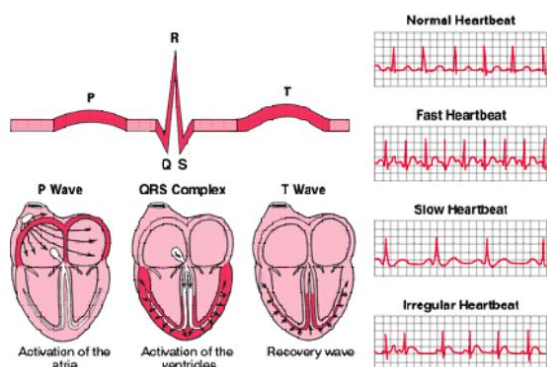


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Elektrokardiograf

Elektrokardiograf atau yang biasa disebut EKG merupakan suatu gambaran sinyal yang terbentuk sebagai hasil dari aktivitas listrik pada jantung. Pada sinyal EKG, akan tampak kurva tegangan fungsi waktu dengan puncak yang berbeda-beda. Sinyal EKG dapat dijadikan acuan dalam mendiagnosis penyakit jantung oleh ahli jantung, karena memiliki bentuk sinyal yang spesifik. Sebuah EKG dapat digunakan untuk mengukur denyut jantung, mendiagnosis adanya infark miokard yang sedang berkembang, mengidentifikasi aritmia, dan mengecek efek obat atau peralatan yang digunakan pada saat terjadi penanganan jantung. Sinyal EKG diambil dengan memasang elektroda pada tubuh pasien dengan jumlah dan posisi yang telah ditentukan (Sugondo Hadiyoso, 2011).

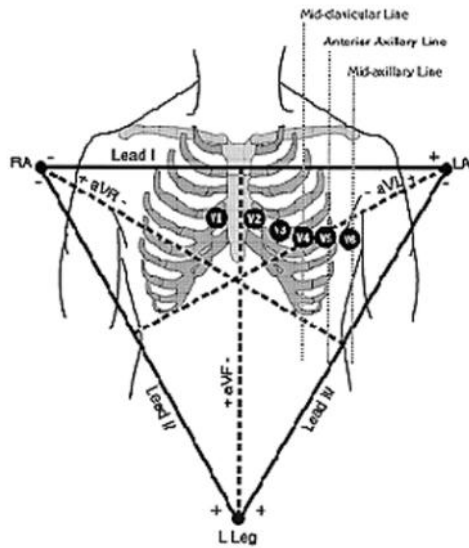


Gambar 2.1 Sinyal Keluaran EKG

Sumber : Azhar (2009)

Sinyal EKG terdiri dari lima gelombang yaitu P, Q, R, S, dan T. Gelombang P terbentuk dari kontraksi atrium dari sinus atrialis ke nodus ventricularis saat darah memasuki jantung dari seluruh tubuh. Gelombang R merupakan tanda akhir dari kontraksi atrium dan awal dari kontraksi ventrikel saat darah memasuki ruang ventrikel. Kompleks QRS berasal dari adanya kontraksi pada ventrikel yang memompakan darah ke seluruh tubuh. Gelombang T terbentuk dari hasil repolarisasi ventrikel atau keadaan dimana ventrikel kembali pada posisi istirahat setelah selesai memompa darah ke seluruh tubuh. Interval P-R menandakan waktu dari permukaan kontraksi atrial sampai permulaan kontraksi ventrikel. Interval R-T menunjukkan kontraksi otot (ventrikel sistole), dan

interval T-R menyebabkan adanya relaksasi otot (ventrikel diastole) (Sugondo Hadiyoso, 2011)



Gambar 2. 2 Sadapan EKG

Sumber : Azhar (2009)

Saat melakukan pengukuran sinyal bioelektrik jantung, elektroda perlu diletakkan pada beberapa tempat tertentu. Dalam ilmu kardiologi, dikenal 12 sadapan EKG standar. Sadapan bipolar Einthoven terdiri dari tiga sadapan (lead 1, lead 2, dan lead 3). Sadapan unipolar terdiri dari tiga sadapan (aVR, aVL, dan aVF). Sadapan dada (precordial) terdiri dari enam sadapan (V1, V2, V3, V4, V5, dan V6). Akan tetapi, sadapan yang paling baik dalam memberikan informasi tentang aktifitas bioelektrik jantung secara menyeluruh adalah lead 1 dan aVF. Hal ini bisa terjadi karena kedua sadapan ini saling berpotongan secara tegak lurus sebagai garis horizontal dan vertikal, yang mana dalam keadaan normal arus bioelektrik jantung berjalan diantara kedua sumbu ini (Azhar, 2009).

## 2.2 Sudden Cardiac Death

Sudden Cardiac Death (SCD) merupakan kematian tak terduga karena jantung yang terjadi dalam waktu yang singkat (umumnya dalam satu jam setelah timbulnya gejala) pada orang yang memiliki riwayat penyakit jantung sebelumnya maupun tidak. Sebagian besar kasus SCD berkaitan dengan aritmia jantung (Ali A Sovari, 2014). Bila hal ini terjadi, darah tidak dapat dipompa ke bagian tubuh lainnya hanya dalam hitungan menit (Shen T W, 2007).

Penyebab umum dari SCD adalah takiaritmia seperti *Ventricular Fibrillation* (VF) atau *Ventricular Tachycardia* (VT). *Automatic External Defibrillator* (AED) atau *Implantable Cardioverter Defibrillator* (ICD) merupakan pengobatan yang terbukti efektif

untuk masalah tarkiaritmia seperti VF dan VT. ICD merupakan faktor utama dalam pencegahan dan pengobatan pasien SCD (Ali A Sovari, 2014).

Cara untuk mendagnosis SCD yaitu dengan melakukan uji laboratorium. Pengujian laboratorium meliputi uji enzim jantung (kreatin kinase, myoglobin, troponin), elektrolit, kalsium, magnesium, tingkat obat-obatan secara kuantitatif, *toxicology screen*, hormon perangsang kelenjar tiroid, dan *Brain Natriuretic Peptide* (BNP). Selain itu, ada beberapa tes lain untuk memprediksi atau mengevaluasi risiko SCD, seperti *chest radiography*, *echocardiography*, *nuclear scintigraphy*, *Electrocardiography* (ECG), *coronary angiography*, dan *electrophysiology* (Ali A Sovari, 2014).

Insidensi SCD pada pria lebih tinggi daripada wanita. Rasio perbandingan kejadian SCD pada pria dan wanita yaitu 3:1, dimana rasio ini secara umum mencerminkan kejadian penyakit arteri koroner restruktif pada pria lebih tinggi daripada wanita. Puncak kejadian SCD terjadi pada orang dengan usia 45 sampai 75 tahun. Kejadian SCD meningkat seiring dengan pertambahan usia seseorang. Hal ini disebabkan karena prevalensi penyakit arteri koroner meningkat seiring bertambahnya usia. Namun, kejadian kematian mendadak karena arteri koroner berkurang seiring dengan bertambahnya usia (Ali A Sovari, 2014).

### 2.3 Poincare Plot of RR-Interval Difference

*Poincare Plot of RR-Interval Difference* (PORRID) merupakan sebuah grafik yang merepresentasikan variasi selisih antara RR-Interval yang membentuk suatu pola. PORRID merupakan pengembangan dari Poincare Plot RR-Interval konvensional. PORRID memberikan lebih banyak informasi tentang pengaturan denyut jantung. PORRID menghasilkan perbedaan pola yang signifikan antara subjek normal dan tidak normal. Pada objek normal, akan dihasilkan pola yang melingkar, sedangkan pada objek tidak normal, akan dihasilkan pola yang tidak melingkar (Siwindarto, 2014).

Langkah-langkah dalam pembuatan *Poincare Plot of RR-Interval Difference* adalah sebagai berikut :

- Tahap pertama yaitu mendeteksi setiap puncak gelombang R. Setelah didapat letak puncak gelombang R, tahap selanjutnya yaitu menghitung waktu antara dua gelombang R yang berdekatan atau disebut interval-RR (RRI) menggunakan persamaan :

$$RRI_n = t_{n+1} - t_n \dots\dots\dots (2- 1)$$

dengan  $t_n$  merupakan waktu ke n dan  $t_{n+1}$  merupakan waktu ke n+1. Perhitungan nilai RRI ini dilakukan secara terus menerus pada semua gelombang R yang telah didapat

dan dilakukan secara berurutan. Jika semua RRI yang ada disusun terurut, maka akan dihasilkan vektor data RRI sebagai berikut :

$$\overrightarrow{RRI} = (RRI_1, RRI_2, \dots, RRI_n) \dots\dots\dots (2- 2)$$

sehingga dapat dibuat vektor data  $\overrightarrow{RRI}_n$  dan  $\overrightarrow{RRI}_{n+1}$  :

$$\overrightarrow{RRI}_n = (RRI_1, RRI_2, \dots, RRI_{n-1}) \dots\dots\dots (2- 3)$$

$$\overrightarrow{RRI}_{n+1} = (RRI_2, RRI_3, \dots, RRI_n) \dots\dots\dots (2- 4)$$

- Tahap berikutnya yaitu membuat vektor data selisih RRI dengan mencari nilai selisih dua vektor dari persamaan (2-3) dan (2-4) :

$$\overrightarrow{\Delta RRI} = \overrightarrow{RRI}_{n+1} - \overrightarrow{RRI}_n = (\Delta RRI_1, \Delta RRI_2, \dots, \Delta RRI_m) \dots\dots\dots (2- 5)$$

sehingga dapat dibuat vektor data  $\overrightarrow{\Delta RRI}_n$  dan  $\overrightarrow{\Delta RRI}_{n+1}$  :

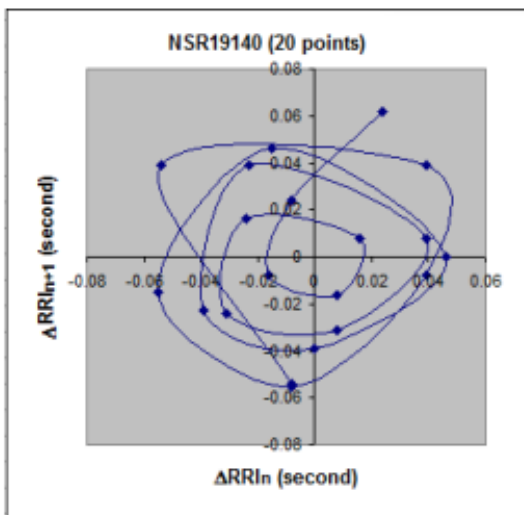
$$\overrightarrow{\Delta RRI}_n = (\Delta RRI_1, \Delta RRI_2, \dots, \Delta RRI_{m-1}) \dots\dots\dots (2- 6)$$

$$\overrightarrow{\Delta RRI}_{n+1} = (\Delta RRI_2, \Delta RRI_3, \dots, \Delta RRI_m) \dots\dots\dots (2- 7)$$

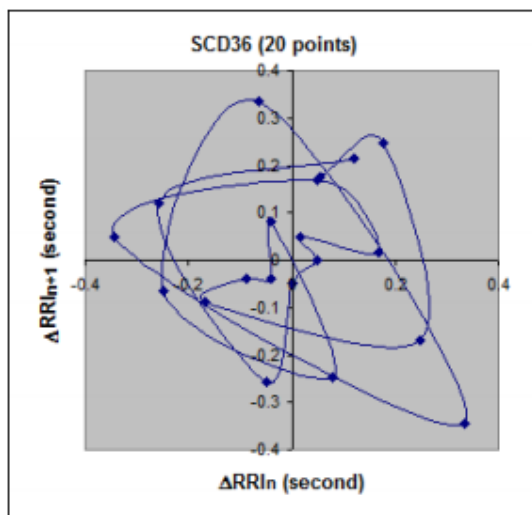
- Selanjutnya, dilakukan plotting berdasarkan persamaan (2-6) dan (2-7) dengan  $\overrightarrow{\Delta RRI}_n$  sebagai absis dan  $\overrightarrow{\Delta RRI}_{n+1}$  sebagai ordinat. Hasilnya merupakan sebuah titik koordinat sebagai berikut :

$$P_n = (\Delta RRI_n , \Delta RRI_{n+1}) \dots\dots\dots (2- 8)$$

Plotting titik-titik ini dinamakan *Poincare Plot of RR-Interval Difference* atau disebut PORRID.



Gambar 2. 3 Plot beberapa RRI dalam jangka waktu pendek objek normal  
 Sumber : Siwindarto (2014)



Gambar 2. 4 Plot beberapa RRI dalam jangka waktu pendek objek tidak normal

Sumber : Siwindarto (2014)

PORRID menghasilkan pola yang khas untuk pasien normal dan yang memiliki penyakit jantung. Pada kategori *Normal Sinus Rythm* (NSR) akan dihasilkan pola berbentuk lingkaran dengan radius yang relatif kecil. Pada kategori *Sudden Cardiac Death* (SCD) akan dihasilkan bentuk pola berbentuk elips dengan sumbu mayor terletak pada kuadran 2 dan kuadran 4, dengan nilai yang relatif besar jika dibandingkan dengan sumbu minornya (sumbu minor terletak pada kuadran 1 dan kuadran 3). Pada kategori *Congestive Heart Failure* (CHF) akan dihasilkan pola berbentuk elips dengan sumbu mayor terletak pada kuadran 2 dan kuadran 4, dengan nilai yang relatif kecil, serta pola berbentuk sayap yang terletak pada kuadran 2 dan kuadran 4, yang nilainya relatif besar jika dibandingkan dengan sumbu elips tersebut. Pada kategori Aritmia akan dihasilkan pola berbentuk lingkaran dengan radius yang kecil, serta pola berbentuk seperti sayap yang terletak di kuadran 2 dan kuadran 4, yang nilainya relatif besar jika dibandingkan dengan radius lingkaran tersebut (Siwindarto, 2015).

Pada penelitian terdahulu, ada beberapa pasien pada kategori CHF yang memiliki bentuk pola yang mirip dengan SCD. Hal ini mengindikasikan bahwa subjek tersebut adalah penderita CHF yang berisiko mengalami SCD. Pada kasus lain, pasien yang dikategorikan normal menghasilkan pola lingkaran, tetapi ada beberapa titik yang menyimpang cukup jauh dari lingkarang tersebut ke kuadran 2 dan kuadran 4. Penyimpangan seperti ini mirip dengan pola pada kategori Aritmia. Walaupun pada standard ECG pasien tersebut dikategorikan normal, sebenarnya pasien tersebut berisiko mengalami Aritmia. Dari perbandingan tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa PORRID

dapat menampilkan informasi yang belum terlihat dalam ECG. Oleh karena itu, teknik PORRID berpotensi untuk deteksi dini penyakit jantung (Siwindarto, 2015).

Untuk menganalisis PORRID, diperlukan beberapa parameter untuk mendeskripsikan informasi yang ada di dalamnya. Pertama-tama, hasil plotting berupa titik koordinat yang didapat melalui persamaan (2-8) dikelompokkan berdasarkan kuadran dan garis sumbu nya. Aturan pengelompokannya adalah sebagai berikut :

- Jika  $\Delta RRI_n$  bernilai positif dan  $\Delta RRI_{n+1}$  bernilai positif, maka  $P_n$  berada di Q1 (kuadran 1).
- Jika  $\Delta RRI_n$  bernilai negatif dan  $\Delta RRI_{n+1}$  bernilai positif, maka  $P_n$  berada di Q2 (kuadran 2).
- Jika  $\Delta RRI_n$  bernilai negatif dan  $\Delta RRI_{n+1}$  bernilai negatif, maka  $P_n$  berada di Q3 (kuadran 3).
- Jika  $\Delta RRI_n$  bernilai positif dan  $\Delta RRI_{n+1}$  bernilai negatif, maka  $P_n$  berada di Q4 (kuadran 4).
- Jika  $\Delta RRI_n$  bernilai positif dan  $\Delta RRI_{n+1}$  bernilai nol, maka  $P_n$  berada di sumbu +X.
- Jika  $\Delta RRI_n$  bernilai nol dan  $\Delta RRI_{n+1}$  bernilai positif, maka  $P_n$  berada di sumbu +Y.
- Jika  $\Delta RRI_n$  bernilai negatif dan  $\Delta RRI_{n+1}$  bernilai nol, maka  $P_n$  berada di sumbu -X.
- Jika  $\Delta RRI_n$  bernilai nol dan  $\Delta RRI_{n+1}$  bernilai negatif, maka  $P_n$  berada di sumbu -Y.
- Jika  $\Delta RRI_n$  bernilai nol dan  $\Delta RRI_{n+1}$  bernilai nol, maka  $P_n$  berada di titik pusat.

Kemudian, dihitung beberapa parameter yang disebut sebagai deskriptor yang digunakan untuk pendeskripsian informasi yang ada di dalam PORRID :

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Kuadran 1 :

$$S_{Q1} = \sqrt{(\Sigma \Delta RRI_n)^2 + (\Sigma \Delta RRI_{n+1})^2} |_{\Delta RRI_n > 0 \text{ dan } \Delta RRI_{n+1} > 0} \dots \dots \dots (2- 9)$$

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Kuadran 2 :

$$S_{Q2} = \sqrt{(\Sigma \Delta RRI_n)^2 + (\Sigma \Delta RRI_{n+1})^2} |_{\Delta RRI_n < 0 \text{ dan } \Delta RRI_{n+1} > 0} \dots \dots \dots (2- 10)$$

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Kuadran 3 :

$$S_{Q3} = \sqrt{(\Sigma \Delta RRI_n)^2 + (\Sigma \Delta RRI_{n+1})^2} |_{\Delta RRI_n < 0 \text{ dan } \Delta RRI_{n+1} < 0} \dots \dots \dots (2- 11)$$

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Kuadran 4 :

$$S_{Q4} = \sqrt{(\Sigma \Delta RRI_n)^2 + (\Sigma \Delta RRI_{n+1})^2} |_{\Delta RRI_n > 0 \text{ dan } \Delta RRI_{n+1} < 0} \dots \dots \dots (2- 12)$$

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Sumbu +X :

$$S_{+X} = \sqrt{(\Sigma \Delta RRI_n)^2 + (\Sigma \Delta RRI_{n+1})^2} |_{\Delta RRI_n > 0 \text{ dan } \Delta RRI_{n+1} = 0} \dots \dots \dots (2- 13)$$

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Sumbu -X :

$$S_{-X} = \sqrt{(\Sigma\Delta RRI_n)^2 + (\Sigma\Delta RRI_{n+1})^2} |_{\Delta RRI_n < 0 \text{ dan } \Delta RRI_{n+1} = 0} \dots\dots\dots (2- 14)$$

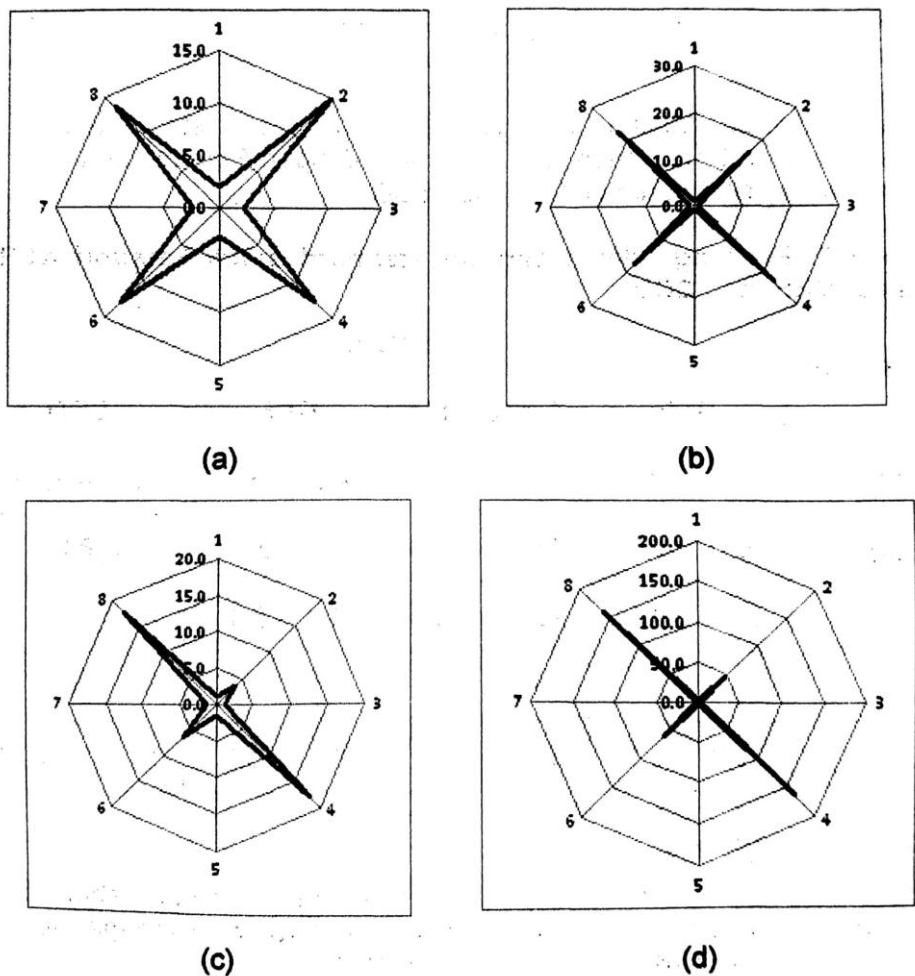
➤ Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Sumbu +Y :

$$S_{+Y} = \sqrt{(\Sigma\Delta RRI_n)^2 + (\Sigma\Delta RRI_{n+1})^2} |_{\Delta RRI_n = 0 \text{ dan } \Delta RRI_{n+1} > 0} \dots\dots\dots (2- 15)$$

➤ Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Sumbu -Y:

$$S_{-Y} = \sqrt{(\Sigma\Delta RRI_n)^2 + (\Sigma\Delta RRI_{n+1})^2} |_{\Delta RRI_n = 0 \text{ dan } \Delta RRI_{n+1} < 0} \dots\dots\dots (2- 16)$$

Dengan melakukan penjumlahan vektor Variabilitas Absolut pada setiap kuadran dan garis sumbu, maka akan diperoleh Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada setiap kuadran dan garis sumbu. Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada setiap kuadran dan garis sumbu akan menghasilkan delapan titik pada kuadran dan sumbu yang berbeda. Bila setiap titik yang berdekatan dihubungkan satu dengan yang lainnya, maka akan dihasilkan suatu diagram yang bentuknya menyerupai stabilimentum pada laba-laba, yang dinamakan Diagram Stabilimentum (Siwindarto, 2015).



Gambar 2. 5 Diagram Stabilimentum untuk (a) NSR, (b) Aritmia, (c) CHF, dan (d) SCD dengan skala yang disesuaikan untuk pengamatan  
 Sumber : Siwindarto (2015)

Berdasarkan dari hasil pengamatan Diagram Stabilimentum, untuk kategori SCD memiliki ciri khas yaitu nilai  $S_{Q1}$ ,  $S_{Q2}$ ,  $S_{Q3}$ , dan  $S_{Q4}$  cenderung besar jika dibandingkan dengan kategori lainnya. Ciri khas lainnya yaitu nilai  $S_{Q2}$  dan  $S_{Q4}$  relatif besar bila dibandingkan dengan  $S_{Q1}$  dan  $S_{Q3}$ . Ciri khas lainnya yaitu nilai  $S_{ax}$  relatif kecil jika dibandingkan dengan  $S_{Q2}$  atau  $S_{Q4}$ . Oleh karena itu, perlu dibuat suatu deskriptor standard yang mampu menerjemahkan ciri khas dari pola tersebut. Deskriptor tersebut terdiri dari lima parameter yaitu  $S_{24}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{ax}$ ,  $R_{24/13}$ ,  $R_{24/ax}$ . Untuk mendapatkan nilai lima parameter tersebut, digunakan persamaan :

$$S_{24} = S_{Q2} + S_{Q4} \dots\dots\dots (2- 17)$$

$$S_{13} = S_{Q1} + S_{Q3} \dots\dots\dots (2- 18)$$

$$S_{ax} = S_{+X} + S_{-X} + S_{+Y} + S_{-Y} \dots\dots\dots (2- 19)$$

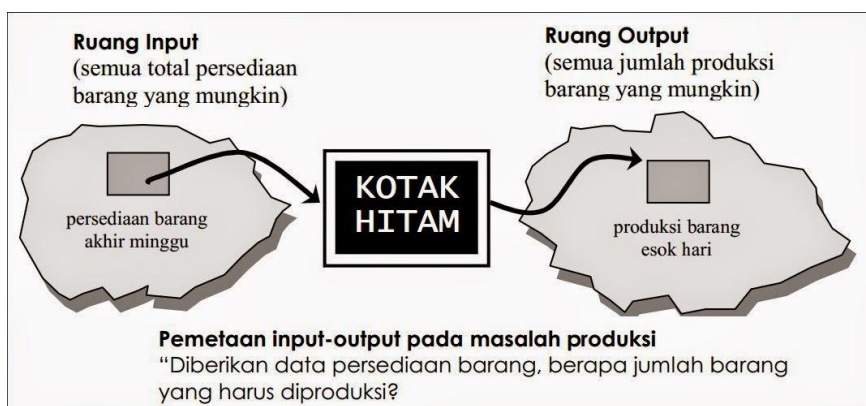
$$R_{24/13} = \frac{S_{24}}{S_{13}} \dots\dots\dots (2- 20)$$

$$R_{24/ax} = \frac{S_{24}}{S_{ax}} \dots\dots\dots (2- 21)$$

(Siwindarto, 2015)

### 2.4 Fuzzy Logic

*Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lofti A. Zadeh pada tahun 1965. *Fuzzy Logic* merupakan peningkatan dari logika Boolean yang mengenalkan konsep kebenaran sebagian. Logika klasik mengajarkan segala hal dideskripsikan dalam binary (0 atau 1, hitam atau putih, benar atau salah). *Fuzzy Logic* menggantikan konsep kebenaran Boolean menjadi tingkatan kebenaran. *Fuzzy Logic* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1. Dalam banyak hal, *Fuzzy Logic* digunakan sebagai suatu cara untuk memetakan permasalahan dari masukan ke keluaran.



Gambar 2. 6 Contoh pemetaan input dan output

Sumber : Sri Kusumadewi (2010)

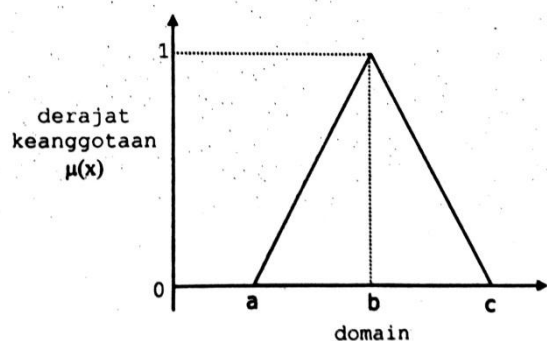


*Fuzzy Logic* diibaratkan sebagai sebuah kotak hitam yang menghubungkan antara input dengan output. Pada kotak hitam tersebut, berisi cara dan metode yang digunakan untuk mengolah input sehingga menghasilkan output yang baik (Sri Kusumadewi, 2010).

### 2.4.1 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan atau biasa disebut *membership function* merupakan kurva yang memetakan titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan). Derajat keanggotaan memiliki nilai antara 0 dan 1. Salah satu cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai derajat keanggotaan yaitu dengan menggunakan pendekatan fungsi. Ada beberapa pendekatan fungsi yang biasa digunakan :

#### 2.4.1.1 Fungsi Kurva Segitiga



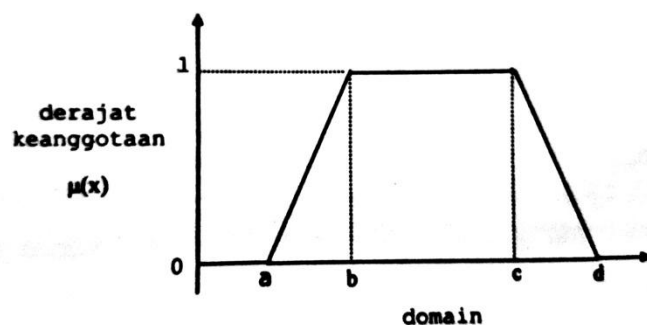
Gambar 2. 7 Kurva Segitiga

Sumber : Sri Kusumadewi (2010)

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara dua buah garis linear. Pada kurva segitiga, fungsi keanggotaannya yaitu :

$$\mu[x] = \left\{ \begin{array}{ll} 0 ; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} ; & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b} ; & b \leq x \leq c \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2- 22)$$

#### 2.4.1.2 Fungsi Kurva Trapesium



Gambar 2. 8 Kurva Trapesium

Sumber : Sri Kusumadewi (2010)

Kurva trapesium pada dasarnya menyerupai kurva segitiga. Namun, pada kurva trapesium memiliki nilai keanggotaan 1 pada beberapa titik. Fungsi keanggotaan untuk kurva trapesium yaitu :

$$\mu[x] = \left\{ \begin{array}{ll} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2- 23)$$

**2.4.2 Operator Dasar untuk Operasi Himpunan Fuzzy**

Ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasikan dan memodifikasi himpunan fuzzy. Nilai keanggotaan sebagai hasil operasi dari dua himpunan biasa disebut dengan *fire strength* atau  $\alpha$ -predikat. Ada tiga operator dasar yang diciptakan oleh zadeh, yaitu :

**2.4.2.1 Operator AND**

Operator AND berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. Nilai  $\alpha$ -predikat hasil dari operasi AND didapat dengan mengambil nilai himpunan keanggotaan terkecil pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \dots\dots\dots (2- 24)$$

**2.4.2.2 Operator OR**

Operator OR berhubungan dengan operasi union pada himpunan. Nilai  $\alpha$ -predikat hasil dari operasi OR didapat dengan mengambil nilai himpunan keanggotaan terbesar pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(y)) \dots\dots\dots (2- 25)$$

**2.4.2.3 Operator NOT**

Operator NOT berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. Nilai  $\alpha$ -predikat hasil dari operasi NOT didapat dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan dengan 1.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A(x) \dots\dots\dots (2- 26)$$

**2.4.3 Penalaran Monoton**

Metode penalaran monoton merupakan dasar dari teknik implikasi fuzzy. Jika ada dua daerah fuzzy direlasikan dengan implikasi sederhana seperti berikut :

IF x is A THEN y is B

Transfer fungsi :

$$Y = f((x,A),B)$$

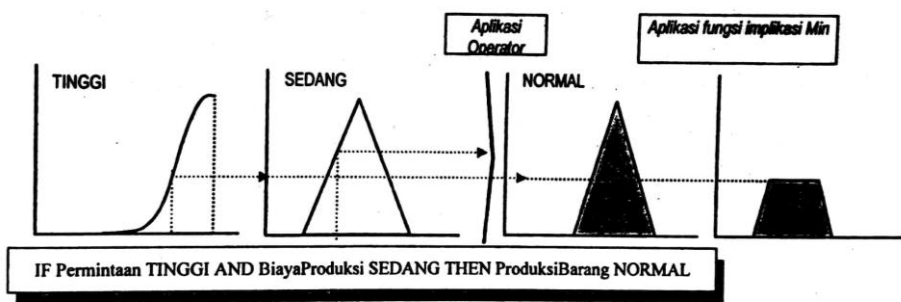
Maka, nilai outputnya dapat langsung diestimasi secara langsung dari nilai keanggotaan yang berhubungan dengan antesedennya (Sri Kusumadewi, 2010).

**2.4.4 Fungsi Implikasi**

Setiap aturan pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum dalam fungsi implikasi yaitu :

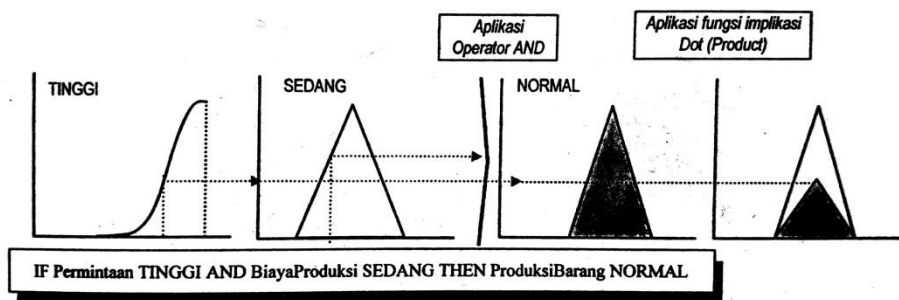
$$IF\ x\ is\ A\ THEN\ y\ is\ B \dots\dots\dots (2- 27)$$

Dengan x dan y adalah skalar, serta A dan B adalah himpunan fuzzy. Secara umum, ada dua fungsi implikasi yang biasa digunakan, yaitu fungsi implikasi MIN dan fungsi implikasi DOT. Pada fungsi implikasi MIN, output dari himpunan fuzzy akan dipotong. Sedangkan pada fungsi implikasi DOT, output dari himpunan fuzzy akan diskala (Sri Kusumadewi, 2010).



Gambar 2. 9 Fungsi Implikasi MIN

Sumber : Sri Kusumadewi (2010)



Gambar 2. 10 Fungsi Implikasi DOT

Sumber : Sri Kusumadewi (2010)

**2.4.5 Fuzzy Tsukamoto**

Fuzzy Tsukamoto merupakan perluasan dari penalaran monoton. Pada metode ini, setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk If-Then harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Hasilnya, keluaran hasil interferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas berdasarkan  $\alpha$ -predikat. Hasil akhirnya, diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot (Sri Kusumadewi, 2010).

## 2.5 MATLAB

MATLAB merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory*. MATLAB merupakan suatu program komputer yang menggunakan bahasa tingkat tinggi yang digunakan untuk komputasi teknik. Bahasa ini mengintegrasikan proses komputasi, visualisasi, dan pemrograman dengan mengekspresikan masalah dan solusi ke dalam notasi-notasi matematika.

Dalam lingkup perkuliahan, MATLAB digunakan untuk alat pembelajaran standar untuk tahap pengenalan dan lanjut dalam bidang matematika, teknik, dan sains. Pada bidang industri, MATLAB digunakan untuk penelitian, pengembangan, serta analisis. Secara umum, kegunaan dari MATLAB yaitu untuk matematika dan komputasi, pengembangan algoritma, akuisisi data, pemodelan dan simulasi, pembuatan prototipe, analisis data, dan pengembangan aplikasi. MATLAB juga memiliki fungsi toolbox yang memungkinkan penggunaannya menggunakan teknologi khusus seperti pemrosesan sinyal, sistem kontrol, jaringan saraf, logika fuzzy, dan lain-lain.