

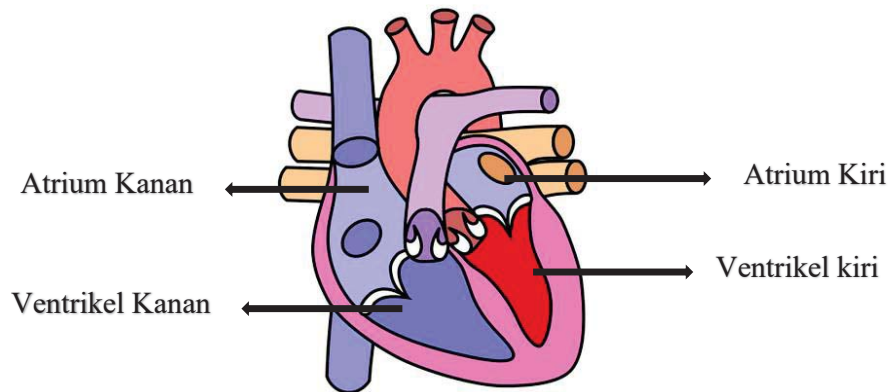
## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Fisiologi Jantung

Jantung adalah organ *muscular* berlubang yang berfungsi sebagai pompa ganda pada sistem kardiovaskular. Sisi kanan jantung memompa darah ke paru sedangkan sisi kiri jantung memompa darah ke seluruh tubuh. Berat jantung normal sekitar 1 pon (0,45 kg) dan sebesar tinju orang dewasa dan terletak di dalam rongga dada di antara ruang dada (*sternum kolumna vertebralis*) (Atwood *et al.*, 1996).

Jantung terdiri dari beberapa ruang jantung yaitu atrium dan ventrikel. Setiap ruang tersebut terbagi lagi menjadi dua yaitu atrium kanan dan kiri, serta ventrikel kanan dan kiri. Adapun ilustrasi ruang jantung dapat dilihat pada Gambar 2.1.

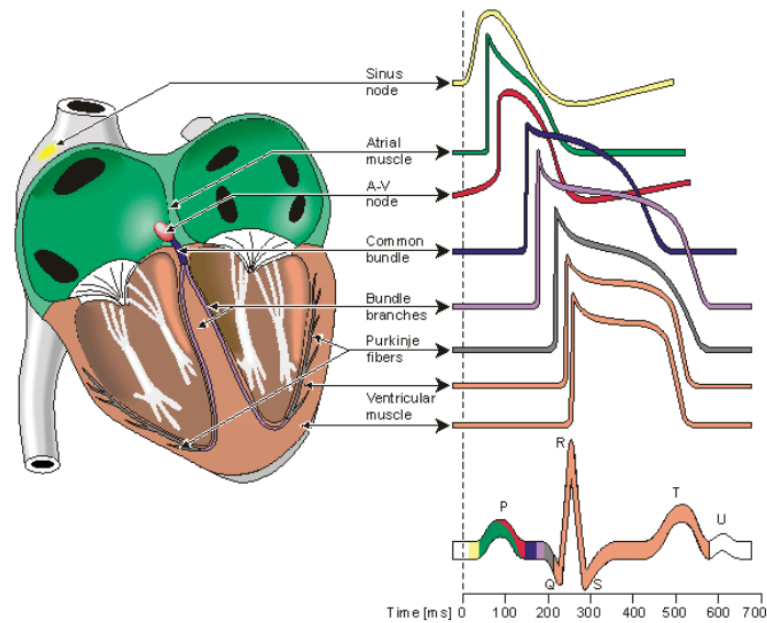


Gambar 2. 1 Katup-katup jantung (Narvinda, 2016).

#### 2.2 Sinyal Listrik yang Dibangkitkan Jantung

Kerja jantung yang ritmis dikendalikan oleh suatu sinyal listrik yang diawali oleh stimulasi spontan sel-sel otot khusus yang terletak di atrium kanan. Sel-sel ini membentuk *nodus sinoatrium* (SA), atau pemacu jantung. *Nodus* SA melepaskan sinyal dengan interval teratur sekitar 72 kali per menit. Namun kecepatan pelepasan sinyal ini dapat meningkat atau menurun bergantung pada saraf yang terletak di luar jantung sebagai respons terhadap kebutuhan tubuh akan darah serta rangsangan lainnya.

Sinyal listrik dari *nodus* SA memicu depolarisasi sel-sel otot kedua atrium sehingga keduanya berkontraksi dan memompa darah ke dalam ventrikel. Kemudian terjadi repolarisasi atrium untuk melihat bentuk potensial aksi. Sinyal listrik kemudian berjalan menuju *nodus atrioventrikular* (AV) yang memicu depolarisasi ventrikel kanan dan kiri sehingga kedua ventrikel berkontraksi dan mendorong darah ke dalam sirkulasi paru dan umum. Otot ventrikel kemudian mengalami repolarisasi dan rangkaian proses ini kembali berulang. Depolarisasi dan repolarisasi otot jantung menyebabkan arus mengalir di dalam badan, menimbulkan potensial listrik di kulit. Adapun ilustrasi aktivitas gelombang denyut jantung dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2. 2** Ilustrasi gelombang denyut jantung (Permana, dkk., 2015).

### 2.3 Pengukuran Elektrokardiografi

Elektrokardiografi (EKG) merupakan instrumentasi untuk mengukur potensial listrik jantung. Pemeriksaan ini adalah salah satu sarana diagnosis dalam berbagai kondisi jantung, baik patologis atau normal. EKG menghasilkan sinyal periodik secara ritmik yang menggambarkan kejadian bioelektrik pada fungsi jantung (Jones, 2005).

Untuk mendapatkan sinyal jantung manusia dilakukan pemasangan *lead* di beberapa bagian tubuh. Sinyal listrik ini ditimbulkan karena adanya penyebaran arus listrik di sepanjang otot jantung. Dari permukaan kulit di dada atau kulit di kaki dan tangan sudah mewakili sinyal jantung (Flint *et al.*, 1995).

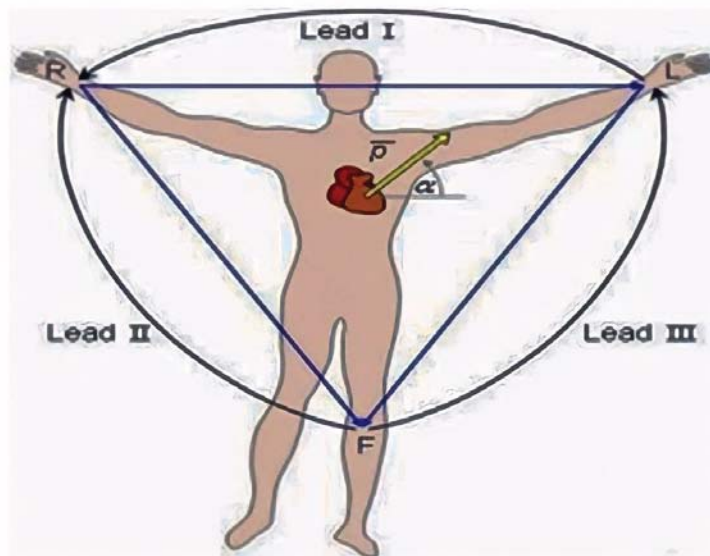
### 2.3.1 Lead Bipolar

*Lead* bipolar adalah menyatakan selisih potensial listrik antara dua tempat tertentu pada permukaan tubuh (Bakpas, dkk., 2014). Sinyal EKG yang dianalisis adalah sinyal yang diambil menggunakan 3 *lead* sesuai dengan segitiga Einthoven.

Pada sistem ini sinyal EKG tiap *lead* merupakan beda potensial antar anggota tubuh antara lain (Rizal dan Suryani, 2008):

- a. *Lead* I : beda potensial antara tangan kiri dengan tangan kanan
- b. *Lead* II : beda potensial antara kaki kiri dan kaki kanan
- c. *Lead* III : beda potensial antara kaki kiri dengan tangan kanan

Skema *lead* bipolar pada EKG ditunjukkan pada Gambar 2.3.



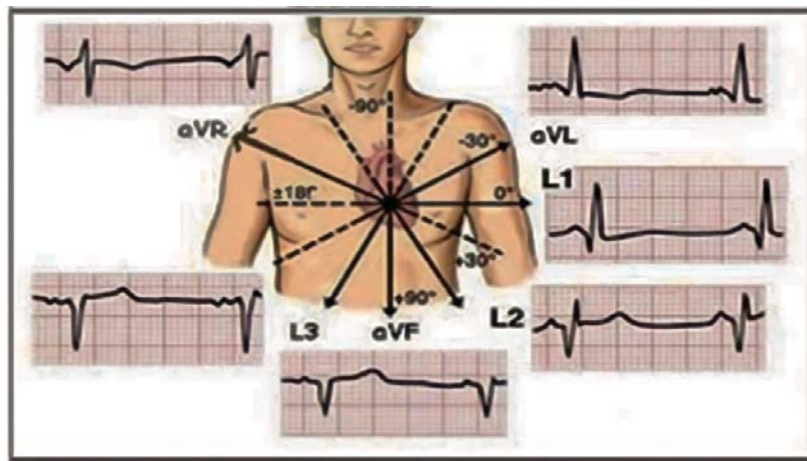
**Gambar 2.3** *Lead* bipolar (Narvinda, 2016)

### 2.3.2 Lead Unipolar

*Lead* unipolar merupakan *lead* yang disesuaikan secara elektrik untuk mengukur potensial listrik absolut pada satu tempat pencatatan, yaitu dari elektroda positif yang ditempatkan pada ekstremitas (Bakpas, dkk., 2014). Bagian-bagian pada *lead* unipolar adalah sebagai berikut (Rizal dan Suryani, 2008):

- a. aVL dibentuk dengan lengan kiri elektroda positif dan anggota tubuh lainnya (ekstremitas) elektroda negatif
- b. aVR dibentuk dengan lengan kanan elektroda positif dan anggota tubuh lainnya (ekstremitas) elektroda negatif
- c. aVF dibentuk dengan membuat kaki kiri elektroda positif dan anggota tubuh lainnya (ekstremitas) elektroda negatif.

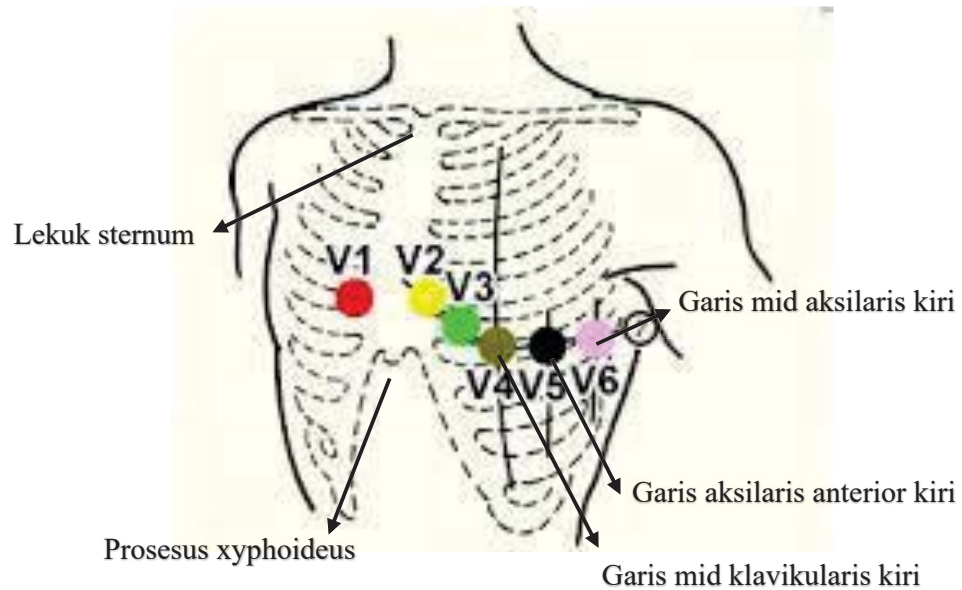
Skema *lead* unipolar pada EKG ditunjukkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** *Lead* unipolar (Bakpas, dkk., 2014)

### 2.3.3 Lead Precordial

*Lead precordial* / dada (V1 sampai V6) adalah *lead* yang menunjukkan arus listrik jantung yang dideteksi oleh elektroda. *Lead* ini ditempatkan pada posisi yang berbeda di dinding dada (Bakpas, dkk., 2014). Adapun skema *lead* prekordial pada EKG ditunjukkan pada Gambar 2.5.



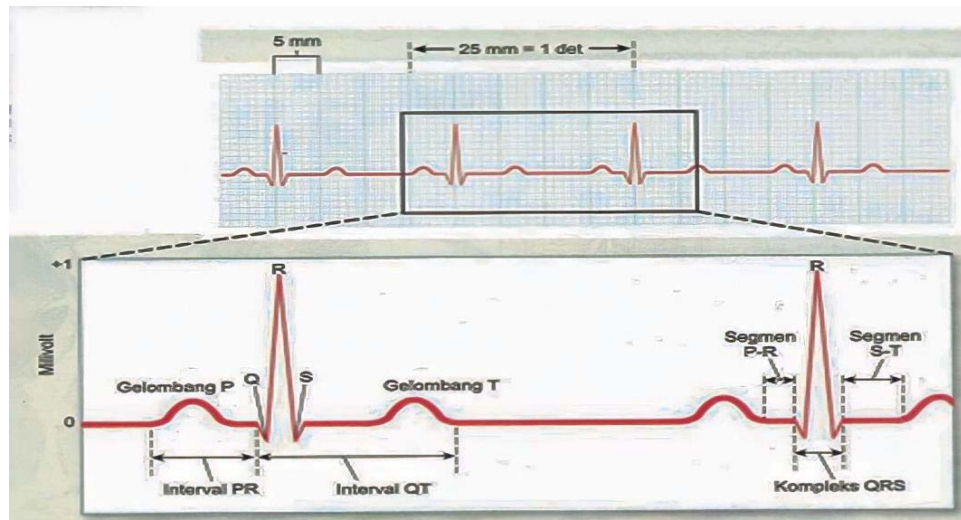
**Gambar 2. 5** Lead prokordial (Bakpas, dkk., 2014)

Adapun posisi *lead* prekordial adalah sebagai berikut (Bakpas, dkk., 2014):

- a. *lead* V1: ruang interkosta IV, tepi sternum kanan
- b. *lead* V2: ruang interkosta IV, tepi sternum kiri
- c. *lead* V3: pertengahan antara V2 dan V4
- d. *lead* V4: ruang interkostal V, garis mid klavikularis kiri
- e. *lead* V5: garis aksilaris anterior kiri
- f. *lead* V6: garis mid aksilaris kiri.

#### 2.4 Sinyal Elektrokardiografi Normal

Sebuah EKG dengan detak jantung normal memiliki sebuah siklus yang terdiri atas gelombang P, gelombang Q, gelombang R, gelombang S dan gelombang T. Adapun contoh sinyal elektrokardiografi normal dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2. 6** Sinyal normal elektrokardiografi (Sulastomo, 2019).

## 2.5 Kelainan Fibrilasi Atrium Jantung

Ketidaknormalan aktivitas listrik pada jantung atau biasa dikenal dengan aritmia jantung, yang dapat diketahui melalui rekaman EKG. Kelainan pada jantung berupa gangguan pada frekuensi, keteraturan, tempat asal denyut atau konduksi impuls listrik pada jantung. Pada umumnya, diagnosis kelainan jantung dapat dilakukan oleh dokter ahli jantung. Tetapi seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, kelainan jantung dapat diklasifikasikan dengan sistem komputer (Narvinda, 2016).

Fibrilasi atrium (FA) merupakan aritmia yang paling sering ditemui dalam praktik sehari-hari, dengan prevalensi yang mencapai 1-2% dan akan terus meningkat dalam 50 tahun mendatang. Fibrilasi atrium adalah aktivitas atrium yang tidak terkoordinasi yang mengakibatkan perburukan fungsi mekanis atrium. Pada elektrokardiografi (EKG), ciri dari FA adalah tidak adanya konsistensi gelombang P dan digantikan oleh gelombang getar dengan amplitudo, bentuk dan durasi yang bervariasi. Adapun contoh sinyal rekaman EKG pasien yang mengalami FA dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2. 7** Rekaman EKG *atrial fibrillation* (Sulastomo, 2019).

Ciri-ciri FA pada gambaran EKG umumnya sebagai berikut:

1. EKG permukaan menunjukkan pola interval R-R yang ireguler yang dapat dilihat pada sadapan V1,
2. tidak terdapat gelombang P yang jelas pada rekaman EKG, dan
3. interval antara dua gelombang aktivasi atrium yang bervariasi.

## 2.6 Fraktal

Fraktal berasal dari bahasa latin, dari kata *frangere* yang berarti terbelah atau menjadi fragmen-fragmen yang tidak teratur. Fraktal adalah sebuah benda geometris yang dihasilkan karena adanya pengulangan pola dalam proses rekursif atau iteratif (Sari, 2017). Fraktal memiliki bentuk yang kasar pada semua skala dan terlihat dapat dibagi-bagi secara radikal (Ratri, dkk., 2014).

Beberapa contoh objek *fraktal* yang terkenal adalah *Koch Snowflake*, *Segitiga Sierpinski*, *Apollonian Gasket*, dan himpunan *Mandelbrot*. Rekaman elektrokardiografi juga dapat dianalisis menggunakan fitur fraktal karena memiliki keteraturan untuk mendeskripsikan keseluruhan dari sinyal. Secara umum sifat-sifat fraktal ada 2 macam, yaitu:

### 2.6.1 Self similarity (Ukuran Sama)

Fraktal adalah objek yang memiliki kemiripan atau ukuran sama (*self similarity*) namun dalam skala yang berbeda. *Self similarity* didefinisikan sebagai bagian kecil objek yang sangat menyerupai keseluruhan suatu objek tersebut. Contoh objek yang memiliki sifat *self similarity* seperti deretan pegunungan,

permukaan planet Jupiter, kumpulan awan di langit, kembang kol dan paru-paru manusia (Sari, 2017).

### 2.6.2 Dimensi

Fraktal memiliki dimensi berupa bilangan pecahan yang digunakan untuk membandingkan fraktal yang satu dengan fraktal yang lainnya (Murwani, 2011). Dimensi fraktal adalah jumlah kuantitatif yang menggambarkan sebuah objek mengisi suatu ruang tertentu. Jika sebuah garis dibagi menjadi  $N$  bagian yang sama, maka setiap bagian memiliki rasio dari keseluruhan bagian. Perhitungan menggunakan mesin komputer sangat membantu untuk menganalisis bentuk-bentuk fraktal yang menarik, indah, dan bervariasi (Narvinda, 2016).

## **2.7 Metode Eksponen Hurst**

Metode eksponen Hurst pertama kali dikenalkan oleh H.E Hurst (1951). Metode ini terbukti dapat digunakan untuk menganalisis data runtun waktu dengan sangat baik. Nilai eksponen Hurst dihitung dengan cara melihat tingkat ketergantungan nilai rasio perbandingan panjang jangkauan suatu data ( $R$ ) terhadap nilai standar deviasi data pada rentang tersebut ( $S$ ) yang dievaluasi untuk masing-masing nilai rentang ( $n$ ). Nilai komponen  $n$  didapatkan dengan membagi total panjang data ( $N$ ) dengan beberapa pembagi tetap ( $n = \frac{N}{2}, \frac{N}{4}, \frac{N}{8}, \dots$ ). Hurst menemukan bahwa skala perbandingan nilai  $\left(\frac{R}{S}\right)$  meningkat seiring dengan bertambahnya nilai  $n$  melalui suatu hubungan (Selvi, 2011):

$$\frac{R(n)}{S(n)} = cn^H \quad 2.1$$

Dari persamaan (2.1) didapatkan nilai eksponen Hurst dengan cara menghubungkan grafik antara  $\log(n)$  terhadap  $\log\left(\frac{R}{S}\right)$ . Kemiringan garis regresi dari kurva linier ini diaproksimasi sebagai nilai  $H$  sehingga nilai ini akan berada pada rentang antara 0 dan 1.

Kale dan Butar (2011) mengatakan bahwa analisis  $\left(\frac{R}{S}\right)$  yang digunakan pada data runtun waktu untuk mengestimasi nilai eksponen Hurst. Jika data runtun waktu



berdistribusi normal maka nilai estimasi eksponen Hurst juga berdistribusi normal.

Prosedur estimasi melibatkan beberapa langkah yaitu:

a. Menghitung nilai  $\left(\frac{R}{S}\right)$  untuk  $N = \frac{N}{2}$ .

1. Menghitung *mean*:

$$\mu_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad 2.2$$

2. Menghitung total kumulatif pada setiap titik waktu (Kale and Butar, 2011):

$$\Gamma_n = \sum_{i=1}^k (X_i - \mu_n) \quad 2.3$$

dengan  $X_i$  merupakan nilai runtun waktu ke- $i$  dan  $\mu_n$  = rata-rata dari data Selisih antara maksimum kumulatif dan minimum kumulatif, dinotasikan dengan  $R$  (Kale and Butar, 2011).

$$R = Maks(\Gamma_n) - Min(\Gamma_n) \quad 2.4$$

3. Kemudian menghitung standar deviasi, sebagai berikut (Kale and Butar, 2011):

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu_n)^2} \quad 2.5$$

Standar deviasi digunakan untuk mengukur jumlah variasi atau sebaran jumlah nilai data.

4. Terakhir menghitung nilai  $\left(\frac{R}{S}\right)$ .

b. Selanjutnya menghitung nilai  $\left(\frac{R}{S}\right)$  untuk  $n = \frac{N}{4}$ . Nilai  $\left(\frac{R}{S}\right)$  dihitung sesuai dengan langkah pertama untuk dibagi lagi menjadi dua segmen. Kemudian menghitung nilai rata-rata  $\left(\frac{R}{S}\right)$ . Prosedur tersebut diulangi untuk interval berturut-turut lebih kecil selama kumpulan data membagi setiap segmen menjadi dua.

- c. Nilai eksponen Hurst didapat dari grafik hubungan antara  $\log(n)$  terhadap  $\log\left(\frac{R}{S}\right)$ . Kemiringan garis regresi dari kurva linier ini disimulasikan sebagai nilai eksponen Hurst seperti pada persamaan berikut:

$$\log\left(\frac{R}{S}\right) = \text{Log}(c) + H \log(n) \quad 2.6$$

- d. Hubungan antara nilai eksponen Hurst dengan dimensi fraktal dirumuskan dengan persamaan (Sampurno, dkk., 2011):

$$D = 2 - H \quad 2.7$$

dengan  $D$  merupakan dimensi fraktal dan  $H$  adalah koefisien Hurst.