



Hak cipta dan penggunaan kembali:

Lisensi ini mengizinkan setiap orang untuk menggubah, memperbaiki, dan membuat ciptaan turunan bukan untuk kepentingan komersial, selama anda mencantumkan nama penulis dan melisensikan ciptaan turunan dengan syarat yang serupa dengan ciptaan asli.

Copyright and reuse:

This license lets you remix, tweak, and build upon work non-commercially, as long as you credit the origin creator and license it on your new creations under the identical terms.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

2.1.1 Fungsi Jantung

Jantung adalah, dalam istilah yang paling sederhana, sebuah pompa yang terdiri dari jaringan otot. Seperti semua pompa, jantung membutuhkan sumber energi dan oksigen agar dapat berfungsi. Aksi pompa jantung diatur oleh sistem konduksi listrik yang mengkoordinasikan kontraksi dari berbagai bilik jantung. Jantung memompa darah ke seluruh tubuh dan menampungnya kembali setelah dibersihkan organ paru-paru. Adapun ruang jantung terbagi ke dalam empat bagian yaitu atrial kanan, atrial kiri, ventrikel kanan dan ventrikel kiri. Jantung bekerja melalui mekanisme secara berulang dan berlangsung terus menerus yang juga disebut sebagai siklus denyut jantung.

Otot jantung memiliki sebuah mekanisme untuk mengalirkan impuls listrik guna melakukan kontraksi atau memompa dan melakukan relaksasi dalam setiap siklusnya. Mekanisme aliran listrik yang menimbulkan aksi tersebut dipengaruhi oleh beberapa jenis elektrolit seperti K^+ , Na^+ , dan Ca^{++} . Aliran listrik tersebut disebarkan ke jaringan sekitar jantung dan dihantarkan melalui cairan-cairan yang dikandung oleh tubuh. Sehingga sebagian kecil aktifitas listrik ini juga mencapai jaringan

permukaan tubuh misalnya pada permukaan dada, punggung atau pada pergelangan atas tangan, dan hal ini dapat dideteksi atau direkam dengan menggunakan alat khusus yang disebut dengan elektrokardiograf.

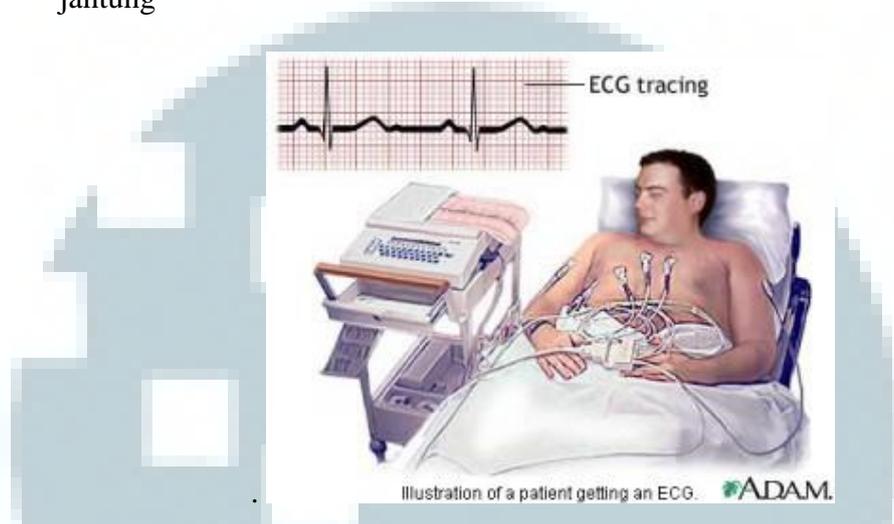
Sebuah stimulus listrik yang dihasilkan oleh *sinus node* (disebut juga *node sinoatrial*, atau *SA node*), yang merupakan jaringan kecil khusus yang terletak di atrium kanan (ruang atas kanan) jantung. *Sinus node* menghasilkan stimulus listrik secara teratur (60-100 kali per menit dalam kondisi normal) dan kadang-kadang disebut sebagai "alat pacu jantung". Stimulus listrik ini memulai perjalanan turun melalui jalur konduksi dan menyebabkan ruang jantung dibawahnya berkontraksi dan memompa darah keluar.

Impuls listrik merambat dari *sinus node* ke *node* atrioventrikular (juga disebut *AV node*), dimana impuls melambat untuk waktu yang sangat singkat, kemudian terus ke dalam ventrikel. Impuls terbagi ke jalur kanan dan kiri untuk memberikan stimulasi listrik ke ventrikel kanan dan kiri. (University of Chicago Medicine, 2014)

2.1.2 Definisi Elektrokardiogram (EKG) dan Kegunaannya

Elektrokardiogram merupakan suatu grafik yang menampilkan data kelistrikan jantung seseorang yang direkam dengan alat elektrokardiograf. Untuk mendapatkan sinyal jantung manusia dilakukan dengan cara penempelan sadapan (*Lead*) di tubuh manusia. Pengukuran EKG ini adalah pengukuran sinyal listrik dari kulit tubuh. Sinyal listrik ini

ditimbulkan sebagai impuls untuk menggerakkan otot jantung tertentu dan sebagai akibat kontraksi otot karena aliran darah yang dipompa oleh jantung



Gambar 2.1 Ilustrasi Penggunaan EKG (Westminster Family Medical Center, 2013)

Sinyal listrik dari permukaan kulit di dada atau kulit di kaki dan tangan sudah dapat mewakili sinyal kelistrikan jantung. Setiap bagian gelombang pada rekaman EKG dapat dikorelasikan dengan aktifitas tertentu di jantung. EKG dapat digunakan untuk mendiagnosis kecepatan denyut jantung yang abnormal, gangguan irama jantung, serta kerusakan otot jantung. Ini disebabkan oleh karena adanya aktivitas listrik yang dapat memicu aktivitas secara mekanis, sehingga apabila terjadi kelainan pola listrik, maka biasanya juga akan disertai adanya kelainan mekanis kerja pada otot jantung manusia. (Westminster Family Medical Center, 2013)

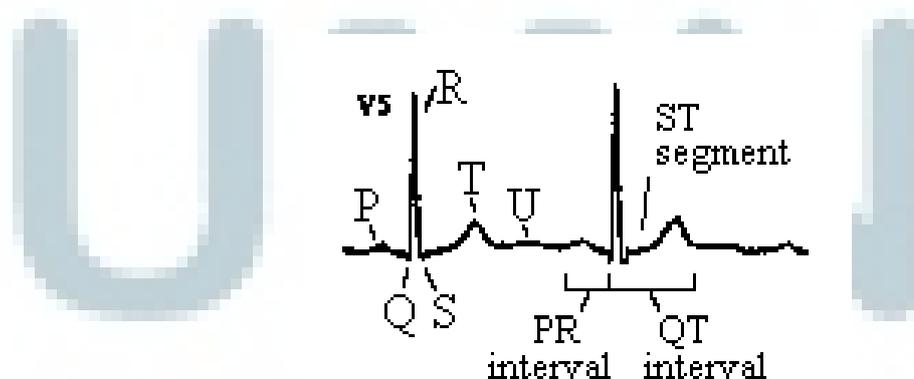
Perbedaan antara peletakan sadapan EKG di dada dan di tangan dan kaki adalah hanya pada besar dan kecilnya (amplitudo) dari sinyal,

sedangkan bentuk sinyalnya tetap sama. Peran EKG sangat penting dalam bidang kedokteran khususnya jantung karena:

1. Merupakan standar emas untuk diagnosis aritmia jantung
2. EKG memandu tingkatan terapi dan risiko untuk pasien yang dicurigai memiliki infark otot jantung akut
3. EKG membantu menemukan gangguan elektrolit (mis. hiperkalemia dan hipokalemia)
4. EKG memungkinkan penemuan abnormalitas konduksi (mis. blok cabang berkas kanan dan kiri)
5. EKG digunakan sebagai alat tapis penyakit jantung iskemik selama uji stres jantung
6. EKG kadang-kadang berguna untuk mendeteksi penyakit bukan jantung (mis. emboli paru atau hipotermia).

(Braunwald E., 1997).

2.1.3 Segmentasi Gelombang EKG



Gambar 2.2 Skematik EKG Normal (Jenkins, D., Stephen Gerred, 2009)

Dalam EKG, satu siklus aktifitas jantung yang terekam dapat dilihat dari kehadiran bagian-bagian gelombang listrik P, Kompleks QRS, T dan U. Gelombang U biasanya terlihat pada 50% -75% rekaman EKG.

2.1.3.1 Gelombang P

Gelombang P merepresentasikan aktifitas berurutan dari atrium kanan dan menyebar ke atrium kiri. Gelombang P berbentuk tegak positif dengan amplitudo tidak terlalu tinggi. Keberadaan gelombang P menandakan irama sinus dan dimulainya aktifitas siklus jantung. (Eccles Health Sciences Library, 2014)

2.1.3.2 Kompleks QRS

QRS mewakili aktivasi simultan dari ventrikel kanan dan kiri, meskipun sebagian besar gelombang QRS berasal dari otot-otot yang lebih besar pada ventrikel kiri. Ventrikel memiliki otot dengan massa lebih besar dibandingkan dengan atrium, sehingga kompleks QRS biasanya memiliki amplitudo yang jauh lebih besar dibanding gelombang P. Tidak selalu bahwa setiap kompleks QRS memuat gelombang Q, R, dan S. Menurut aturan, setiap kombinasi gelombang-gelombang itu dapat disebut sebagai kompleks QRS. Gelombang Q dan S cenderung bernilai negatif dengan amplitudo kecil dan puncak tajam sementara gelombang R bernilai positif dan memiliki amplitudo besar dengan puncak tajam. (Eccles Health Sciences Library, 2014)

2.1.3.3 Gelombang T

Gelombang T menggambarkan repolarisasi atau kembalinya ventrikel. Interval dari awal kompleks QRS ke puncak gelombang T disebut sebagai periode refraksi absolut. Sementara sebagian porsi terakhir dari gelombang T disebut sebagai periode refraksi relatif atau periode vulnerabel. Pada sebagian besar sadapan, gelombang T bernilai positif dengan amplitudo kecil. (Bazett HC, 1920).

2.1.3.4 Gelombang U

Gelombang U tak selalu terlihat. Gelombang ini khasnya kecil, dan menurut definisi, mengikuti gelombang T. Gelombang U diperkirakan menggambarkan repolarisasi otot papillaris atau serabut Purkinje. Gelombang U yang menonjol sering terlihat di hipokalemia, namun bisa ada di hiperkalsemia, tirotoksikosis, atau pemajanan terhadap digitalis, epinefrin, dan antiaritmia Kelas 1A dan 3, begitupun di sindrom QT panjang bawaan dan di keadaan pendarahan intrakranial. Sebuah gelombang U yang terbalik dapat menggambarkan iskemia otot jantung atau kelebihan muatan volume di ventrikel kiri. (Conrath C., 2005).

2.1.4 Teknik Penggunaan EKG

EKG merupakan alat yang paling sederhana dan tercepat dalam prosedur yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi jantung. Seorang

perawat atau dokter biasanya akan menempatkan 12 elektroda terpisah (*patch* plastik kecil) di lokasi tertentu di dada, lengan, dan kaki. Area di mana elektroda ditempatkan harus dibersihkan dan rambut-rambut perlu dicukur untuk menghantarkan impuls listrik yang lebih baik. Dalam pengukuran dengan metode *resting*, pasien harus dalam keadaan rileks, diam dan tidak berbicara selama prosedur EKG. Pergerakan atau aktifitas berbicara dapat mengganggu perekaman karena hadirnya impuls listrik lain selain otot jantung. EKG dapat menunjukkan adanya aritmia (irama jantung yang abnormal), kerusakan pada hati yang disebabkan oleh iskemia (kekurangan oksigen ke otot jantung) atau infark miokard (MI, atau serangan jantung), masalah dengan satu atau lebih katup jantung, atau jenis lain dari kondisi jantung.

Terdapat prosedur EKG lain selain pengukuran EKG dengan metode *resting*. Prosedur ini meliputi:

1. *Exercise ECG* atau *stress test*. Pasien melekat ke mesin EKG seperti dijelaskan di atas. Namun tidak dalam keadaan berbaring melainkan pasien melakukan aktifitas berjalan di treadmill atau mengayuh sepeda stasioner sementara EKG dicatat. Tes ini dilakukan untuk menilai perubahan EKG selama stres seperti olahraga.
2. *Signal-averaged ECG*. Prosedur ini dilakukan dengan cara yang sama seperti EKG dengan metode *resting*, terkecuali bahwa aktivitas listrik jantung tercatat selama periode waktu yang lebih

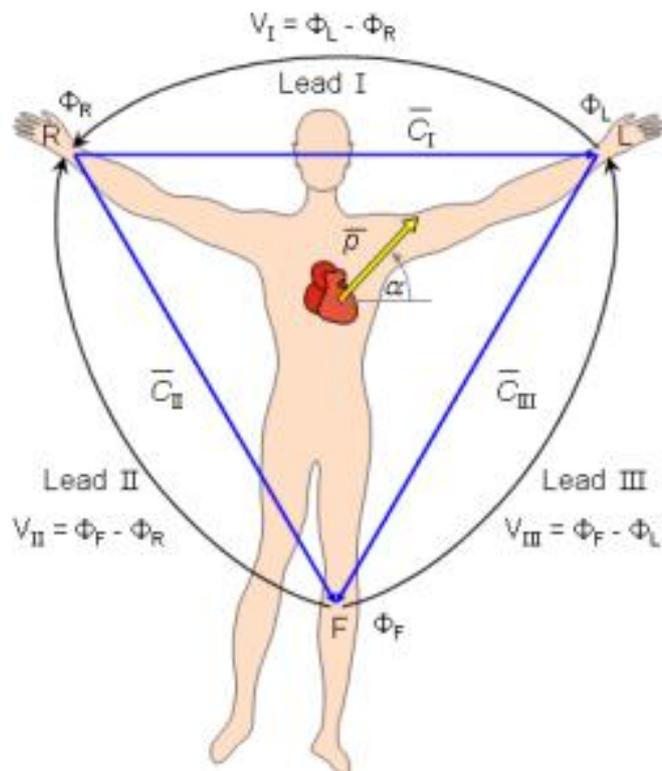
lama, biasanya 15 sampai 20 menit. *Signal-averaged ECG* dilakukan sebagai tindak lanjut ketika pasien diduga memiliki risiko aritmia atau untuk mendeteksi kelainan halus dalam EKG yang tidak terlihat dengan mata telanjang.

3. *Holter monitor*. Sebuah monitor Holter adalah perekaman EKG yang dilakukan selama 24 jam atau lebih. Tiga elektroda melekat pada dada pasien atau tangan dan kaki, dan tersambung ke perekam EKG portable kecil. Pasien melakukan aktifitas seperti biasa (kecuali untuk kegiatan seperti mandi, berenang, atau aktivitas apapun yang menyebabkan jumlah keringat berlebih yang akan mengganggu hubungan kulit dengan elektroda) selama prosedur ini. Ada 2 jenis pemantauan Holter:

- a. *Continuous recording*. EKG dicatat terus menerus selama periode pengujian berlangsung.
- b. *Event monitor* atau *loop recording*. EKG dicatat hanya ketika pasien memulai rekaman, bila gejala tertentu dirasakan.

Holter monitoring dapat dilakukan bila pasien diduga menderita aritmia tetapi tidak terlihat pada metode *resting* atau *Signal-averaged ECG*, karena aritmia dapat muncul sewaktu-waktu dan jarang terlihat selama waktu perekaman yang pendek.

(University of Chicago Medicine, 2014)



Gambar 2.3 Konfigurasi Segitiga Einthoven (Webster, J. G., 1998).

2.1.5 Diagnosa Sinyal EKG

Pada dasarnya diagnosa dengan sinyal EKG dilakukan dengan melihat bentuk sinyal dalam beberapa segmen gelombang. Satu buah gelombang utuh terdiri dari gelombang P, QRS, T, dan U. Pada jantung yang sehat, gelombang-gelombang ini akan terlihat utuh dan memiliki tinggi maupun interval gelombang sesuai standar. Penyimpangan pada jumlah gelombang per menit, tinggi ataupun interval gelombang serta kesalahan pada bentuk gelombang dapat digunakan untuk menentukan letak dan jenis gangguan jantung.

Untuk mengetahui laju detak per menit dapat dihitung dari pengolahan interval R-R dalam milidetik sebagai berikut,

$$\text{Laju} = \frac{60000}{\text{Interval RR}} \text{ (Detak/menit)}$$

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan diagnosa standar gangguan jantung dapat dilihat sebagai berikut,

1. Memeriksa Ritme sinus,
 - a. Sinus yang normal memiliki gelombang P yang diikuti dengan gelombang QRS.
 - b. laju gelombang P adalah 60-100 detak per menit (*bpm*) dengan variasi < 10%,
 - i. Laju < 60 *bpm* = sinus bradikardia
 - ii. Laju > 100 *bpm* = sinus takikardia
 - iii. Variasi > 10 % = sinus aritmia
2. Memeriksa axis QRS,
3. Memeriksa Bentuk gelombang P,
 - a. tinggi < 2,5 mm pada *Lead II*
 - b. lebar < 0.11 s pada *Lead II*
 - c. Penyimpangan pada bentuk gelombang P mengindikasikan kemungkinan gangguan *right atrial hypertrophy*, *left atrial hypertrophy*, *atrial premature beat*, atau *hyperkalaemia*
4. Interval PR yang normal,
 - a. Memiliki interval 0,12-0,20 s (3 - 5 kotak kecil)

- i. Untuk segmen PR yang pendek mengindikasikan kemungkinan gangguan sindrom *Wolff - Parkinson - White* atau sindrom *Lown - Ganong - Levine* (penyebab lain - *Duchenne muscular dystrophy, type II glycogen storage disease (Pompe's), HOCM*)
- ii. untuk interval PR yang terlalu panjang perlu dilakukan analisa lebih lanjut dengan *first degree heart block* dan '*trifasicular*' *block*.

5. Memeriksa QRS kompleks,

- a. Durasi $< 0,12$ s (3 kotak kecil)
 - i. untuk QRS yang lebar dipertimbangkan gangguan *bundle branch block* pada sisi kiri atau kanan, *ventricular rhythm, hyperkalaemia*, dll.
- b. tidak ada patologis gelombang Q
- c. tidak ada bukti *hipertrofi ventrikel* kiri atau kanan.

6. Memeriksa Interval QT,

- a. Menghitung interval QT pengkoreksi (QT_c) dengan membagi interval QT dengan akar kuadrat dari interval R dengan R sebelumnya. Interval normal = $0,42$ s .
- b. Penyebab interval QT yang panjang :
 - i. *infark miokard , miokarditis , penyakit miokard difus*
 - ii. *hipokalsemia , hypothyroidism*.
 - iii. perdarahan *subarachnoid* , perdarahan *intracerebral*

- iv. obat-obatan (misalnya sotalol , amiodaron).
- v. Keturunan,
 - Sindrom Romano Ward (autosomal dominan).
 - Sindrom Jervill + Lange Nielson (autosomal resesif) yang berhubungan dengan tuli sensorineural.

7. Memeriksa Segmen ST,

- a. Tidak ada elevasi atau depresi
 - i. Penyebab elevasi antara lain MI akut (misalnya *anterior, inferior*), *bundle branch block* pada bagian kiri, varian normal (misalnya jantung atletik , pola *Edeiken , High - take off*), *perikarditis* akut.
 - ii. Penyebab depresi meliputi *iskemia miokard*, efek *digoxin , hipertrofi ventrikel , posterior akut MI , emboli paru, bundle branch block* bagian kiri.

8. Memeriksa Gelombang T,

- a. Penyebab gelombang T yang tinggi meliputi *hiperkalemia , infark miokard hiperakut* dan *bundle branch block* kiri.
- b. Penyebab gelombang T yang kecil, rata atau terbalik cukup banyak dan mencakup *iskemia, usia, ras, hiperventilasi, kecemasan, minum air es, LVH, obat-obatan (misalnya digoksin), perikarditis, PE, keterlambatan konduksi intraventrikular (misalnya RBBB)* dan gangguan elektrolit.

9. Gelombang U yang normal.

(Jenkins, D., Stephen Gerred, 2009)

2.1.6 Gangguan Pada Jantung

Sistem kardiovaskular terdiri dari jantung dan pembuluh darah. Penyakit kardiovaskular, seperti yang didefinisikan oleh American Heart Association, termasuk penyakit jantung koroner (penyakit arteri koroner, penyakit jantung iskemik), stroke (serangan otak), tekanan darah tinggi (hipertensi), dan penyakit jantung rematik.

Setiap tahun, penyakit jantung berada di urutan teratas daftar sebagian besar masalah kesehatan yang serius. Penyakit jantung koroner merupakan penyebab utama kematian, dan stroke adalah penyebab utama keempat kematian. Stroke juga merupakan penyebab nomor satu dari kecacatan jangka panjang yang serius.

Namun, studi menunjukkan bahwa hampir semua orang dapat memiliki jantung sehat dengan mengikuti diet sehat, olahraga, menghilangkan rokok, dan yang terpenting adalah mengikuti rencana perawatan kesehatan jantung rutin melalui deteksi dini dan pengobatan dini. (University of Chicago Medicine, 2014).

2.1.6.1 Sinus Bradikardia

Sinus bradikardia merupakan kondisi dimana jantung berdetak dibawah 60 kali/menit dengan irama reguler/normal serta

gelombang P, QRS dan interval PR normal. (Medical Training and Simulation LLC, 2013)



Gambar 2.4 Sinus Bradikardia (Medical Training and Simulation LLC, 2013)

Sinus bradikardia terjadi secara normal selama tidur atau pada seorang atlet dengan kondisi jantung yang baik. Hal ini normal pada atlet karena dengan kecepatan jantung dibawah 60 kali/menit sudah dapat memelihara *stroke volume* normal, sehingga membutuhkan kekuatan jantung yang lebih sedikit. Sinus bradikardia juga normal terjadi pada saat tidur karena kebutuhan metabolisme menurun. Orang dewasa dapat menoleransi sinus bradikardia hingga 45 - 59 kali/menit, tetapi kurang toleran jika kecepatan dibawah 45 kali/menit. Kondisi tidak normal dari sinus bradikardia dapat disebabkan oleh hipotermia. Sinus bradikardia yang berlangsung terlalu lama atau berdetak terlalu pelan dapat menyebabkan pusing, hipotensi/darah rendah, dan vertigo. (ECGpedia, 2013).

2.1.6.2 Sinus Takikardia

Sinus takikardia adalah kondisi detak jantung lebih dari 100kali/menit dengan irama reguler serta gelombang P, QRS dan interval PR normal. Kondisi lain adalah interval QT yang lebih pendek dari biasanya. (Medical Training and Simulation LLC, 2013)



Gambar 2.5 Sinus Takikardia (Medical Training and Simulation LLC, 2013)

Denyut jantung maksimal menurun sesuai dengan usia dari sekitar 200 - 140 kali/menit. Sinus takikardia biasanya memiliki awal dan akhir yang bertahap. Sinus takikardia umum disebabkan oleh peningkatan kebutuhan tubuh akan oksigen, misalnya selama latihan, stress/gelisah, infeksi dan kehilangan darah atau konsumsi alkohol, kafein dan obat-obatan. Sementara penyebab tidak umum sinus takikardia adalah demam, hipotensi, hipoksia, gagal jantung kongestif, pendarahan, anemia, hipertiroidisme, myocarditis. (ECGpedia, 2013).

Denyut jantung maksimal dapat diperkirakan dengan rumus $220/\text{min}$ dikurangi usia (atau lebih tepatnya $207 - 0.7 \times \text{usia}$).

Namun, hal ini sering meningkat selama latihan berat dan memiliki variasi antar individu yang besar. (Tanaka H., 2001)

2.1.6.3 Sinus Aritmia

Sinus aritmia adalah kondisi detak jantung dengan irama tidak teratur dimana gelombang P, QRS dan interval PR normal. (Medical Training and Simulation LLC, 2013)



Gambar 2.6 Sinus Aritmia (Medical Training and Simulation LLC, 2013)

Variasi irama disebabkan oleh adanya perbedaan interval saat aktifitas menarik nafas dan menghela nafas. Penyebab lain yang mungkin terjadi adalah adanya penyakit atreri koroner, gagal jantung dan katup jantung, kondisi pasca operasi jantung, ketidakseimbangan elektrolit dan konsumsi alkohol atau kafein berlebih. Namun, fibrilasi atrial (AF) merupakan suatu kondisi ritme jantung tidak normal yang paling umum dari bentuk sinus aritmia dimana 5% dari pasien penderita AF mengalami stoke.

Gejala yang kadang muncul adalah perasaan jantung berdebar dengan detak yang kuat atau bahkan detak yang keras namun lambat. Selain itu seseorang dengan kondisi aritmia juga

mungkin mengalami gejala lain seperti pusing, rasa lelah, sesak nafas serta hilangnya kesadaran secara tiba-tiba. (ECGpedia, 2013).

2.1.6.4 Sindrom Wolf-Parkinson-White (WPW)

Sindrom WPW ditunjukkan dengan interval PR yang singkat (<0.12 detik), dan kompleks QRS yang lebar (>0.12 detik). (Medical Training and Simulation LLC, 2013)

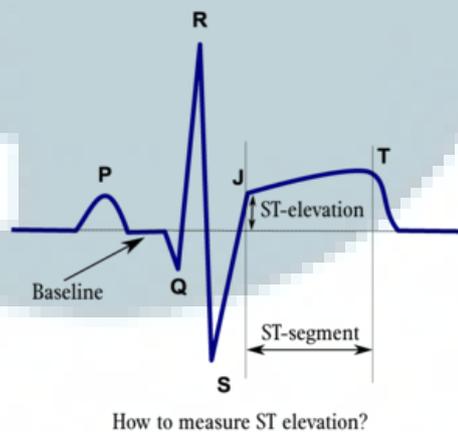


Gambar 2.7 Sindrom WPW (Medical Training and Simulation LLC, 2013)

Sindrom ini disebabkan adanya kontak berlebih antara atrium dan ventrikel yang menyebabkan aliran listrik yang memotong jalur dari yang seharusnya dan tampak pada rekaman sebagai ketidakhadiran gelombang Q pada kompleks QRS. Ketidakhadiran Q menjadikan gelombang P dan R yang lebih dekat dan kompleks QRS lebih panjang. Pasien dengan sindrom ini memiliki resiko gangguan takikardia yang berkembang menjadi fibrilasi atrial dan ventrikular, sinus aritmia dan kematian mendadak. (ECGpedia, 2013).

2.1.6.5 Infark Miokard (MI)

MI merupakan penyakit jantung yang paling sering diderita pasien dengan keluhan nyeri dada. Infark miokard adalah keadaan dimana jaringan jantung mengalami kematian akibat kurangnya pasokan oksigen. Cedera pada jaringan yang terjadi selama kurangnya pasokan oksigen inilah yang menyebabkan rasa nyeri atau dada tertekan. Ketika aliran darah tidak dikembalikan pada waktu yang tepat (20 sampai 40 menit) otot jantung akan mulai mati dalam proses ireversibel atau dalam kondisi nyata pasien terkena serangan jantung.



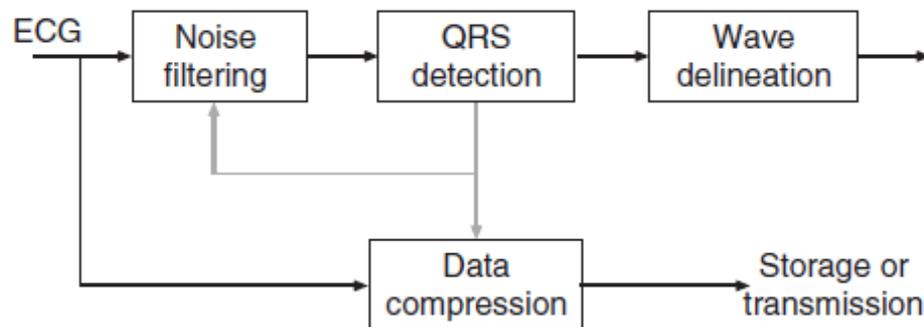
Gambar 2.8 Pengukuran Infark Miokard (ECGpedia, 2013)

Kurangnya pasokan oksigen ke jaringan biasanya disebabkan oleh penyempitan arteri koroner dan aritmia. Resiko ini meningkat pada pasien berjenis kelamin pria, merokok, mengidap hipertensi, diabetes mellitus, dan kolesterol tinggi. Selain nyeri dada, gejala lain yang mungkin timbul adalah pusing, sakit gigi,

keringat berlebih secara tiba-tiba, nyeri pada bahu dan punggung atas. Pada rekaman EKG, MI ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai yang tinggi dari gelombang S ke T dan interval gelombang T yang panjang. (ECGpedia, 2013).

2.1.7 Pemrosesan Sinyal EKG

Signal Processing digunakan pada sistem analisa dan interpretasi EKG. Sinyal yang didapatkan dari sadapan diolah terlebih dahulu untuk menghilangkan *noise* seperti kelistrikan otot paru-paru ataupun kerja tubuh lainnya untuk kemudian dilakukan *sampling* sinyal.

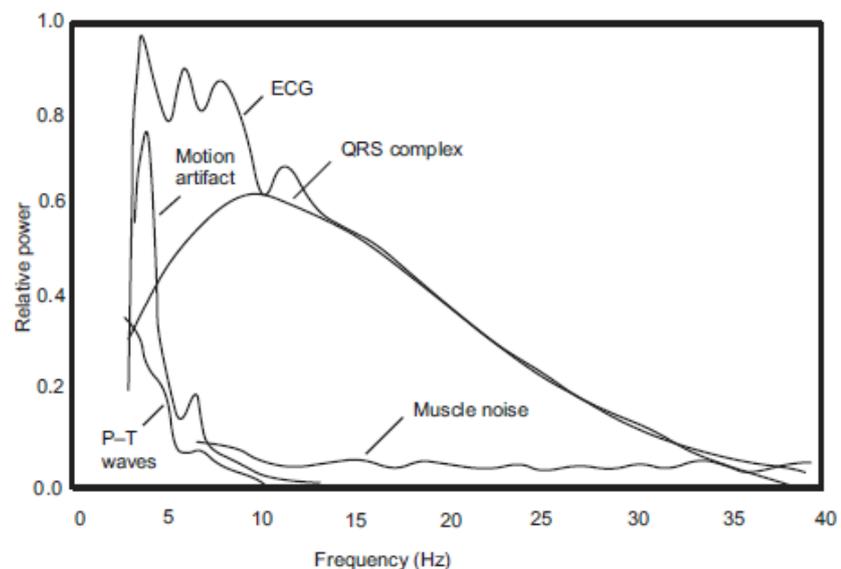


Gambar 2.9 Skema Pemrosesan Sinyal EKG

2.1.7.1 EKG *Preprocessing*

Pada dasarnya *preprocessing* dilakukan untuk menghilangkan *noise* pada sinyal EKG sebelum dilakukan analisa sinyal. *Noise* secara alami didapatkan dari aktifitas otot, selain jantung, pada tubuh di sekitar area sadapan misalnya sinyal EMG. Dengan demikian *preprocessing* harus dapat memisahkan sinyal

jantung yang sebenarnya dari sinyal-sinyal lain yang ikut tersadap. Sinyal EKG memiliki rentang frekuensi antara 5-100Hz namun terpusat antara 5-15Hz sementara sinyal EMG berada pada frekuensi dibawah 5Hz.



Gambar 2.10 Spektrum gelombang ECG dan EMG

(Afonso, Valtino X.)

Selain *noise* yang muncul dari aktifitas otot disekitar jantung, terdapat juga *powerline interference* yang ditimbulkan oleh sumber tenaga alat dengan frekuensi 60Hz (50Hz untuk Indonesia). Gangguan ini lebih lanjut dapat menimbulkan gelombang harmonisa, yaitu sebuah gelombang ideal yang terdistorsi secara periodik dengan gelombang sinus berfrekuensi kelipatan dari nilai frekuensi sumber tegangan (f , $2f$, $3f$, $4f$, dst.) dalam hal ini kelipatan 50Hz.

Dengan demikian *preprocessing* dilakukan dengan menerapkan *bandpass filter* yang didapatkan dari penggabungan *low pass filter* dan *high pass filter* untuk mendapatkan sinyal aktifitas jantung pada rentang frekuensi 5-15 Hz. Sementara untuk mengatasi gangguan dari sumber tegangan dan efek harmonisa digunakan *low pass filter* dengan nilai frekuensi *cut-off* sebesar nilai frekuensi harmonisa terkecil yang terjadi pada gelombang. (Afonso, Valtino X.)

2.1.7.2 QRS Detection

Kehadiran sinyal detak jantung dan waktu kemunculannya merupakan data yang sangat penting untuk melakukan analisa terhadap sinyal EKG. Dalam proses deteksi detak jantung, mendeteksi QRS akan jauh lebih mudah dibanding sinyal lainnya karena morfologi QRS yang lebih terlihat. Melalui deteksi detak jantung ini, sudah bisa dilakukan analisa gangguan jantung awal berkaitan dengan kehadiran detak dan ritme detak. (Afonso, Valtino X.)

Dalam mendeteksi letak kompleks QRS digunakan beberapa teknik yaitu *moving-window integration*, *fiducial mark* dan *thresholding*. (Pan, J., Willis J. Tompkins, 1985)

1. *Moving-window integration* merupakan penggunaan jendela waktu sesuai ukuran lebar gelombang QRS sebagai penanda area diagnosa. Penggunaan jendela yang

terlalu lebar akan mengakibatkan kompleks QRS dan T terdeteksi sebagai satu gelombang sementara jendela yang terlalu kecil akan mengakibatkan kesalahan penandaan awal dan akhir gelombang serta terdeteksinya beberapa puncak QRS berurutan.

2. *Fiducial Mark* merupakan penandaan puncak kompleks QRS. Keberadaan QRS ditandai dengan hadirnya gelombang dengan puncak tertinggi dan sudut kemiringan terbesar.
3. *Thresholding*, setelah puncak gelombang ditemukan, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan pemeriksaan ambang batas ketinggian kompleks QRS. Melalui proses ini dapat dibedakan puncak gelombang QRS dari puncak gelombang lain yang lebih rendah seperti P dan T.

2.1.7.3 *Wave Delineation*

Setelah QRS dideteksi, maka sinyal P dan T akan lebih mudah ditentukan. Pada tahap ini, algoritma harus dapat menentukan jendela waktu untuk sinyal PQRSTU dimana semua sinyal berada didalamnya. Algoritma harus mampu membaca beberapa interval kebelakang untuk P dan kedepan untuk T dimana jendela harus berada tepat pada posisi sinyal P dimulai dan T diakhiri. (Afonso, Valtino X.)

2.1.7.4 *Data Compression*

Sinyal EKG merupakan sinyal yang didapatkan dari pemeriksaan yang panjang sehingga besar data yang didapatkan juga banyak. Selain itu data EKG harus disimpan sebagai catatan medis pasien yang dapat digunakan di kemudian hari oleh dokter untuk mengetahui kondisi jantung pasien. Oleh sebab itu data ini harus dapat disimpan dan dikompresi agar mudah dimasukkan dalam database. Kompresi yang dilakukan harus memperhatikan bahwa data dapat dikembalikan ke kondisi normal tanpa pengurangan *sampling* yang mempengaruhi sinyal EKG. (Afonso, Valtino X.)

2.1.7.5 **Pengelompokan Morfologi Detak Jantung**

Dari sinyal yang sudah diproses sebelumnya, langkah selanjutnya adalah menentukan pengelompokan sinyal. Dalam proses ini akan diketahui gangguan apa saja yang diderita pasien melalui interpretasi bentuk sinyalnya. Pengelompokan dilakukan terhadap amplitudo, interval dan bentuk dari masing-masing bagian sinyal. (Afonso, Valtino X.)

2.1.8 **Sistem Pakar**

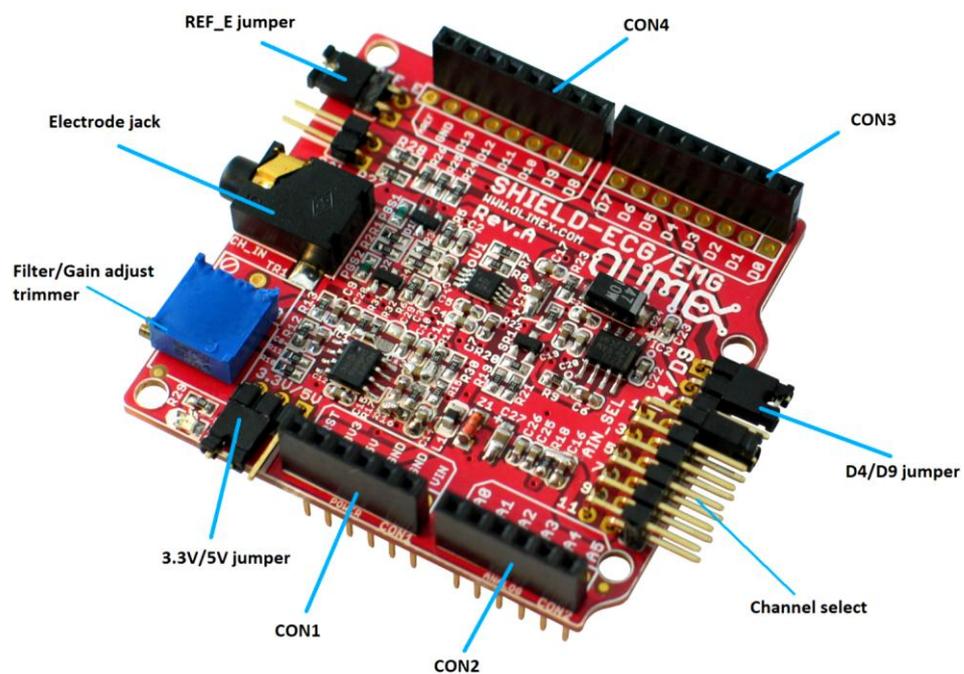
Sistem pakar adalah sistem informasi yang berisi pengetahuan pakar sehingga dapat digunakan untuk konsultasi. Berbeda dengan sistem konvensional dimana pengetahuan tertanam dalam algoritma program,

sistem pakar memungkinkan pengetahuan tersebut untuk dikembangkan secara terpisah dari program. Program itu sendiri disebut sebagai mesin inferensi yang merepresentasikan sudut pandang sistem / bagaimana sistem akan berpikir untuk memecahkan masalah. Sementara penalaran terhadap basis pengetahuan itu sendiri dilakukan dalam dua cara yaitu *rule based* dan *case based Reasoning*. Dalam *Rule based reasoning*, penalaran dilakukan berdasarkan aturan-aturan yang tetap sementara dalam *case base*, penalaran dilakukan dengan membandingkan suatu kasus dengan kasus lain baik yang pernah ditemukan sebelumnya.

Terdapat dua kerangka utama yang dapat diterapkan dalam membangun mesin inferensi dengan sistem penalaran berbasis aturan yaitu pola *forward chaining* dan *backward chaining*. Dalam *forward chaining*, penalaran dilakukan maju yaitu dari fakta yang ada diolah berdasarkan aturan-aturan bersama dengan basis pengetahuan sehingga menghasilkan suatu kesimpulan tertentu beserta penjelasannya. Sementara itu, *backward chaining* menekankan penalaran mundur yaitu menentukan hipotesa atau tujuan awal sebelum fakta-fakta ditemukan. Untuk membuktikan atau mencapai tujuan tersebut, fakta-fakta dicari berdasarkan aturan dan basis pengetahuan hingga akhirnya ditemukan apakah hipotesa benar atau salah, kenyataan akhir, dan penjelasan terhadap konklusi. (Engelmore , Robert S., Edward Feigenbaum.,1993)

2.1.9 Olimex EKG-EMG Shield

Olimex EKG-EMG Shield merupakan modul *open-source* tambahan untuk mikrokontroler berbasis arduino. Modul ini berfungsi dalam menerima input analog kelistrikan sinyal EKG dan EMG dari elektroda dan diolah menjadi sinyal digital untuk diteruskan ke mikrokontroler arduino. Modul ini dapat digunakan secara bertumpuk hingga 6 modul membentuk 6 kanal. Satu modul menerima input dari 3 elektroda dimana 2 buah sebagai elektroda data dan 1 buah sebagai elektroda DRL/*feedback*. (Olimex, 2014)



Gambar 2.11 Modul Olimex EKG-EMG (Olimex, 2014)

2.1.10 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan sebuah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P. Mikrokontroler ini memiliki 14 digital *input / output* pin (dimana 6 diantaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 6 *input* analog, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP, dan tombol *reset*. Memori yang dimiliki sebesar 32kb dengan 0.5kb digunakan untuk bootloader.

Setiap pin dari 14 pin pada arduino uno dapat digunakan sebagai pin masukan ataupun keluaran menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Setiap pin dapat menerima atau menghasilkan maksimum tegangan 40mA.

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial, yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Kanal komunikasi dilakukan melalui USB dan muncul sebagai virtual COM port pada perangkat lunak komputer. (Arduino, 2014).

2.1.11 Visual Studio

Visual Studio adalah suatu alat pengembangan untuk membangun aplikasi ASP.NET Web, XML Web Services, aplikasi desktop, dan aplikasi *mobile*. Baik Visual Basic, Visual C #, dan Visual C + + menggunakan lingkungan pengembangan terintegrasi yang sama (IDE), yang

memungkinkan *tools-sharing* dan memudahkan dalam membuat solusi dengan bahasa pemrograman campuran. Selain itu, bahasa ini menggunakan fungsionalitas dari .NET Framework yang menyediakan *programming model* untuk aplikasi yang berjalan di *platform operating system* Windows.

Baik untuk aplikasi *development tools* ataupun aplikasi lainnya yang berjalan di *environment* Windows membutuhkan .Net Framework. .Net Framework menyediakan *library* utama yang dibutuhkan untuk membuat aplikasi di Windows yang dapat digunakan oleh banyak bahasa pemrograman atau *development tools*. *Library* tersebut menyediakan pengaturan *user interface*, *data access*, *database connectivity*, kriptografi, pengembangan aplikasi berbasis web, algoritma numerik, dan komunikasi dalam jaringan. Selain *library* utama, .Net Framework juga menyediakan *Common Language Runtime (CLR)*, aplikasi *virtual machine* yang mengatur dan menyediakan layanan keamanan, manajemen memori, dan *exception handling* bagi aplikasi. Semua aplikasi yang dibangun diatas .Net Framework akan diawasi oleh CLR untuk menjamin hal-hal tersebut. Hal ini memungkinkan pembuat program untuk lebih fokus pada inti aplikasi tanpa perlu mengatur *management memory* dsb. (Microsoft Developer Network, 2014).

2.1.12 Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan sebuah algoritma cepat yang digunakan untuk mengkomputasi Discrete Fourier Transform (DFT) dan *inverse*-nya. (Heckbert, 1998). Transformasi Fourier digunakan untuk mengkonversi sinyal berdomain waktu menjadi sinyal berdomain frekuensi ataupun sebaliknya. Dengan demikian Fourier Transform mengubah sinyal menjadi besaran dan fase dari berbagai frekuensi sinus dan kosinus penyusun sebuah sinyal (Shatkay, 1995).

$$F_n = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{-2\pi i n k / N}$$

Gambar 2.12 Fungsi DFT (Weisstein, 2014)

$$f(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_n e^{2\pi i k n / N}$$

Gambar 2.13 Fungsi *Inverse* DFT (Weisstein, 2014)

2.1.13 Butterworth Filter

Filter butterworth merupakan sebuah penyaring sinyal digital yang dirancang untuk menghasilkan respon frekuensi sedatar mungkin (yaitu tidak memiliki riak) pada *passband* dan menuju nol di *stopband*. Seperti semua filter pada umumnya, butterworth dirancang berdasarkan *low-pass* filter, yang dapat dimodifikasi menjadi filter *high-pass*, atau ditempatkan

secara seri dengan yang lain untuk membentuk *band-pass* dan *band-stop* filter. (Bianchi, G., Roberto Sorrentino, 2007).

Nilai penguatan $G(\omega)$ dari n-order butterworth *low-pass* filter ditunjukkan dari hubungan dengan *transfer function* $H(s)$ dimana,

$$G^2(\omega) = |H(j\omega)|^2 = \frac{G_0^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.1}$$

- n = *filter order*
- ω_c = *cutoff frequency* (+/- -3dB)
- G_0 adalah DC *gain* (*gain* pada saat frekuensi 0)

Semakin besar nilai n menuju tak terhingga, gain menjadi fungsi kotak dan frekuensi di bawah nilai *cut-off* akan dilewatkan dengan penguatan sebesar G_0 sementara frekuensi di atasnya tidak akan dilewatkan.

2.2 Kerangka Berpikir

Langkah awal penelitian ini adalah merancang perangkat keras dari arduino dan olimex EKG-EMG agar dapat terkoneksi dengan komputer. Komunikasi antara mikrokontroler dan komputer akan dilakukan melalui jalur kabel serial. Setelah koneksi dapat dibentuk maka langkah selanjutnya adalah menyimpan dan menganalisa data yang dikirimkan oleh mikrokontroler. Analisa pertama dilakukan untuk mendapatkan informasi pembagian paket dan jumlah sampling per detik. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui ukuran *buffer* yang

diperlukan aplikasi untuk menampung data serta lebar grafik x pada antar muka untuk menampilkan data.

Langkah selanjutnya adalah merekam lebih banyak jenis sinyal/data dalam berbagai kondisi dan interferensi. Data-data ini kemudian akan digunakan dalam upaya mencari teknik *noise filtering* yang paling sesuai dimana dapat meredam *noise* paling baik dari semua kondisi tersebut. Setelah didapatkan teknik penyaringan yang tepat maka langkah selanjutnya adalah menemukan algoritma yang dapat mengumpulkan atau menghitung nilai-nilai tertentu dari sinyal tersebut. Nilai-nilai tersebut seperti interval segmen gelombang dan kehadiran gelombang spesifik merupakan informasi yang nantinya akan diolah dengan sistem pakar untuk menentukan jenis gangguan yang terjadi. Perlu diperhatikan bahwa algoritma pengenalan sinyal ini memiliki beberapa tahap yang harus dilakukan untuk mengantisipasi kondisi-kondisi diluar pengukuran normal seperti gangguan sinyal pergerakan tubuh saat merekam dan sisa *noise* yang masih ada setelah proses penyaringan.

Adapun sistem pakar berisi aturan-aturan terstandar dalam mendiagnosa kondisi jantung. Sistem pakar ini menggunakan basis data yang berisikan nama penyakit, penjelasan dan kondisi yang harus dipenuhi dimana basis data ini terpisah dari aplikasi sehingga pengetahuan yang terkandung di dalamnya dapat diperbaharui ataupun ditambah. Adapun hasil diagnosa dari aplikasi ini hanya digunakan untuk mengetahui secara umum ada tidaknya potensi gangguan jantung tertentu, bukan sebagai diagnosa final ataupun menggantikan diagnosa dokter.