transform* (CWT) dan *Discrete Wavelet Transform* (DWT). CWT digunakan untuk sebuah fungsi yang berdomain bilangan real atas sumbu x , dan DWT digunakan untuk sebuah fungsi atas domain bilangan bulat (biasanya $t = 0, 1, \dots, N-1$, dimana N dinotasikan sebagai banyaknya nilai dalam runtun waktu). Pada penelitian ini digunakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) karena data runtun waktu dari rekaman detak jantung pasien berdomain bilangan bulat.

3. *Discrete Wavelet Transform (DWT)*

DWT digunakan untuk sebuah fungsi atas domain bilangan bulat, dengan $t = 0, 1, \dots, N-1$, dimana N adalah banyak nilai dalam runtun waktu. DWT dianalisis dengan menggunakan penggambaran sebuah skala waktu sinyal digital didapatkan dengan menggunakan teknik filterisasi digital. Secara garis besar proses dalam teknik ini adalah dengan melewati sinyal yang akan dianalisis pada filter dengan frekuensi dan skala yang berbeda (Popola, 2007).

Wavelet menganalisis data runtun waktu untuk dilatasi dan translasi data diskrit dengan menggunakan *mother wavelet* (t). Analisis DWT berdasarkan pada bentuk 2^{j-1} , ($j = 1, 2, 3, \dots$) (Percival & Walden, 2000). DWT dapat dikembangkan dari beberapa jenis *wavelet*, seperti *Haar*, *Daubechies*, *Biorthogonal*, *Coiflets*, *Symlets*, *Morlet and the Mexican Hat* (The Mathworks, 2005). Satu dari fungsi *mother wavelet* adalah *Wavelet Haar*, A. Haar memperkenalkannya pada tahun 1910.

Langkah transformasi *wavelet multilevel* menurut Ida Bagus, (2006) adalah

- a. Data ditransformasikan menggunakan DWT sehingga diperoleh koefisien *approximation* dan koefisien *detail*.

$$f \xrightarrow{H_1} (a_1 | d_1) \quad (2.1)$$

Untuk $f = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ dengan $N = 2^n$ merupakan banyaknya anggota f dan n merupakan konstanta positif.

Hasil dekomposisi level 1 adalah sebagai berikut:

$$a_1 = \left(\frac{x_1+x_2}{2}, \frac{x_3+x_4}{2}, \dots, \frac{x_{N-1}+x_N}{2} \right) \quad (2.2)$$

$$d_1 = \left(\frac{x_1-x_2}{2}, \frac{x_3-x_4}{2}, \dots, \frac{x_{N-1}-x_N}{2} \right) \quad (2.3)$$

a merupakan approximation data dan d hasil dekomposisi (DWs).

- b. Transformasi dari koefisien yang pertama akan menghasilkan koefisien *approximation* dan koefisien *detail* yang kedua.

$$f \xrightarrow{H_2} (a_2|d_2) \quad (2.4)$$

Hasil dekomposisi level 2 adalah sebagai berikut:

$$a_2 = \left(\frac{\dot{x}_1+\dot{x}_2}{2}, \frac{\dot{x}_3+\dot{x}_4}{2}, \dots, \frac{\dot{x}_{N-1}+\dot{x}_N}{2} \right) \quad (2.5)$$

dengan

$$\dot{x}_1 = \frac{x_1+x_2}{2}, \dot{x}_2 = \frac{x_3+x_4}{2}, \dots, \dot{x}_{N-1} = \frac{x_{N-3}+x_{N-2}}{2}, \dot{x}_N = \frac{x_{N-1}+x_N}{2}$$

$$d_2 = \left(\frac{\dot{x}_1-\dot{x}_2}{2}, \frac{\dot{x}_3-\dot{x}_4}{2}, \dots, \frac{\dot{x}_{N-1}-\dot{x}_N}{2} \right) \quad (2.6)$$

dengan

$$\dot{x}_1 = \frac{x_1-x_2}{2}, \dot{x}_2 = \frac{x_3-x_4}{2}, \dots, \dot{x}_{N-1} = \frac{x_{N-3}-x_{N-2}}{2}, \dot{x}_N = \frac{x_{N-1}-x_N}{2}$$

- c. Jika banyak levelnya adalah tiga, maka proses transformasi dilakukan sebanyak tiga kali.

Level maksimum dari transformasi signal *wavelet multilevel* adalah

$$level_{\max} = \frac{\ln\left(\frac{\text{panjang data(signal)}}{\text{panjang filter}}\right)}{\ln(2)} \quad (2.7)$$

Pada penelitian ini yang digunakan adalah transformasi *wavelet multilevel Haar* pada transformasi signal *One Dimensional* karena penggunaannya yang lebih sederhana dengan panjang filter *Haar* adalah 2.

E. Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur atau ciri adalah dengan mengkonversi signal suara ke dalam beberapa parameter, dimana ada sebagian informasi tidak berguna yang dibuang tanpa menghilangkan informasi dari signal suara tersebut. Hasil output dari ekstraksi ciri ini menjadi masukan pada proses pengenalan pola (Wenny Puspitasari, 2011). Ciri-ciri yang diekstraksi dari signal PCG detak jantung adalah sebagai berikut

1. Nilai minimum, nilai terkecil dari data numerik dekomposisi signal PCG.
2. Nilai maksimum, nilai terbesar dari data numerik dekomposisi signal PCG.
3. Mean, nilai rata-rata dari data numerik dekomposisi signal PCG.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.8)$$

dengan x_i adalah data ke- i dan n adalah banyaknya data.

4. Standar deviasi, mengukur besar dari variansi atau penyebaran dari rata-rata.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.9)$$

dengan x_i adalah data ke- i , \bar{x} adalah rata-rata, dan n adalah banyak data.

5. Energi, pada signal suara jantung energi total disetiap komponen detail dan aproksimasi memberikan informasi yang berguna tentang lokasi signal yang tidak diinginkan (*noise*) seperti suara dari tubuh, suara karena gerakan subjek dan gerakan diafragma stetoskop. Semakin rendah range frekuensi hasil dekomposisi maka memiliki energi normalisasi yang besar dikarenakan mengandung suara jantung, sedangkan semakin tinggi range frekuensi hasil dekomposisi maka memiliki energi normalisasi yang kecil karena

mengandung *noise* (Kumar, 2015). Energi dekomposisi rata-rata di setiap E_{Di} dihitung dengan persamaan berikut

$$E_{Di} = \frac{\sum (Di(k))^2}{\text{jumlah cuplik } Di} \quad (2.10)$$

dengan $k = 1, 2, 3, \dots$, panjang Di , $i = 1, 2, 3, \dots$, level maksimum dekomposisi.

Proses ekstraksi ciri dilakukan dengan bantuan *software* Matlab R2016a.

F. Logika *Fuzzy*

1. Pengertian Himpunan *Fuzzy*

Himpunan klasik (*crisp set*) adalah himpunan yang membedakan anggota dan bukan anggota dengan batasan yang jelas (Ross, 2010). Himpunan *fuzzy* merupakan perluasan dari himpunan klasik dimana keberadaan suatu elemen tidak lagi bernilai benar atau salah, tetapi akan selalu bernilai benar jika mempunyai derajat keanggotaan yang berada dalam rentang $[0,1]$ (Klir, 1997).]

Definisi 2.1 (Klir dan Bo Yuan, 1995:7)

Himpunan *fuzzy* A pada himpunan *universal* U didefinisikan sebagai himpunan yang direpresentasikan dengan fungsi yang mengawankan setiap $x \in U$ dengan bilangan *real* pada interval $[0,1]$, ditulis $u_A(x) \rightarrow [0,1]$ dengan nilai $u_A(x)$ menyatakan derajat keanggotaan x di A .

Apabila suatu elemen x dalam suatu himpunan A memiliki derajat keanggotaan *fuzzy* $u_A(x) = 0$ berarti x tidak menjadi anggota himpunan A , dan jika derajat keanggotaan *fuzzy* $u_A(x) = 1$ berarti x menjadi anggota penuh dari himpunan A . Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut (Sri Kusumadewi, 2010). yaitu :

- a. Linguistik, yaitu penamaan suatu himpunan yang memiliki suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami.

- b. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel.

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy* yaitu (Sri Kusumadewi, 2010).

- a. Variabel *Fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*.

- b. Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*.

- c. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan atau *universal* adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*.

- d. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diizinkan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.

2. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* kedalam derajat keanggotaan. Pendekatan fungsi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan derajat keanggotaan.

Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan (Sri Kusumadewi, 2010) :

- a. Representasi Linear

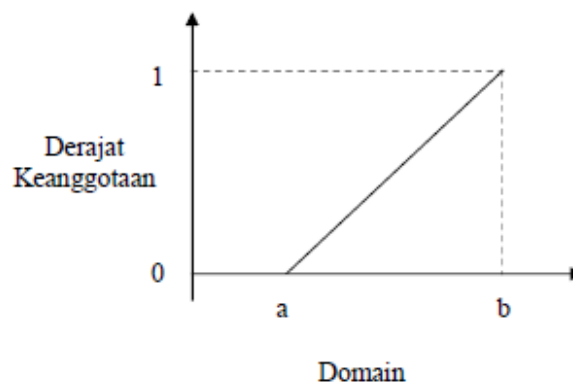
Pada representasi linear, pemetaan *input* derajat keanggotaanya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi

pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Keadaan linear himpunan *fuzzy* terdiri dari dua keadaan linear naik dan linear turun.

1) Representasi Linear Naik

Pada representasi linear naik, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan [0] bergerak ke kanan menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi dengan fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \end{cases} \quad (2.11)$$



Gambar 2.4 Representasi Linear Naik

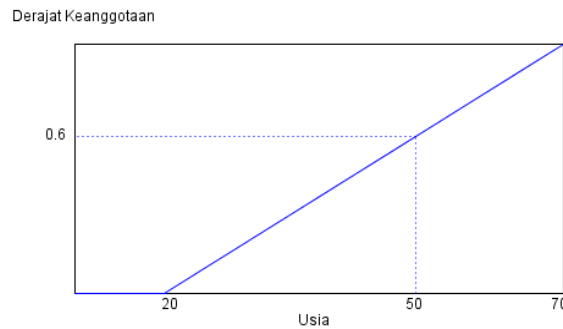
Keterangan :

a = nilai domain saat derajat keanggotaan sama dengan nol

b = nilai domain saat derajat keanggotaan sama dengan satu

Contoh 2.1 Fungsi keanggotaan untuk himpunan resiko seseorang terkena penyakit jantung seperti pada gambar 2.5.

$$\mu[50] = \frac{50-20}{70-20} = \frac{30}{50} = 0.6$$

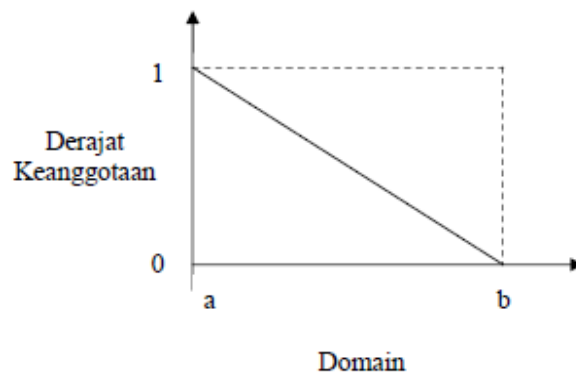


Gambar 2.5. Himpunan *fuzzy* : Risiko Penyakit Jantung

2) Representasi Linear Turun

Pada linear turun, garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki keanggotaan lebih rendah dengan fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases} \quad (2.12)$$



Gambar 2.6 Representasi Linear Turun

Keterangan :

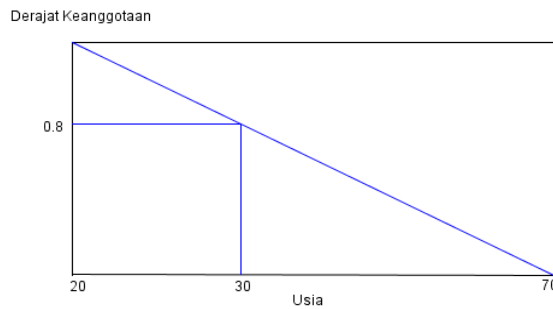
a = nilai domain saat derajat keanggotaan sama dengan satu

b = nilai domain saat derajat keanggotaan sama dengan nol

Contoh 2.2 Fungsi keanggotaan untuk himpunan deteksi dini penyakit jantung

ditunjukkan pada gambar 2.7. Pada usia 25 tahun seseorang melakukan deteksi dini penyakit jantung dengan derajat keanggotaan 0.8.

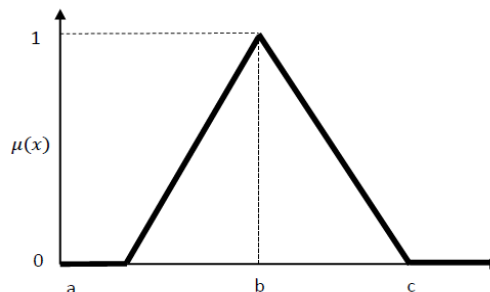
$$\mu[30] = \frac{70-30}{70-20} = \frac{40}{50} = 0.8$$



Gambar 2.7. Himpunan *fuzzy* : Deteksi Dini Penyakit Jantung

b. Representasi Kurva Segitiga

Representasi kurva segitiga pada dasarnya terbentuk dari gabungan 2 garis linear, yaitu linear naik dan linear turun. Kurva segitiga hanya memiliki satu nilai x dengan derajat keanggotaan tertinggi [1], hal tersebut terjadi ketika $x=b$. Nilai yang tersebar dipersekitaran b memiliki perubahan derajat keanggotaan menurun dengan menjauhi 1. Berikut adalah gambar representasi kurva segitiga.



Gambar 2.8. Representasi Kurva Segitiga

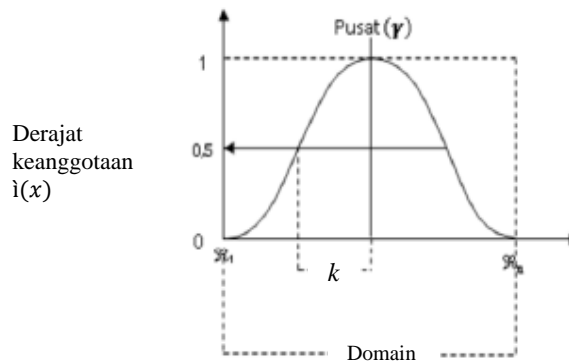
Fungsi keanggotaannya adalah

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \text{ dan } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b} & , b \leq x < c \end{cases} \quad (2.13)$$

c. Kurva Gauss

Kurva Gauss merupakan kurva berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 terletak pada pusat dengan domain γ , dan lebar kurva k seperti pada gambar berikut :

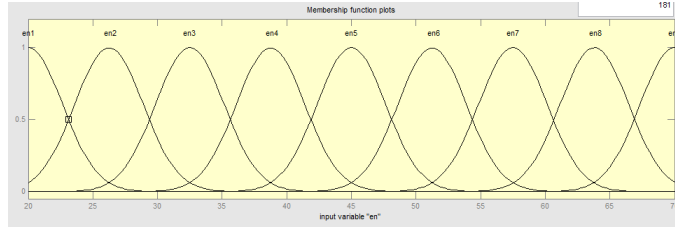
$$G(x; k; \gamma) = e^{-\frac{(x-\gamma)^2}{2k^2}} \quad (2.14)$$



Gambar 2.9. Representasi Kurva Gauss

Contoh 2.3 Kasus diagnosis penyakit jantung yang berdasarkan signal PCG, salah satu faktor yang mempengaruhi diagnosis adalah energi signal PCG. Representasi kurva pada Gambar 2.10 menunjukkan bahwa pada interval $[0 \ 20]$ dan $[0 \ 70]$ nilai keanggotaannya mengalami fluktuasi. Untuk nilai energi 35,0419 terdapat pada en_3 maka derajat keanggotaannya adalah 0,6321.

$$\mu_{en_3} = e^{-\frac{(35.0419-32.5)^2}{2(2.654)^2}} = 0,6321$$



Gambar 2.10. Kurva Gauss himpunan *fuzzy* : Energi Signal PCG

3. Operator *Fuzzy*

Terdapat 3 operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh yaitu (Sri Kusumadewi, 2010:23)

a. Operator *AND* (\cap)

Operator *AND* merupakan operator yang berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan *a – predikat* sebagai hasil dengan operator *AND* diperoleh dengan mengambil derajat keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan. Misalkan A dan B adalah himpunan *fuzzy* pada *U*, maka himpunan *fuzzy* $A \cap B$ didefinisikan dengan fungsi keanggotaan berikut.

$$\mu_{A \cap B}(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)), \forall x, y \in U \quad (2.14)$$

b. Operator *OR* (\cup)

Operator *OR* merupakan operator yang berhubungan dengan operasi *union* pada himpunan *a – predikat* sebagai hasil dengan operator *OR* diperoleh dengan mengambil derajat keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan. Misalkan A dan B adalah himpunan *fuzzy* pada *U*, maka

himpunan *fuzzy* $A \cup B$ didefinisikan dengan fungsi keanggotaan berikut.

$$\mu_{A \cup B}(x, y) = \max(\mu_A(x), \mu_B(y)), \forall x, y \in U \quad (2.15)$$

c. Operator NOT

Operator NOT merupakan operator yang berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan $a - \text{predikat}$ sebagai hasil dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangi derajat keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1. Misalkan A adalah himpunan *fuzzy* pada U . Sedangkan A' merupakan komplemen dari suatu himpunan *fuzzy* A , maka himpunan *fuzzy* A' didefinisikan dengan fungsi keanggotaan berikut:

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.16)$$

4. Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan perluasan dari logika klasik. Proposisi pada logika klasik hanya mengenal benar atau salah dengan proposisi nilai 0 atau 1. Sedangkan logika *fuzzy* menyamaratakan 2 nilai logika klasik dengan membiarkan proposisi nilai kebenaran pada interval $[0,1]$ (Wang, 1997).

Alasan digunakannya logika *fuzzy* antara lain (Sri Kusumadewi, 2010):

- a. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti dengan konsep matematis sebagai dasar dari penalaran *fuzzy* yang sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- b. Logika *fuzzy* sangat fleksibel, artinya mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan, dan ketidakpastian yang menyertai permasalahan.
- c. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat. Jika diberikan sekelompok data yang cukup homogen, dan kemudian ada beberapa data yang “eksklusif”, maka logika *fuzzy* memiliki kemampuan untuk

menangani data eksklusif.

- d. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
- e. Logika *fuzzy* dapat mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para ahli secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan. Dalam hal ini, sering dikenal dengan nama *Fuzzy Expert System* menjadi bagian terpenting.
- f. Logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional. Hal ini umumnya terjadi pada aplikasi di bidang teknik mesin maupun teknik elektro.
- g. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami. Logika *fuzzy* menggunakan bahasa sehari-hari sehingga mudah dimengerti.

5. Sistem Fuzzy

Sistem *fuzzy* dapat diartikan sebagai deskripsi linguistik (aturan *fuzzy* Jika-Maka) yang lengkap tentang proses yang dapat dikombinasikan kedalam sistem (Wang, 1997). Ada beberapa sistem *fuzzy* yang biasa digunakan, salah satunya yaitu sistem *fuzzy* Mamdani.

a. Sistem Fuzzy Mamdani

Sistem Mamdani ini dikenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 atau sering disebut dengan Metode *Max-Min*. Pada sistem ini diperlukan empat tahap untuk mendapatkan *output*, antara lain (Sri Kusumadewi, 2010)

1) Pembentukan himpunan *fuzzy*

Pada metode Mamdani, variabel *input* dan variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

2) Aplikasi Fungsi Implikasi

Aturan atau implikasi pada sistem ini secara umum dapat dipresentasikan sebagai berikut: Jika $(x_1 \text{ is } A_1)$ dan $(x_2 \text{ is } A_2) \dots$ dan $(x_n \text{ is } A_n)$ Maka $(y \text{ is } B)$ dengan $(x_1 \text{ is } A_1) \dots (x_n \text{ is } A_n)$ menyatakan *input* sedangkan $(y \text{ is } B)$ menyatakan *output* dengan x_1, \dots, x_n dan y menyatakan variabel dan A_1, \dots, A_n dan B menyatakan himpunan *fuzzy*. Pada metode ini, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min.

3) Inferensi fuzzy

Inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Metode yang biasa digunakan dalam melakukan inferensi adalah metode Max (*Maximum*). Pada metode *max* solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan yang kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator *OR* (union/gabungan).

Secara umum dapat dituliskan :

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], u_{kf}[x_i]) \quad (2.18)$$

dengan

$\mu_{sf}[x_i]$ menyatakan derajat keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-i.

$u_{kf}[x_i]$ menyatakan derajat keanggotaan konsekuen *fuzzy* sampai aturan ke-i.

4) Penegasan (defuzzifikasi)

Defuzzifikasi adalah komponen penting dalam pemodelan sistem *fuzzy*. Defuzzifikasi digunakan untuk menghasilkan nilai variabel solusi yang diinginkan dari suatu daerah konsekuen *fuzzy* (Setiadji, 2009).

Terdapat tiga jenis defuzzifikasi (Wang, 1997), yaitu:

a) *Center of Gravity* (Metode *Centroid*)

Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (y^*) daerah *fuzzy*, secara umum dirumuskan

$$y^* = \frac{\int_y y\mu(y)dy}{\int_y \mu(y)dy}; \text{ untuk variabel kontinu} \quad (2.19)$$

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^n y_i\mu(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(y_i)}; \text{ untuk variable diskrit} \quad (2.20)$$

Dengan

y = nilai tegas

μ_y = derajat keanggotaan nilai tegas

b) *Center Average Defuzzifier* (CAD)

Defuzzifikasi ini dapat digunakan jika *output* fungsi keanggotaan dari beberapa proses *fuzzy* mempunyai bentuk yang sama. Metode ini mengambil nilai rata-rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan. Pada defuzzifikasi ini rumus yang digunakan yaitu:

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l w_l}{\sum_{l=1}^M w_l} \quad (2.21)$$

dengan

M = jumlah himpunan *fuzzy*

\bar{y} = pusat himpunan *fuzzy* ke- l

w_l = tinggi himpunan *fuzzy* ke- l

c) *Maximum Defuzzifier*

Defuzzifikasi ini dengan mengambil salah satu dari nilai-nilai variabel dimana himpunan bagian *fuzzy* memiliki nilai kebenaran maksimum sebagai nilai tegas bagi variabel *output* (y^*).

Ada tiga jenis *maximum* defuzzifier, yaitu:

i. *Smallest of Maxima (SOM)*

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.

ii. *Largest of Maxima (LOM)*

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.

iii. *Mean of Maxima (MOM)*

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.

$$y^* = \frac{\int_{hgt} y \, dy}{\int_{hgt} dy} \quad (2.22)$$

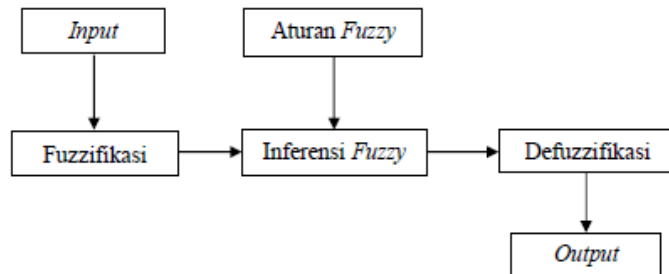
dengan

y = nilai tegas

hgt = himpunan semua titik dimana μ_y mencapai nilai maksimumnya.

b. Susunan Sistem *Fuzzy*

Susunan sistem *fuzzy* dapat digambarkan pada diagram berikut:



Gambar 2.11. Susunan Sistem *Fuzzy*.

Langkah-langkah dalam sistem *fuzzy* adalah:

1) Menentukan *Input* dan *Output*

Input merupakan variabel/data yang akan dimasukan pada suatu sistem.

Output merupakan hasil dari keluaran atau kesimpulan dari *input* pada suatu sistem.

2) Fuzzifikasi

Fuzzifikasi yaitu pemetaan dari himpunan tegas (sesuatu yang bernilai pasti) ke himpunan *fuzzy* (sesuatu yang bernilai samar) dengan suatu fungsi keanggotaan. Dengan kata lain proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non-*fuzzy* menjadi variabel *fuzzy* dengan suatu fungsi keanggotaan. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun maka nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang selanjutnya akan digunakan untuk proses pengolahan secara *fuzzy*.

3) Menentukan Aturan *Fuzzy*

Sebuah pengetahuan aturan *fuzzy* dipresentasikan dalam aturan *fuzzy* Jika-Maka. Aturan *fuzzy* Jika-Maka dapat dipresentasikan dalam pernyataan berikut,

“Jika x is A , maka y is B ”, dengan A dan B menyatakan himpunan *fuzzy* dan " x is A " disebut anteseden (premis) sedangkan " y is B " disebut konsekuen (kesimpulan). Aturan Jika-Maka dapat dipresentasikan pada beberapa variable anteseden dan satu variabel konsekuan dengan operator AND atau operator OR. Aturan dapat dinyatakan sebagai berikut (Wang, 1997).

Jika $(x_1 \text{ is } A_1) \cdot (x_2 \text{ is } A_2) \cdot \dots \cdot (x_n \text{ is } A_n)$ Maka $(y \text{ is } B)$, dengan $(x_1 \text{ is } A_1)$, $(x_2 \text{ is } A_2) \cdot \dots \cdot (x_n \text{ is } A_n)$ menyatakan anteseden sedangkan $(y \text{ is } B)$ menyatakan konsekuen dan " \cdot " menyatakan operator himpunan *fuzzy* (misal AND atau OR).

4) Melakukan Inferensi *fuzzy*

Inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Metode yang biasa digunakan dalam melakukan inferensi adalah metode Max (*Maximum*).

5) Melakukan Defuzifikasi

Defuzifikasi adalah komponen penting dalam pemodelan system *fuzzy*. Defuzzifikasi digunakan untuk menghasilkan nilai variable solusi yang diinginkan dari suatu daerah konsekuan *fuzzy* (Setiadji, 2009).

G. Uji Ketepatan Diagnosis

Untuk mengetahui tingkat keakuratan pembentukan model maka harus dilakukan pengujian baik terhadap data latih maupun data uji, pengujian dilakukan dengan mencari akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas.

Berikut ukuran hasil diagnosis untuk menghitung sensitifitas dan spesifikasi (Sharma, 2013)

- a. *True Positive* (TP), yaitu pasien memiliki penyakit dan hasil klasifikasi menyatakan pasien memiliki penyakit.

- b. *False Positive* (FP), yaitu pasien tidak memiliki penyakit dan hasil klasifikasi menyatakan pasien memiliki penyakit.
- c. *True Negative* (TN), yaitu pasien tidak memiliki penyakit dan hasil klasifikasi menyatakan pasien tidak memiliki penyakit.
- d. *False Negative* (FN), yaitu pasien memiliki penyakit dan hasil klasifikasi menyatakan pasien tidak memiliki penyakit.

1. Sensitivitas

Sensitivitas berkaitan dengan tes kemampuan untuk mengidentifikasi hasil yang positif. Rumus untuk menghitung sensitivitas. (Altman D.G., 1994).

$$sensitivitas = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (2.23)$$

2. Spesifisitas

Spesifisitas berkaitan dengan tes kemampuan untuk mengidentifikasi hasil negatif. (Altman D.G., 1994).

$$spesifisitas = \frac{TN}{TN + FP} \times 100\% \quad (2.24)$$

3. Akurasi

Hasil klasifikasi model dapat diketahui tingkat akurasinya dengan membandingkan kebenarannya dengan klasifikasi yang asli atau sesungguhnya. Model yang baik akan memiliki tingkat akurasi 100 %. Secara umum akurasi dapat dihitung dengan rumus:

$$akurasi = \frac{\text{jumlah data benar}}{\text{jumlah data keseluruhan}} \times 100\% \quad (2.25)$$

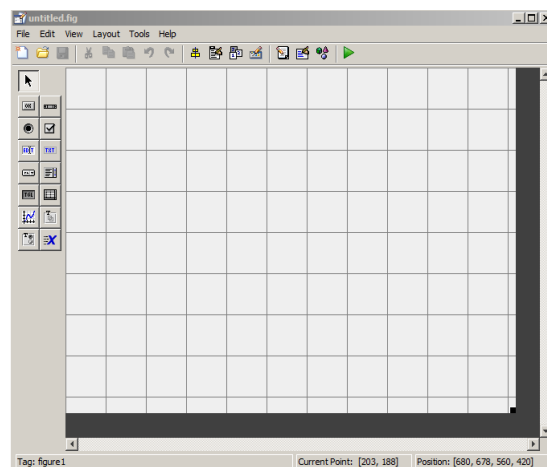
H. *Graphical User Interface (GUI)*

GUIDE (*GUI development environment*) menyediakan alat untuk merancang aplikasi yang diinginkan. Dengan menggunakan *GUIDE Layout Editor* dapat merancang *User Interface (UI)* secara grafis. GUIDE secara otomatis menghasilkan kode MATLAB untuk membangun UI, yang dapat dimodifikasi untuk memprogram perilaku aplikasi yang dibuat (MathWorks, 2017).

Keunggulan GUI Matlab dibandingkan dengan bahasa pemrograman yang lain adalah :

1. Banyak digunakan dan sesuai untuk aplikasi-aplikasi berorientasi sains.
2. Mempunyai fungsi *built-in* sehingga tidak mengharuskan pengguna membuat perintah sendiri.
3. Ukuran file (gambar dan M-file) tidak terlalu besar.
4. Kemampuan grafis cukup baik.

GUI dapat ditampilkan dengan menuliskan *guide* pada *command window* lalu memilih Blank GUI(Default) untuk menampilkan halaman baru. Format penyimpanan file GUI terdiri dari dua ekstensi yaitu *fig-file* dan *m-file*.



Gambar 2.12. Tampilan awal pada GUI pada Matlab R2016a