

**ALAT DETEKSI DINI *SUDDEN CARDIAC DEATH*
MENGUNAKAN RASPBERRY PI 3 MODEL B**

SKRIPSI

KONSENTRASI ELEKTRONIKA

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



LALU ARYA TARUNA JAYA

NIM. 155060300111047

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019

LEMBAR PENGESAHAN

ALAT DETEKSI DINI *SUDDEN CARDIAC DEATH* MENGGUNAKAN
RASPERRY PI 3 MODEL B

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



LALU ARYA TARUNA JAYA

NIM. 155060300111047

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 13 November 2019

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng. Sc.
NIP. 19590304 198903 1 001

Dosen Pembimbing II

Zainul Abidin, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 201201 860123 1 001



JUDUL SKRIPSI:

ALAT DETEKSI DINI *SUDDEN CARDIAC DEATH* (SCD) MENGGUNAKAN
RASPBERRY PI 3 MODEL B

Nama Mahasiswa : LALU ARYA TARUNA JAYA

NIM : 155060300111047

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Konsentrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc.

Dosen Pembimbing 2 : Zainul Abidin, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D

Tim Dosen Penguji :

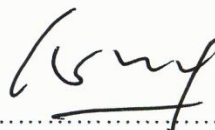
Dosen Penguji 1 : Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.

Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.

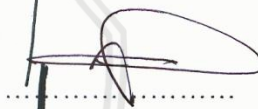
Dosen Penguji 3 : Akhmad Zainuri, S.T., M.T.

Tanggal Ujian : 25 Oktober 2019

SK Penguji : No. 2213 Tahun 2019













*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Ayahanda Lalu Moh. Azhar dan Ibunda Seling Nusawati*

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 13 November 2019

Mahasiswa,



LALU ARYA TARUNA JAYA

NIM. 155060300111047



RINGKASAN

Lalu Arya Taruna Jaya, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2019, Alat Deteksi Dini *Sudden Cardiac Death*, Dosen Pembimbing: Ponco Siwindarto dan Zainul Abidin.

Sudden Cardiac Death (SCD) merupakan kejadian kematian secara tiba-tiba dan tidak terduga yang disebabkan oleh masalah pada jantung yang terjadi dalam waktu singkat pada manusia, baik yang memiliki riwayat penyakit jantung maupun tidak. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk deteksi dini adalah dengan metode *Poincare Plot of RR Interval Differences* (PORRID). Metode ini menggunakan interval RR yang akan diolah sehingga dapat menampilkan diagram stabilimentum jantung seseorang, sehingga dapat terlihat pola yang berbeda antara manusia normal dengan manusia SCD.

Alat deteksi dini SCD sebelumnya telah dirancang dengan membuat rangkaian detektor R yang kemudian diintegrasikan dengan Arduino Mega 2560 untuk pengolahan sinyal jantung menjadi interval RR. Nilai interval kemudian diolah untuk mencari nilai deskriptor S_{13} , S_{24} , S_{ax} , $R_{24/13}$ dan $R_{24/ax}$ guna menentukan potensi SCD dengan bantuan perangkat lunak *matlab*.

Mengacu pada penelitian sebelumnya, pada pengujian ini digunakan mikrokomputer *Raspberry PI 3* untuk sebagai kontroler sekaligus menampilkan potensi SCD dalam bentuk *Graphical User Interface* (GUI). Sampel pengujian berjumlah 8 sampel sinyal jantung normal dan 6 sampel sinyal jantung SCD. Sampel diambil dari www.physionet.org yang dibangkitkan dengan alat Rancang Bangun Pembangkit Sinyal Elektrokardiogram. Dalam pengujiannya, dari 14 sampel tersebut 12 sampel diantaranya mampu didiagnosis dengan benar sehingga tingkat kesalahan pengujian adalah 14,29%. Adapun 10 sampel selanjutnya merupakan pengujian dengan menyadap sinyal jantung manusia secara langsung dan didapatkan nilai potensi SCD tertinggi adalah 36,82%.

Kata Kunci : Detektor R, Potensi SCD, PORRID, GUI, Sinyal Elektrokardiogram

SUMMARY

Lalu Arya Taruna Jaya, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, October 2019, Early Detection Device Sudden Cardiac Death, Advisors: Ponco Siwindarto and Zainul Abidin.

Sudden Cardiac Death (SCD) is a sudden and unexpected death event caused by heart problems that occur in a short time in humans, both those who have a history of heart disease or not. One method that can be used for early detection is the Poincare Plot of RR Interval Differences (PORRID) method. This method uses the RR interval that will be processed so that it can display a stabilization diagram of someone's heart's, so that different patterns of normal humans and SCD humans can be seen.

SCD early detection devices have previously been designed by making a series of R detectors which are then integrated with Arduino Mega 2560 for processing heart signals into RR intervals. The interval values are then processed to look for descriptors S_{13} , S_{24} , S_{ax} , $R_{24/13}$ and $R_{24/ax}$ to determine the potential of SCD with the help of matlab software.

Referring to previous research, in this test the Raspberry PI 3 microcomputer is used as a controller while displaying the potential of SCD in the form of Graphical User Interface (GUI). The test sample consisted of 8 normal heart signal samples and 6 SCD heart signal samples. Samples were taken from www.physionet.org which were generated with the Electrocardiogram Signal Generator Design. In testing of the 14 samples, 12 of them were able to be diagnosed correctly so that the error rate of testing was 14.29%. The next 10 subjects are tests by directly tapping human heart signals and the highest potential value of SCD is 36.82%.

Keywords: R Detector, SCD Potential, PORRID, GUI, Electrocardiogram Signal

PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim. Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas segala petunjuk dan nikmat-Nya lah skripsi ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam tidak lupa penulis haturkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak mendapatkan syafaat-Nya di yaumul qiyamah.

Skripsi berjudul “Alat Deteksi Dini *Sudden Cardiac Death* Menggunakan Raspberry PI 3 Model B ” ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Keluarga tercinta, Ayahanda Lalu Moh. Azhar, Ibunda Seling Nusawati, Baiq Arriyadul Badi'ah, Baiq Kurnia Trisulasniati dan Lalu Arya Wira Abqori atas segala motivasi, semangat, dan dukungan materiil yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan sebaik mungkin.
2. Yang terhormat Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Yang Terhormat Ibu Ir. Nurussa'adah, MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Ibu Rahmadwati, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Yang Terhormat Bapak Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc. selaku Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, masukan, kritik, saran dan bantuan materiil yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
6. Yang Terhormat Bapak Zainul Abidin, ST., MT., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, masukan, kritik dan saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
7. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS selaku Dosen Penasehat Akademik atas segala pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan selama perkuliahan disini.
8. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

9. Seluruh *staff recording* Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
10. Bapak Mulyadi, S.T. selaku Laboran Laboratorium Elektronika atas bantuan, fasilitas dan keramahannya selama penulis menjadi asisten laboratorium dan dalam proses pengerjaan skripsi.
11. Rekan-rekan asisten Laboratorium Elektronika Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
12. Keluarga besar mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
13. Teman-teman konsentrasi Teknik Elektronika Universitas Brawijaya.
14. Keluarga Besar Divisi *Line Tracer Community* Teknik Elektro Universitas Brawijaya
15. Seluruh teman-teman serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan satu-persatu, terimakasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan karena kendala dan keterbatasan dalam pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 09 Oktober 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Elektrokardiograf	3
2.2 Detektor R.....	4
2.2 <i>Sudden Cardiac Death</i> (SCD)	6
2.3 Poincare Plot of RR-Intercal Difference (PORRID)	7
2.4 Pengambilan Keputusan Potensi SCD dengan Metode <i>Fuzzy</i>	12
2.5 Raspberry Pi 3.....	23
2.6 <i>Operational Amplifier</i> TL084.....	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Penentuan Spesifikasi Alat	27
3.2 Diagram Blok Sistem.....	27
3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	28
3.3.1 Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	28
3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Rangkaian Detektor R.....	31
4.1.1 Tujuan.....	31
4.1.2 Alat yang digunakan.....	31
4.1.3 Prosedur Pengujian.....	31
4.1.4 Hasil Pengujian dan Analisis	31
4.2 Nilai Interval RR.....	34
4.2.1 Tujuan.....	34
4.2.2 Alat yang Digunakan.....	34
4.2.3 Prosedur Pengujian.....	34
4.2.4 Hasil Pengujian dan Analisis.....	34
4.3 Pengambilan Keputusan Potensi SCD	37
4.3.1 Tujuan.....	37
4.3.2 Alat yang Digunakan.....	37
4.3.3 Prosedur Pengujian.....	37
4.3.4 Hasil Pengujian dan Analisis.....	37
4.4 Pengujian Data Minimum	39
4.4.1 Tujuan	39
4.4.2 Alat yang Digunakan	39
4.4.3 Prosedur Pengujian	39
4.4.4 Hasil dan Pembahasan	39
4.5 Pengujian Menyeluruh.....	40
4.5.1 Tujuan	40
4.5.2 Alat yang Digunakan	40
4.5.3 Prosedur Pengujian	40
4.5.4 Hasil dan Pembahasan	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43

5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	48



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rentang nilai deskriptor untuk NSR dengan SCD	12
Tabel 2.2 Aturan-aturan <i>fuzzy</i>	14
Tabel 2.3 Spesifikasi <i>Raspberry</i> PI 3	24
Tabel 4.1 Hasil pengujian masing-masing sampel untuk mengetahui data minimum yang dibutuhkan untuk menampilkan potensi SCD pada kategori yang sama.....	39
Tabel 4.2 Hasil pengujian dengan sampel yang dibangkitkan dari <i>www.physionet.org</i>	41
Tabel 4.3 Hasil pengujian pada manusia	42



DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2. 1</i> Sinyal Keluaran EKG.....	4
<i>Gambar 2. 2</i> Sadapan EKG	4
<i>Gambar 2.3</i> Skematik detektor R penelitian sebelumnya	5
<i>Gambar 2. 4</i> Plot beberapa RRI dalam jangka waktu pendek objek normal	8
<i>Gambar 2. 5</i> Plot beberapa RRI dalam jangka waktu pendek objek tidak normal	9
<i>Gambar 2. 6</i> Diagram stabilimentum untuk (a) NSR, (b) Aritmia, (c) CHF, dan (d) SCD dengan skala yang disesuaikan untuk pengamatan.....	11
<i>Gambar 2.7</i> Derajat keanggotaan. (a) S_{13} , (b) S_{24} , (c) S_{ax} , (d) $R_{24/13}$, (e) $R_{24/ax}$ dan (f) Potensi SCD.....	14
<i>Gambar 2.8</i> Raspberry Pi 3	24
<i>Gambar 2.9</i> Raspberry PI 3 model B pinout.....	25
<i>Gambar 2.10</i> tl084 pinout	26
<i>Gambar 3.1</i> Diagram blok keseluruhan sistem deteksi <i>Sudden Cardiac Death</i>	27
<i>Gambar 3.2</i> Rancangan skematik detektor R.....	28
<i>Gambar 3.3</i> Diagram alir untuk mendapatkan nilai interval RR	29
<i>Gambar 3.4</i> Diagram Alir pengambilan keputusan potensi SCD	30
<i>Gambar 4.1</i> Keluaran sinyal (1) AD8232, (2) <i>Band Pass Filter</i> dan (3) <i>low pass filter</i>	32
<i>Gambar 4.2</i> Keluaran sinyal (1) <i>band pass filter</i> , (2) <i>low pass filter</i> dan (3) komparator	32
<i>Gambar 4.3</i> Sinyal keluaran (1) penyangga, (2) tegangan kapasitor (<i>threshold</i>), dan (3) Komparator <i>inverting</i>	33
<i>Gambar 4.4</i> Nilai interval RR yang tersimpan pada <i>micro SD</i>	35
<i>Gambar 4.5</i> Selisih waktu gelombang R. (a) Data baris ke 10. (b) Data baris ke 11. (c) Data baris ke 12	36
<i>Gambar 4.6</i> Pengambilan keputusan dengan menggunakan GUI. (a) <i>matlab</i> . (b) Raspberry PI 3.....	38



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jantung adalah organ terpenting pada tubuh manusia yang berfungsi untuk memompa darah ke seluruh tubuh. Dewasa ini banyak kasus kematian yang disebabkan oleh masalah pada jantung, salah satunya *Sudden Cardiac Death* (SCD). *Sudden Cardiac Death* adalah kematian tidak terduga yang disebabkan oleh masalah pada jantung, yang terjadi dalam selang waktu singkat, baik pada seseorang dengan penyakit jantung yang telah diketahui ataupun tidak diketahui. di Amerika Serikat dan Eropa, kejadian SCD berkisar antara 50 sampai 100 kasus pada tiap 100.000 orang per tahunnya. Sedangkan di Asia, pada setiap negara jumlah kejadian SCD mencapai sekitar 40 kasus pada tiap 100.000 orang per tahunnya (Murakoshi & Aonuma, 2013).

Salah satu metode yang dapat diterapkan sebagai langkah awal untuk mengetahui apakah seseorang beresiko mengalami SCD atau tidak adalah dengan menggunakan *Poincaré Plot of RR Interval Differences* (PORRID) (Siwindarto, 2014). Selanjutnya metode PORRID dapat digunakan untuk mendeteksi dini *Sudden Cardiac Death* (Siwindarto, 2015).

Metode PORRID telah diimplementasikan pada alat deteksi dini *Sudden Cardiac Death* (Putri 2018, Fajri 2018, Rivan 2018). Alat tersebut dirancang dengan menggunakan penguat AD8232 untuk menyadap sinyal jantung manusia, kemudian dihubungkan dengan detektor R. Hasil keluaran detektor R diolah menjadi interval RR menggunakan mikrokontroler Arduino MEGA 2560 dan disimpan di dalam SD card dalam file dengan ekstensi *.csv. File interval RRI tersebut kemudian kembali diolah dengan metode PORRID sekaligus ditampilkan dalam bentuk GUI dengan matlab. Dalam perancangannya, alat deteksi dini SCD dengan Arduino Mega 2560 membutuhkan modul tambahan, seperti modul osiloskop, modul SD card, modul Wi-Fi serta LCD display. Pengambilan keputusan juga menggunakan potensi SCD dengan GUI (*Graphcial User Interface*) juga membutuhkan perangkat seperti komputer atau laptop yang sudah terinstal matlab. Selain itu, alat deteksi dini SCD memerlukan banyak catu daya baik untuk osiloskop, mikrokontroller, dan untuk rangkaian detektor R.

Berdasarkan fakta di atas, maka dibutuhkan mikrokontroler yang lebih kompleks, sehingga tidak perlu menggunakan banyak modul. Raspberry Pi 3 merupakan mikrokomputer yang mampu mengolah data seperti halnya mikrokontroler yang sudah dilengkapi modul *Wi-Fi* dan *SD card*. Selain itu, Raspberry Pi 3 memiliki *touchscreen display* yang memudahkan pengguna untuk melakukan input. Sehingga, dengan Raspberry Pi 3 diharapkan mampu mengatasi kekurangan pada perancangan sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana memodifikasi rangkaian detektor R agar mampu diolah menggunakan Raspberry Pi 3?
- 2) Bagaimana mengolah keluaran detektor R menjadi interval RR dan menyimpannya dalam bentuk *file *csv* pada Raspberry PI 3?
- 3) Bagaimana mengolah data interval RR dengan metode PORRID untuk deteksi dini *Sudden Cardiac Death* menggunakan Raspberry PI 3?
- 4) Bagaimana menampilkan potensi *Sudden Cardiac Death* dengan menggunakan Raspberry PI 3?

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya bahasan yang terdapat pada perancangan alat *Sudden Cardiac Death* ini, maka batasan penelitian ini adalah:

1. *Sudden Cardiac Death* yang dideteksi merupakan SCD yang disebabkan oleh fibrilasi ventrikuler.
2. Data sinyal EKG *Sudden Cardiac Death* merupakan rekonstruksi sinyal digital menjadi sinyal EKG yang diambil dari www.physionet.org.

1.4 Tujuan

Merancang dan membuat alat deteksi dini *Sudden Cardiac Death* menggunakan Raspberry PI 3 model B.

1.5 Manfaat

Penelitian ini turut berkontribusi dalam pengembangan teknologi di bidang medis yaitu sebagai alat yang mampu mengolah data sinyal EKG sehingga nantinya dapat dimanfaatkan untuk deteksi dini SCD pada seseorang, serta mengurangi angka kematian akibat penyakit jantung.

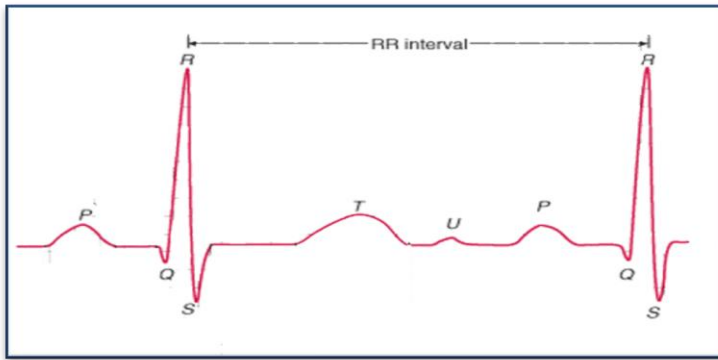
BAB II

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).

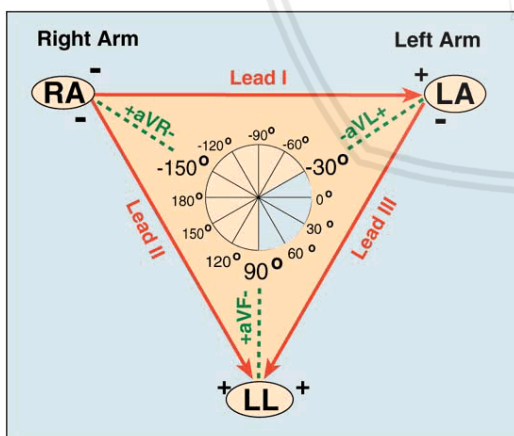
Sinyal EKG terdiri dari lima gelombang yaitu P, Q, R, S, dan T. Gelombang P terbentuk dari kontraksi atrium dari sinus atrialis ke nodus ventricularis saat darah memasuki jantung dari seluruh tubuh. Gelombang R merupakan tanda akhir dari kontraksi atrium dan awal dari kontraksi ventrikel saat darah memasuki 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). Adapun Interval RR, merupakan selisih waktu dari R sinyal jantung yang sekarang dengan R sinyal jantung sebelumnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Sinyal Keluaran EKG

Sumber : (Joshi, 2014)

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). Macam-macam lead yang digunakan untuk menyadap sinyal biopotensial manusia dapat dilihat pada gambar 2.2.



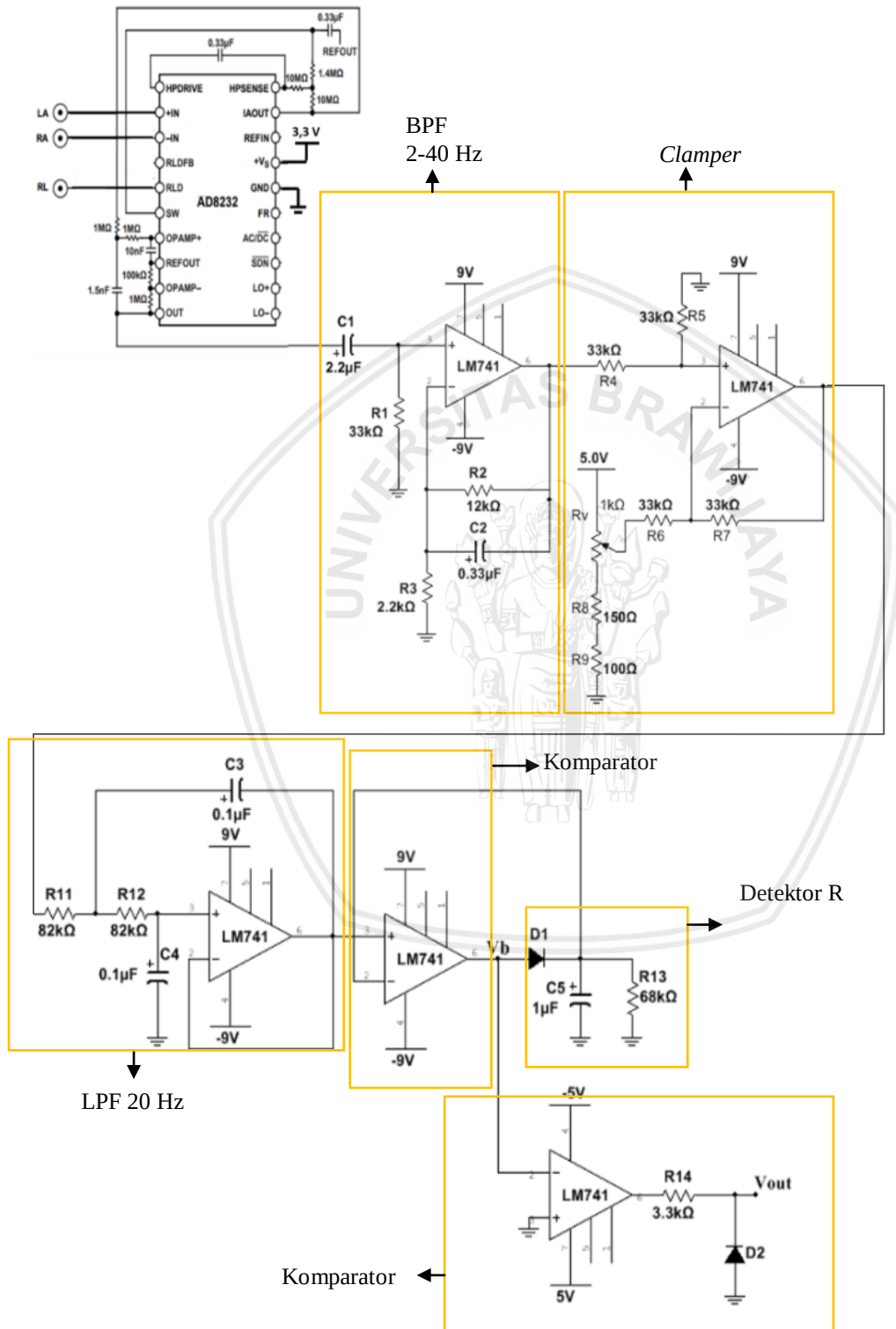
Gambar 2. 2 Sadapan EKG

Sumber : (www.ecg.utah.edu, 2019)

2.2 Detektor R

Rangkaian Detektor merupakan rangkaian yang akan mendeteksi adanya sinyal R pada sinyal biopotensial manusia. Rangkaian detektor R terhubung menerima masukan yang

berasal dari keluaran penguat AD8232. Secara umum, rangkaian detektor R terdiri dari *band pass filter*, *clamper*, *low pass filter*, dan komparator yang digunakan untuk mendeteksi sinyal R (Putri, 2018). Rangkaian keseluruhan detektor R dan rangkaian filter dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skematik detektor R penelitian sebelumnya
Sumber: (Putri, 2018)

Dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa terdapat 5 *op-amp* dengan tipe LM741. Sinyal biopotensial dikuatkan dengan AD8232 sebanyak 100 kali hingga nilai tegangan keluaran sekitar 1V. Selanjutnya, keluaran AD8232 akan masuk ke *band pass filter* yang bertujuan untuk meloloskan frekuensi 2-40 Hz. Selain itu, keluaran dari rangkaian *band pass filter* akan mengalami penguatan sebanyak 6 kali. *Op-amp* kedua pada Gambar 2.3 akan bertindak sebagai *clamper* yang digunakan untuk menggeser posisi sinyal EKG agar puncak selain R berada di bawah nilai 0. Selanjutnya, keluaran *clamper* akan masuk ke rangkaian *low pass filter* dengan frekuensi *cut off* 20 Hz. *Op-amp* keempat merupakan rangkaian detektor R yang akan membandingkan sinyal keluaran *low pass filter* dengan tegangan kapasitor yang bertindak sebagai tegangan *threshold*. Ketika nilai tegangan keluaran *low pass filter* lebih tinggi dibanding nilai tegangan kapasitor, maka keluaran detektor R akan bernilai *HIGH* (mendekati 9V), begitu pula sebaliknya. *Op-amp* terakhir merupakan komparator *inverting* yang digunakan untuk membalik logika, sekaligus membatasi tegangan keluaran detektor R menjadi 5V. Sehingga, keluaran detektor R merupakan sinyal digital dengan logika *HIGH* mendekati 5V.

2.2 Sudden Cardiac Death (SCD)

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 takiaritmia 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-Intercal Difference (PORRID)

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 seperti yang ditunjukkan Gambar 2.4 dan 2.5 (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 $\overrightarrow{\Delta RRI}_{n+1}$:

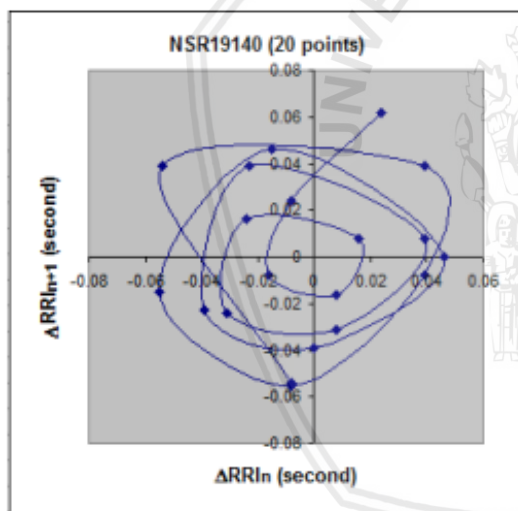
$$\overrightarrow{\Delta RRI}_n = (\Delta RRI_1, \Delta RRI_2, \dots, \Delta RRI_{m-1}) \dots \dots \dots (2-6)$$

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

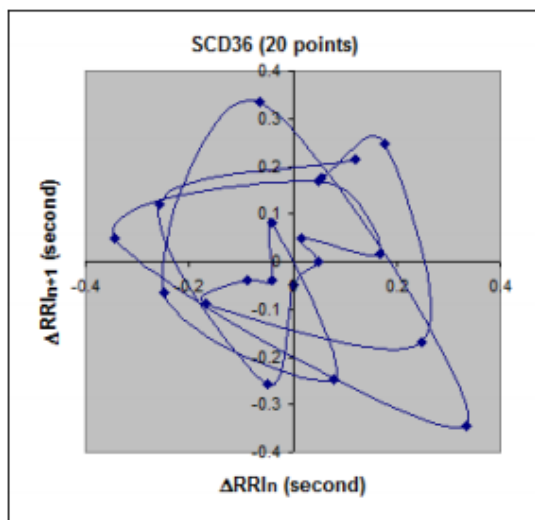
- Selanjutnya, dilakukan plotting berdasarkan persamaan (2-6) dan (2-7) dengan $\overrightarrow{\Delta RRI}_n$ sebagai absis dan $\overrightarrow{\Delta RRI}_{n+1}$ sebagai ordinat. Hasilnya merupakan sebuah titik koordinat sebagai berikut :

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

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



Gambar 2. 4 Plot beberapa RRI dalam jangka waktu pendek objek normal
Sumber : Siwindarto (2014)



Gambar 2. 5 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 ΔRRI_n bernilai positif dan ΔRRI_{n+1} bernilai positif, maka P_n berada di Q1 (kuadran 1).
- Jika ΔRRI_n bernilai negatif dan ΔRRI_{n+1} bernilai positif, maka P_n berada di Q2 (kuadran 2).
- Jika ΔRRI_n bernilai negatif dan ΔRRI_{n+1} bernilai negatif, maka P_n berada di Q3 (kuadran 3).
- Jika ΔRRI_n bernilai positif dan ΔRRI_{n+1} bernilai negatif, maka P_n berada di Q4 (kuadran 4).
- Jika ΔRRI_n bernilai positif dan ΔRRI_{n+1} bernilai nol, maka P_n berada di sumbu +X.
- Jika ΔRRI_n bernilai nol dan ΔRRI_{n+1} bernilai positif, maka P_n berada di sumbu +Y.
- Jika ΔRRI_n bernilai negatif dan ΔRRI_{n+1} bernilai nol, maka P_n berada di sumbu -X.
- Jika ΔRRI_n bernilai nol dan ΔRRI_{n+1} bernilai negatif, maka P_n berada di sumbu -Y.
- Jika ΔRRI_n bernilai nol dan ΔRRI_{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 :

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

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Kuadran 2 :

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

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Kuadran 3 :

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

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Kuadran 4 :

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

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Sumbu +X :

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

- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Sumbu -X :

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

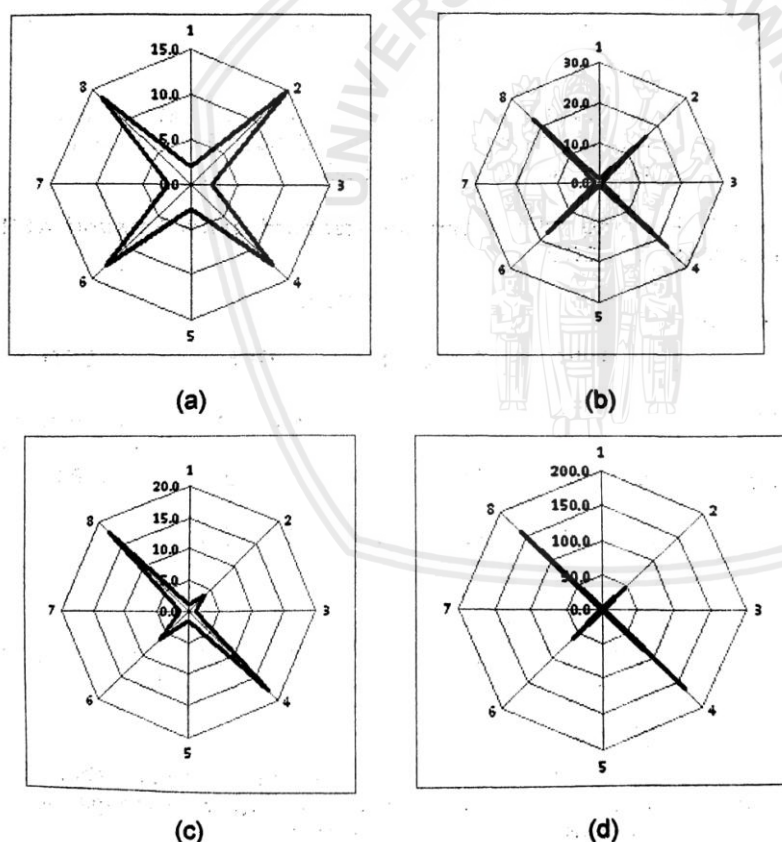
- Variabilitas Absolut Jangka Panjang pada Sumbu +Y :

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

- 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 seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 (Siwindarto, 2015).



Gambar 2. 6 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 Pengambilan Keputusan Potensi SCD dengan Metode Fuzzy

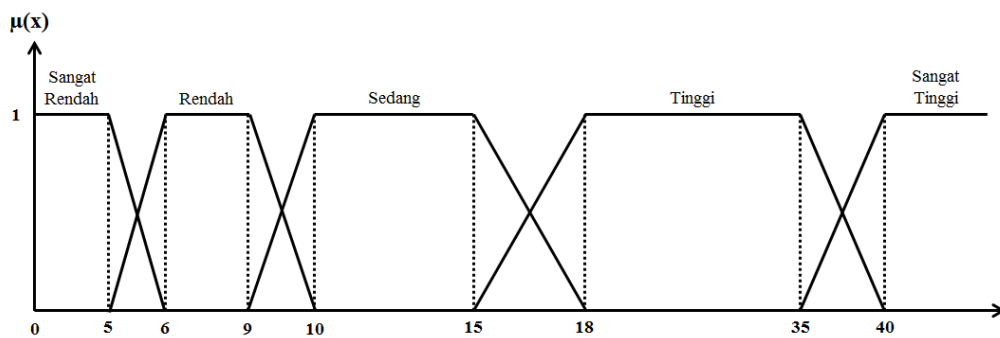
Pengambilan keputusan potensi dengan metode *fuzzy* telah dibuat sebelumnya oleh Rivan pada tahun 2018 dengan bantuan perangkat lunak *matlab*. *Fuzzy* digunakan untuk mengelompokkan rentang nilai deskriptor SCD dibandingkan dengan sinyal jantung manusia normal atau *normal sinus rythm* (NSR) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rentang nilai deskriptor untuk NSR dengan SCD

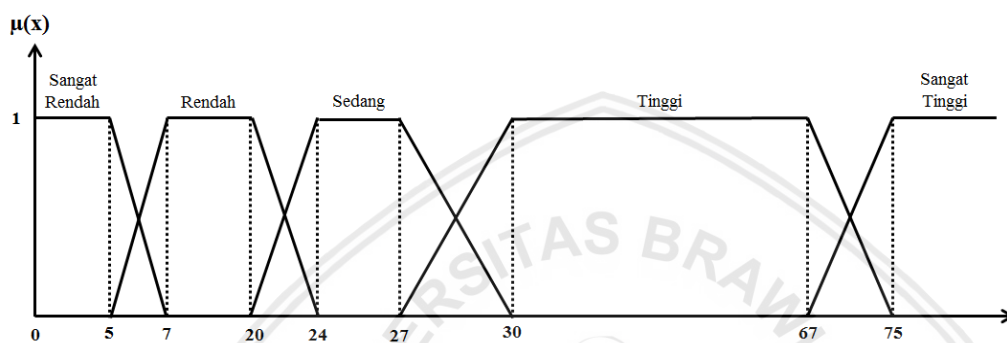
Deskriptor	Kategori	
	NSR	SCD
S_{13}	8,2 - 29,22	0,71 - 105,14
S_{24}	7,63 - 27,39	>24,88
S_{ax}	4,86 - 7,18	0,82 - 15,36
$R_{24/13}$	0,8 - 1,39	>2,47
$R_{24/ax}$	1,4 - 3,81	>7,15

Sumber : Rivan, 2018

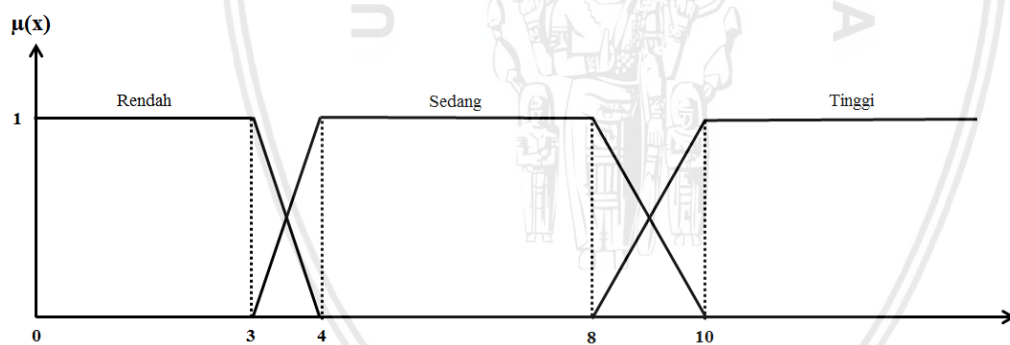
Dari Tabel 2.1 di atas, menunjukkan nilai deskriptor S_{13} , S_{24} , S_{ax} , $R_{24/13}$ dan $R_{24/ax}$ yang berbeda antara NSR dan SCD. Berdasarkan nilai tersebut, dibuatlah derajat keanggotaan yang akan ditampilkan pada Gambar 2.7.



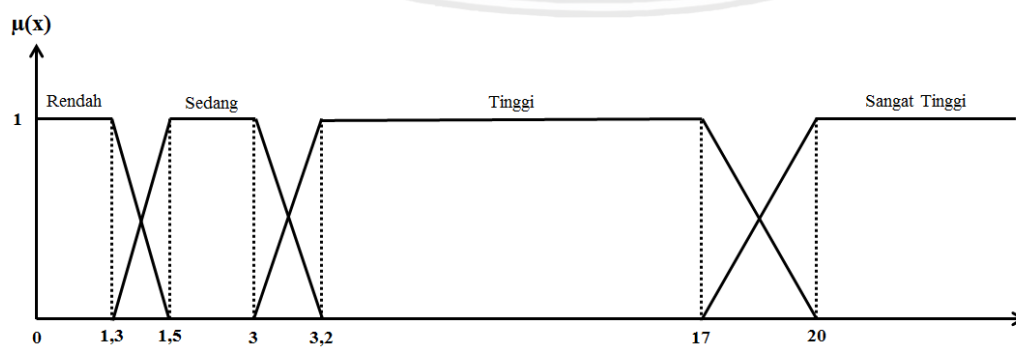
(a)



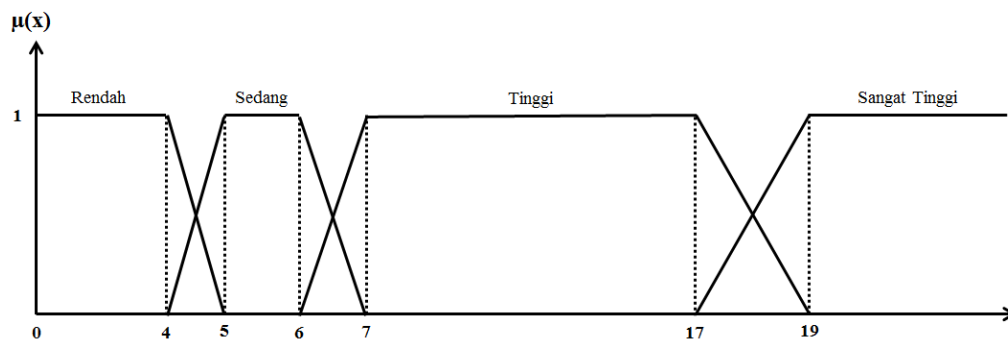
(b)



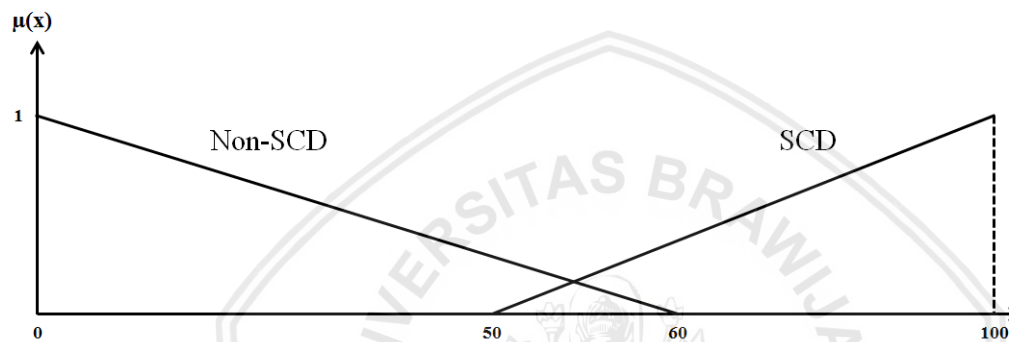
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 2.7 Derajat keanggotaan. (a) S_{13} , (b) S_{24} , (c) S_{ax} , (d) $R_{24/13}$, (e) $R_{24/ax}$ dan (f) Potensi SCD

Sumber: (Rivan, 2018)

Setelah menentukan derajat keanggotaan seperti pada Gambar 2.7, untuk menghasilkan *fuzzy output* diperlukan adanya *fuzzy rule*. Pada Tabel 2.2 diperlihatkan sebanyak 218 aturan-aturan *fuzzy* yang mewakili ciri-ciri dari 36 sampel yang digunakan. Aturan *fuzzy* juga mengacu nilai deskriptor pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Aturan-aturan *fuzzy*

No	S_{13}	S_{24}	S_{ax}	$R_{24/13}$	$R_{24/ax}$	Kondisi
1	Sangat Tinggi	-	-	-	-	SCD
2	-	Sangat Tinggi	-	-	-	SCD
3	-	-	-	Sangat Tinggi	-	SCD
4	-	-	-	-	Sangat Tinggi	SCD
5	Sedang	Tinggi	Rendah	-	-	SCD
6	Sedang	Tinggi	-	Sedang	-	SCD
7	Sedang	Tinggi	-	Tinggi	-	SCD

8	Sedang	Tinggi	-	-	Sedang	SCD
9	-	Tinggi	Rendah	Sedang	-	SCD
10	-	Tinggi	Rendah	Tinggi	-	SCD
11	-	Tinggi	Rendah	-	Sedang	SCD
12	-	Tinggi	-	Sedang	Tinggi	SCD
13	-	Tinggi	-	Tinggi	Tinggi	SCD
14	Sedang	-	-	Sedang	Tinggi	SCD
15	Sedang	-	-	Tinggi	Tinggi	SCD
16	Tinggi	-	Sedang	Tinggi	-	SCD
17	Sedang	Tinggi	Sedang	-	-	SCD
18	Sedang	Tinggi	-	Tinggi	-	SCD
19	Sedang	Tinggi	-	-	Tinggi	SCD
20	-	-	Sedang	Tinggi	Tinggi	SCD
21	Sangat Rendah	Sedang	Rendah	-	-	SCD
22	Sangat Rendah	Sedang	-	Tinggi	-	SCD
23	Sangat Rendah	Sedang	-	-	Tinggi	SCD
24	Sangat Rendah	-	Rendah	-	Tinggi	SCD
25	Sangat Rendah	-	-	Tinggi	Tinggi	SCD
26	-	Sedang	Rendah	Tinggi	-	SCD
27	-	Sedang	Rendah	-	Tinggi	SCD
28	-	Sedang	-	Tinggi	Tinggi	SCD
29	-	-	Rendah	Tinggi	Tinggi	SCD
30	Sedang	-	Sedang	Tinggi	-	SCD
31	Sedang	Sangat Tinggi	Rendah	-	-	SCD
32	-	Sangat Tinggi	-	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
33	Sedang	-	Rendah	Sangat Tinggi	-	SCD
34	Sedang	-	Rendah	-	Sangat Tinggi	SCD
35	Sedang	Sangat Tinggi	-	Sangat Tinggi	-	SCD
36	Sedang	Sangat Tinggi	-	-	Sangat Tinggi	SCD
37	Sedang	-	-	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
38	-	-	Rendah	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
39	-	Sangat Tinggi	Rendah	Sangat Tinggi	-	SCD
40	-	Sangat	Rendah	-	Sangat	SCD

		Tinggi			Tinggi	
41	Tinggi	Sangat Tinggi	Sedang	-	-	SCD
42	Tinggi	Sangat Tinggi	-	Tinggi	-	SCD
43	Tinggi	Sangat Tinggi	-	-	Sangat Tinggi	SCD
44	Tinggi	-	Sedang	Tinggi	-	SCD
45	Tinggi	-	Sedang	-	Sangat Tinggi	SCD
46	Tinggi	-	-	Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
47	-	Sangat Tinggi	Sedang	Tinggi	-	SCD
48	-	Sangat Tinggi	Sedang	-	Sangat Tinggi	SCD
49	-	Sangat Tinggi	-	Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
50	-	-	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
51	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Sedang	-	-	SCD
52	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	-	Tinggi	-	SCD
53	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	-	-	Sangat Tinggi	SCD
54	Sangat Tinggi	-	Sedang	Tinggi	-	SCD
55	Sangat Tinggi	-	Sedang	-	Sangat Tinggi	SCD
56	Sangat Tinggi	-	-	Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
57	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Sedang	-	-	SCD
58	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	-	Sedang	-	SCD
59	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	-	-	Sangat Tinggi	SCD
60	Sangat Tinggi	-	Sedang	Sedang	-	SCD
61	Sangat Tinggi	-	Sedang	-	Sangat Tinggi	SCD
62	Sangat Tinggi	-	-	Sedang	Sangat Tinggi	SCD
63	-	Sangat Tinggi	Sedang	Sedang	-	SCD
64	-	Sangat Tinggi	-	Sedang	Sangat Tinggi	SCD
65	-	-	Sedang	Sedang	Sangat	SCD

					Tinggi	
66	Sangat Rendah	Sangat Tinggi	Rendah	-	-	SCD
67	Sangat Rendah	Sangat Tinggi	-	Sangat Tinggi	-	SCD
68	Sangat Rendah	Sangat Tinggi	-	-	Sangat Tinggi	SCD
69	Sangat Rendah	-	Rendah	Sangat Tinggi	-	SCD
70	Sangat Rendah	-	Rendah	-	Sangat Tinggi	SCD
71	Sangat Rendah	-	-	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
72	Sedang	Sangat Tinggi	Sedang	-	-	SCD
73	Sedang	Sangat Tinggi	-	Tinggi	-	SCD
74	Sedang	-	Sedang	Tinggi	-	SCD
75	Sedang	-	Sedang	-	Sangat Tinggi	SCD
76	Sedang	-	-	Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
77	Tinggi	Sangat Tinggi	Rendah	-	-	SCD
78	Tinggi	Sangat Tinggi	-	Sangat Tinggi	-	SCD
79	Tinggi	-	Rendah	Sangat Tinggi	-	SCD
80	Tinggi	-	Rendah	-	Sangat Tinggi	SCD
81	Tinggi	-	-	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	SCD
82	Tinggi	Sangat Tinggi	-	-	Tinggi	SCD
83	Tinggi	-	Sedang	-	Tinggi	SCD
84	Tinggi	-	-	Tinggi	Tinggi	SCD
85	-	Sangat Tinggi	Sedang	-	Tinggi	SCD
86	-	Sangat Tinggi	-	Tinggi	Tinggi	SCD
87	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	-	-	SCD
88	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	-	-	Tinggi	SCD
89	Sangat Tinggi	-	Tinggi	Tinggi	-	SCD
90	Sangat Tinggi	-	Tinggi	-	Tinggi	SCD
91	Sangat	-	-	Tinggi	Tinggi	SCD

	Tinggi					
92	-	Sangat Tinggi	Tinggi	Tinggi	-	SCD
93	-	Sangat Tinggi	Tinggi	-	Tinggi	SCD
94	-	-	Tinggi	Tinggi	Tinggi	SCD
95	Sangat Rendah	-	-	Sangat Tinggi	Tinggi	SCD
96	-	Sedang	-	Sangat Tinggi	Tinggi	SCD
97	-	-	Rendah	Sangat Tinggi	Tinggi	SCD
98	-	-	Sedang	Sangat Tinggi	Tinggi	SCD
99	Rendah	Rendah	Sedang	-	-	Non-SCD
100	Rendah	Rendah	-	Rendah	-	Non-SCD
101	Rendah	Rendah	-	-	Rendah	Non-SCD
102	Rendah	-	Sedang	Rendah	-	Non-SCD
103	Rendah	-	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
104	Rendah	-	-	Rendah	Rendah	Non-SCD
105	-	Rendah	Sedang	Rendah	-	Non-SCD
106	-	Rendah	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
107	-	Rendah	-	Rendah	Rendah	Non-SCD
108	-	-	Sedang	Rendah	Rendah	Non-SCD
109	Sedang	Rendah	Sedang	-	-	Non-SCD
110	Sedang	Rendah	-	Rendah	-	Non-SCD
111	Sedang	Rendah	-	-	Rendah	Non-SCD
112	Sedang	-	Sedang	Rendah	-	Non-SCD
113	Sedang	-	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
114	Sedang	-	-	Rendah	Rendah	Non-SCD
115	Sedang	Rendah	-	Sedang	-	Non-SCD
116	Sedang	-	Sedang	Sedang	-	Non-

						SCD
117	Sedang	-	-	Sedang	Rendah	Non-SCD
118	-	Rendah	Sedang	Sedang	-	Non-SCD
119		Rendah	-	Sedang	Rendah	Non-SCD
120	-	-	Sedang	Sedang	Rendah	Non-SCD
121	Tinggi	Rendah	Sedang	-	-	Non-SCD
122	Tinggi	Rendah	-	Rendah	-	Non-SCD
123	Tinggi	Rendah	-	-	Rendah	Non-SCD
124	Tinggi	-	Sedang	Rendah	-	Non-SCD
125	Tinggi	-	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
126	Tinggi	-	-	Rendah	Rendah	Non-SCD
127	Tinggi	Sedang	Sedang	-	-	Non-SCD
128	Tinggi	Sedang	-	Rendah	-	Non-SCD
129	Tinggi	Sedang	-	-	Rendah	Non-SCD
130	Tinggi	-	Sedang	Rendah	-	Non-SCD
131	Tinggi	-	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
132	Tinggi	-	-	Rendah	Rendah	Non-SCD
133	-	Sedang	Sedang	Rendah	-	Non-SCD
134	-	Sedang	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
135	-	Sedang	-	Rendah	Rendah	Non-SCD
136	-	-	Sedang	Rendah	Rendah	Non-SCD
137	Tinggi	Tinggi	Sedang	-	-	Non-SCD
138	Tinggi	Tinggi	-	Rendah	-	Non-SCD
139	Tinggi	Tinggi	-	-	Rendah	Non-SCD
140	-	Tinggi	Sedang	Rendah	-	Non-SCD

141	-	Tinggi	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
142	-	Tinggi	-	Rendah	Rendah	Non-SCD
143	Sangat Rendah	Sedang	Rendah	-	-	Non-SCD
144	Sangat Rendah	Sedang	-	Tinggi	-	Non-SCD
145	Sangat Rendah	Sedang	-	-	Sedang	Non-SCD
146	Sangat Rendah	-	Rendah	Tinggi	-	Non-SCD
147	Sangat Rendah	-	Rendah	-	Sedang	Non-SCD
148	Sangat Rendah	-	-	Tinggi	Sedang	Non-SCD
149	-	Sedang	Rendah	Tinggi	-	Non-SCD
150	-	Sedang	Rendah	-	Sedang	Non-SCD
151	-	Sedang	-	Tinggi	Sedang	Non-SCD
152	-	-	Rendah	Tinggi	Sedang	Non-SCD
153	Sangat Rendah	Sedang	Sedang	-	-	Non-SCD
154	Sangat Rendah	-	Sedang	Tinggi	-	Non-SCD
155	Sangat Rendah	-	Sedang	-	Sedang	Non-SCD
156	-	Sedang	Sedang	Tinggi	-	Non-SCD
157	-	Sedang	Sedang	-	Sedang	Non-SCD
158	-	-	Sedang	Tinggi	Sedang	Non-SCD
159	Sangat Rendah	Rendah	Rendah	-	-	Non-SCD
160	Sangat Rendah	Rendah	-	Tinggi	-	Non-SCD
161	Sangat Rendah	Rendah	-	-	Sedang	Non-SCD
162	-	Rendah	Rendah	Tinggi	-	Non-SCD
163	-	Rendah	Rendah	-	Sedang	Non-SCD
164	-	Rendah	-	Tinggi	Sedang	Non-SCD
165	Sangat	Rendah	Sedang	-	-	Non-

	Rendah					SCD
166	-	Rendah	Sedang	Tinggi	-	Non-SCD
167	-	Rendah	Sedang	-	Sedang	Non-SCD
168	Rendah	Sedang	Sedang	-	-	Non-SCD
169	Rendah	Sedang	-	Tinggi	-	Non-SCD
170	Rendah	Sedang	-	-	Rendah	Non-SCD
171	Rendah	-	Sedang	Tinggi	-	Non-SCD
172	Rendah	-	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
173	Rendah	-	-	Tinggi	Rendah	Non-SCD
174	Rendah	Rendah	-	Tinggi	-	Non-SCD
175	Rendah	Rendah	-	-	Rendah	Non-SCD
176	Rendah	-	Sedang	Tinggi	-	Non-SCD
177	Rendah	-	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
178	Rendah	-	-	Tinggi	Rendah	Non-SCD
179	-	-	Sedang	Rendah	Rendah	Non-SCD
180	Sangat Rendah	Sangat Rendah	Rendah	-	-	Non-SCD
181	Sangat Rendah	Sangat Rendah	-	Tinggi	-	Non-SCD
182	Sangat Rendah	Sangat Rendah	-	-	Rendah	Non-SCD
183	-	Sangat Rendah	Rendah	Tinggi	-	Non-SCD
184	-	Sangat Rendah	Rendah	-	Rendah	Non-SCD
185	-	Sangat Rendah	-	Tinggi	Rendah	Non-SCD
186	Sangat Rendah	Sangat Rendah	Sedang	-	-	Non-SCD
187	-	Sangat Rendah	Sedang	Tinggi	-	Non-SCD
188	-	Sangat Rendah	Sedang	-	Rendah	Non-SCD
189	Sangat Rendah	Rendah	Tinggi	-	-	Non-SCD

190	Sangat Rendah	-	Tinggi	Tinggi	-	Non-SCD
191	Sangat Rendah	-	Tinggi	-	Rendah	Non-SCD
192	-	Rendah	Tinggi	Tinggi	-	Non-SCD
193	-	Rendah	Tinggi	-	Rendah	Non-SCD
194	-	-	Tinggi	Tinggi	Rendah	Non-SCD
195	Sangat Rendah	Sedang	Tinggi	-	-	Non-SCD
196	-	Sedang	Tinggi	Tinggi	-	Non-SCD
197	-	Sedang	Tinggi	-	Rendah	Non-SCD
198	Tinggi	Tinggi	-	-	Tinggi	Non-SCD
199	Tinggi	-	Sedang	-	Tinggi	Non-SCD
200	Tinggi	-	-	Rendah	Tinggi	Non-SCD
201	-	Tinggi	Sedang	-	Tinggi	Non-SCD
202	-	Tinggi	-	Rendah	Tinggi	Non-SCD
203	-	-	Sedang	Rendah	Tinggi	Non-SCD
204	Tinggi	Tinggi	-	Sedang	-	Non-SCD
205	Tinggi	-	Sedang	Sedang	-	Non-SCD
206	Tinggi	-	-	Sedang	Tinggi	Non-SCD
207	-	Tinggi	Sedang	Sedang	-	Non-SCD
208	-	Tinggi	-	Sedang	Tinggi	Non-SCD
209	-	-	Sedang	Sedang	Tinggi	Non-SCD
210	Tinggi	Rendah	Sedang	-	-	Non-SCD
211	Tinggi	Rendah	-	Rendah	-	Non-SCD
212	Tinggi	Rendah	-	-	Rendah	Non-SCD
213	Rendah	Tinggi	Sedang	-	-	SCD
214	Rendah	Tinggi	-	Tinggi	-	SCD
215	Rendah	Tinggi	-	-	Tinggi	SCD

216	Rendah	-	Sedang	Tinggi	-	SCD
217	Rendah	-	Sedang	-	Tinggi	SCD
218	Rendah	-	-	Tinggi	Tinggi	SCD

Sumber : (Rivan, 2018)

Nilai potensi SCD akan dihitung dengan menggunakan persamaan *weighted average* yakni dengan mengambil nilai rata-rata menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan. Adapun persamaannya didefinisikan seperti persamaan 2-22.

$$\text{Potensi} = \sum \frac{\text{derajat keanggotaan} * \text{nilai crisp}}{\text{derajat keanggotaan}} \dots\dots\dots (2-22)$$

Adapun nilai masukan RRI dikatakan *error* jika:

- Jika nilai RRI kurang dari 0,3 detik
- Jika nilai RRI lebih dari 2 detik
- Jika nilai RRI kurang dari 80% RRI sebelumnya
- Jika nilai RRI lebih dari 120% RRI sebelumnya

Perhitungan *error* masukan adalah sebagai berikut:

$$\text{Input Error} = \frac{\text{banyaknya data yang error}}{\text{Total jumlah data}} \times 100\%$$

2.5 Raspberry Pi 3

Raspberry Pi yang sering juga disingkat dengan nama Raspi adalah komputer papan tunggal (*Single Board Circuit/SBC*) yang memiliki ukuran sebesar kartu kredit. Jika dihubungkan dengan monitor, keyboard, mouse, dan jaringan komputer, Raspberry Pi bisa digunakan untuk berbagai keperluan seperti menulis dokumen, bermain *game*, bahkan bisa digunakan sebagai *web server* (Kadir, 2017). Raspberry Pi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.8 dikembangkan oleh yayasan nirlaba, Raspberry Pi Foundation yang dibuat oleh sejumlah *developer* dan ahli komputer dari Universitas Cambridge, Inggris.



Gambar 2.8 Raspberry Pi 3
Sumber : (Raspberry, 2018)

Raspberry Pi *board* memiliki dua model yaitu model A dan model B. Secara umum Raspberry Pi Model B, 512MB RAM. Perbedaan model A dan B terletak pada memory yang digunakan, Model A menggunakan memory 256 MB dan model B 512 MB. Selain itu model B juga sudah dilengkapi dengan *ethernet port* (kartu jaringan) yang tidak terdapat di model A. Penyimpanan data didesain tidak untuk menggunakan hard disk atau *solid-state drive*, melainkan mengandalkan kartu SD (*SD memory card*) untuk booting dan penyimpanan jangka panjang. Spesifikasi Raspberry PI 3 ditunjukkan seperti pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.3 Spesifikasi Raspberry PI 3

Processor	Broadcom BCM2387 chipset.
GPU	ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode.
Power	Micro USB socket 5V, 2,5 A
Batas tegangan input	6-20V
Jumlah pin I/O (GPIO)	40
LAN	IEEE 802.11 b / g / n Wi-Fi. Protocol: WEP, WPA WPA2, algorithms AES-CCMP (<i>maximum key length of 256 bits</i>), <i>the maximum range of 100 meters</i>
Memori	1 GB LPDDR2
SD card slot	Push/pull Micro SDIO

Sumber: (Farnell, 2018)

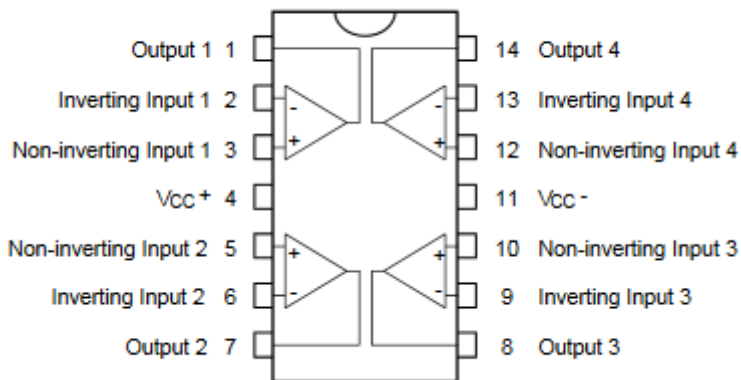
Adapun *pinout* dari *Raspberry* PI 3 model B dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut ini.

Raspberry Pi 3 GPIO Header					
Pin#	NAME		NAME	Pin#	
01	3.3v DC Power		DC Power 5v	02	
03	GPIO02 (SDA1 , I ² C)		DC Power 5v	04	
05	GPIO03 (SCL1 , I ² C)		Ground	06	
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)		(TXD0) GPIO14	08	
09	Ground		(RXD0) GPIO15	10	
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)		(GPIO_GEN1) GPIO18	12	
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)		Ground	14	
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)		(GPIO_GEN4) GPIO23	16	
17	3.3v DC Power		(GPIO_GEN5) GPIO24	18	
19	GPIO10 (SPI_MOSI)		Ground	20	
21	GPIO09 (SPI_MISO)		(GPIO_GEN6) GPIO25	22	
23	GPIO11 (SPI_CLK)		(SPI_CE0_N) GPIO08	24	
25	Ground		(SPI_CE1_N) GPIO07	26	
27	ID_SD (I ² C ID EEPROM)		(I ² C ID EEPROM) ID_SC	28	
29	GPIO05		Ground	30	
31	GPIO06		GPIO12	32	
33	GPIO13		Ground	34	
35	GPIO19		GPIO16	36	
37	GPIO26		GPIO20	38	
39	Ground		GPIO21	40	

Gambar 2.9 *Raspberry* PI 3 model B *pinout*
Sumber: (Farnell, 2018)

2.6 Operational Amplifier TL084

TL084 adalah penguat operasional *quad*-JET FET berkecepatan tinggi, transistor J-FET bertegangan tinggi dan transistor bipolar dalam IC monolitik. Perangkat ini memiliki tingkat *slew rate* yang tinggi, bias input dan arus *offset* yang rendah, dan tegangan *offset* koefisien suhu yang rendah (STMicroelectronics, 2012). TL084 dapat menerima tegangan catu maksimum $\pm 18V$ dan tegangan masukan maksimum $\pm 15 V$. Adapun *pinout* tl084 dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 tl084 pinout

Sumber: (STMicroelectronics, 2012)



BAB III

METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian yang terdapat pada bab sebelumnya, maka diperlukan langkah-langkah guna untuk menyelesaikannya. Langkah-langkah tersebut antara lain penentuan spesifikasi alat, perancangan dan pembuatan alat, pengujian alat dan pengambilan kesimpulan.

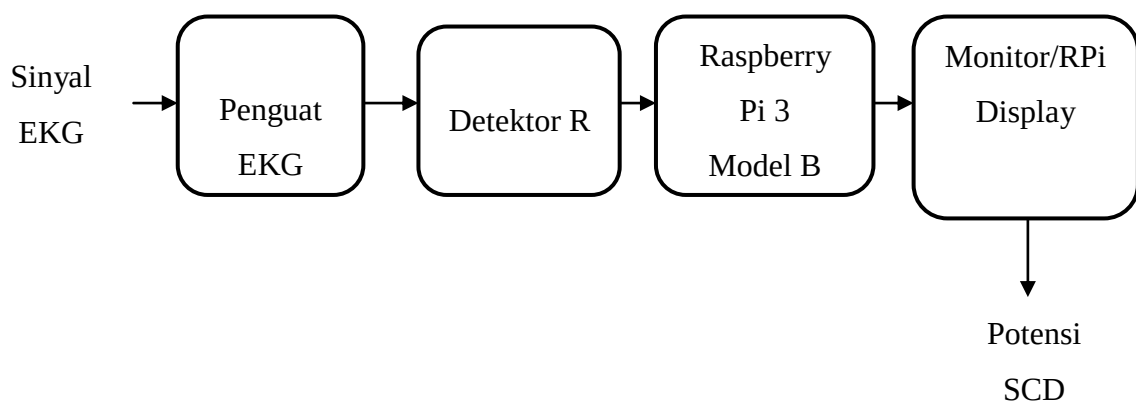
3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat pada perancangan ini ditentukan terlebih dahulu agar didapat hasil yang sesuai dan alat bekerja dengan efektif. Adapun spesifikasi alat terdiri dari:

- 1) Raspberry Pi 3 model B untuk mengolah data sistem dengan memori DDR2 1 GB, Broadcom BCM2387 chipset, dan LAN IEEE 802.11 b / g / n Wi-Fi. Protocol: WEP, WPA WPA2, algorithms AES-CCMP (maximum key length of 256 bits), maksimum jarak 100 m.
- 2) R detektor dari penelitian sebelumnya
- 3) Monitor
- 4) RPi Display

3.2 Diagram Blok Sistem

Pembuatan diagram blok merupakan dasar dari perancangan sistem agar perancangam dan perealisasiian alat dapat berjalan secara sistematis. Secara keseluruhan alat deteksi fibrilasi pada jantung ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram blok keseluruhan sistem deteksi *Sudden Cardiac Death*

Penjelasan masing-masing bagian pada blok diagram diatas adalah:

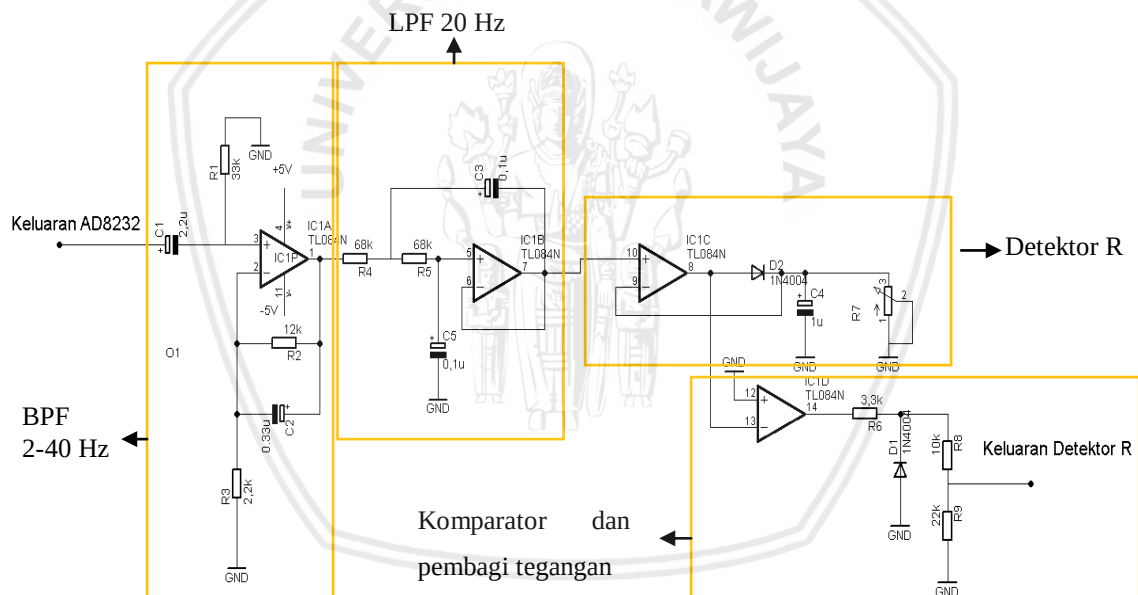
- 1) Raspberry Pi 3 Model B: sebagai pengolah data sinyal rekaman EKG agar didapatkan hasil komputasi berupa nilai interval RR. Adapun Raspberry tersebut sudah memiliki slot SD Card dan LAN.
- 2) RPi display dapat digunakan untuk menampilkan sinyal seperti halnya PC

3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat

Dalam perancangan dan pembuatan alat pada penelitian ini terdiri dari perancangan *hardware* dan *software*.

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Detektor yang dirancang pada penelitian ini menghilangkan *clammer* pada rangkaian detektor R sebelumnya. Selain itu, *op-amp* yang digunakan adalah *quad op-amp* dengan tipe tl084. Sehingga, rangkaian yang akan digunakan adalah seperti terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rancangan skematik detektor R

Keluaran dari detektor berupa sinyal digital dengan nilai *HIGH* mendekati 5V. Meskipun begitu, GPIO pada *Raspberry* menerima tegangan maksimum kurang lebih 3,3V. Oleh karena itu, diperlukan rangkaian pembagi tegangan untuk menurunkan level tegangan. Dengan menggunakan resistor 10 k Ω sebagai R yang terhubung dengan keluaran detektor R, maka nilai resistor yang terhubung dengan persamaan 3.1.

$$R = \frac{\text{tegangan output (R10k+R)}}{\text{Keluaran Detektor R}} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$R = \frac{3,3 V (10.000 \Omega + R)}{5 V}$$

$$5R = 33000 \Omega + 3,3R$$

$$R = \frac{33000 \Omega}{1,7}$$

$$R = 19.412 \Omega$$

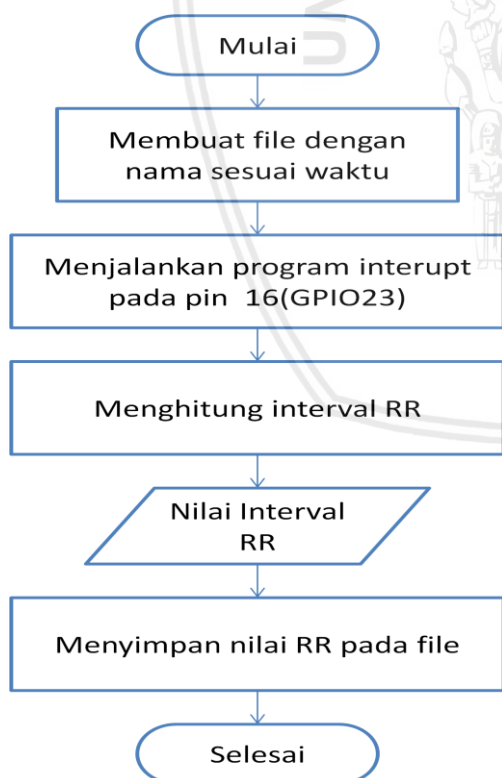
Mempertimbangkan resistor yang ada di pasar, maka nilai resistansi yang digunakan adalah 22k Ω .

3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Perancangan perangkat lunak dibagi menjadi dua, yaitu perancangan perangkat lunak untuk pengolahan data dan perangkat lunak untuk penyimpanan data.

3.3.2.1 Perancangan Perangkat Lunak Nilai Interval RR

Input yang berasal dari R detektor akan diolah oleh raspberry Pi 3 guna mencari interval R-R. Adapun diagram alir untuk perangkat lunak pengolahan data terlihat pada Gambar 3.3:



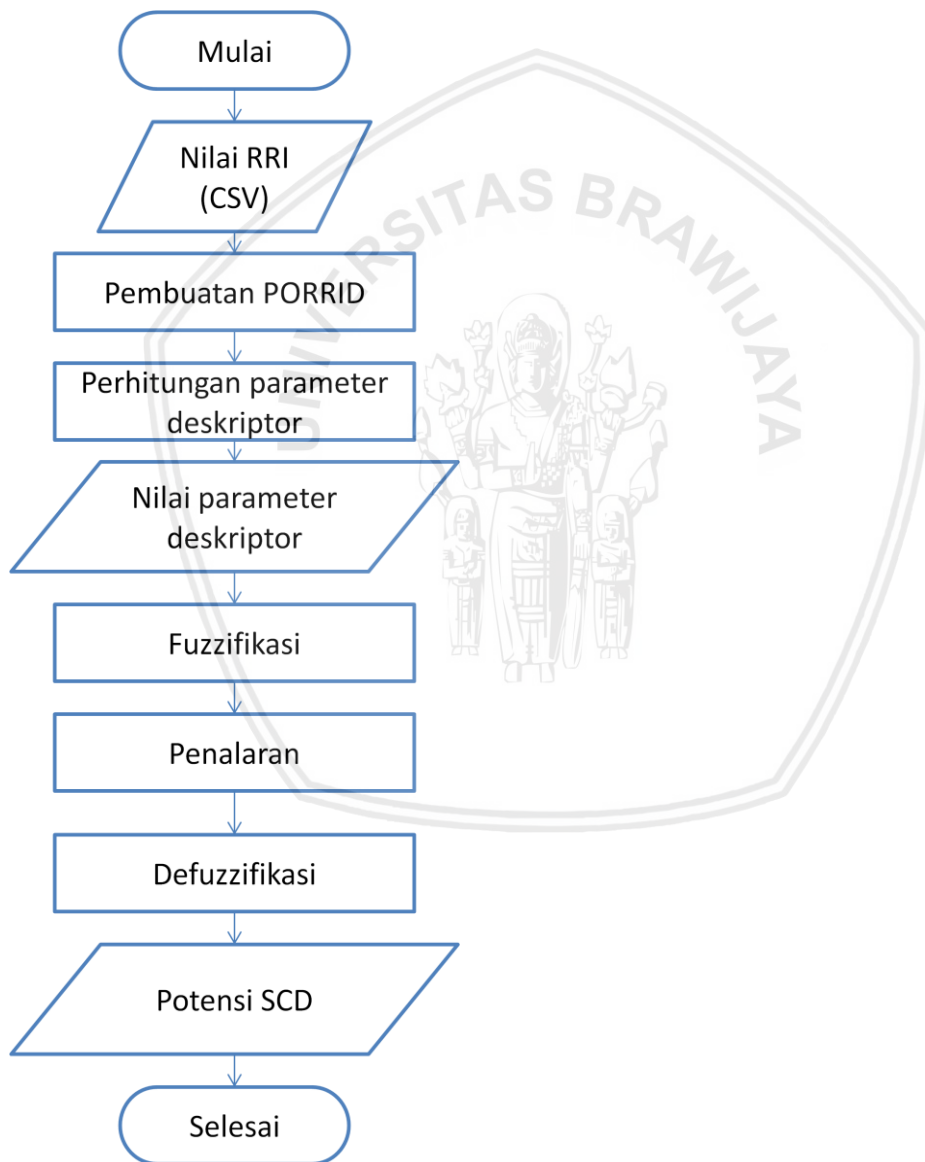
Gambar 3.3 Diagram alir untuk mendapatkan nilai interval RR

Diagram alir pada Gambar 3.4 akan mengambil menyimpan sebanyak 800 data interval RR dengan pembulatan dua angka di belakang koma (2-3 angka penting). Nama file akan menyesuaikan waktu pengambilan data dengan format hari, jam dan menit.

3.3.2.3 Perancangan Perangkat Lunak Potensi *Sudden Cardiac Death*

Pada penelitian ini, potensi *sudden cardiac death* akan ditampilkan dengan GUI (*Graphical User Interface*) dari *Raspberry PI 3* dikarenakan *Raspberry PI* tidak mendukung perangkat lunak *matlab*. Proses fuzzifikasi hingga defuzzifikasi potensi SCD mengacu pada penelitian sebelumnya yang dirancang oleh Rivan (2018) akan tetapi direkonstruksi menggunakan bahasa *python*.

Adapun diagram alir untuk perancangan perangkat lunak potensi SCD ditunjukkan Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram Alir pengambilan keputusan potensi SCD

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem ini mengambil sinyal EKG menggunakan sensor AD8232 dan akan menghasilkan data interval RR berupa file dengan ekstensi *.csv sebanyak 800 data. Sistem juga dilengkapi GUI (*Graphical User Interface*) untuk pengambilan keputusan potensi SCD.

4.1 Rangkaian Detektor R

4.1.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa rangkaian detektor R setelah dimodifikasi mampu mendeteksi puncak gelombang R dan dapat digunakan sebagai masukan pada GPIO Raspberry PI 3.

4.1.2 Alat yang digunakan

Alat yang digunakan pada pengujian ini antara lain:

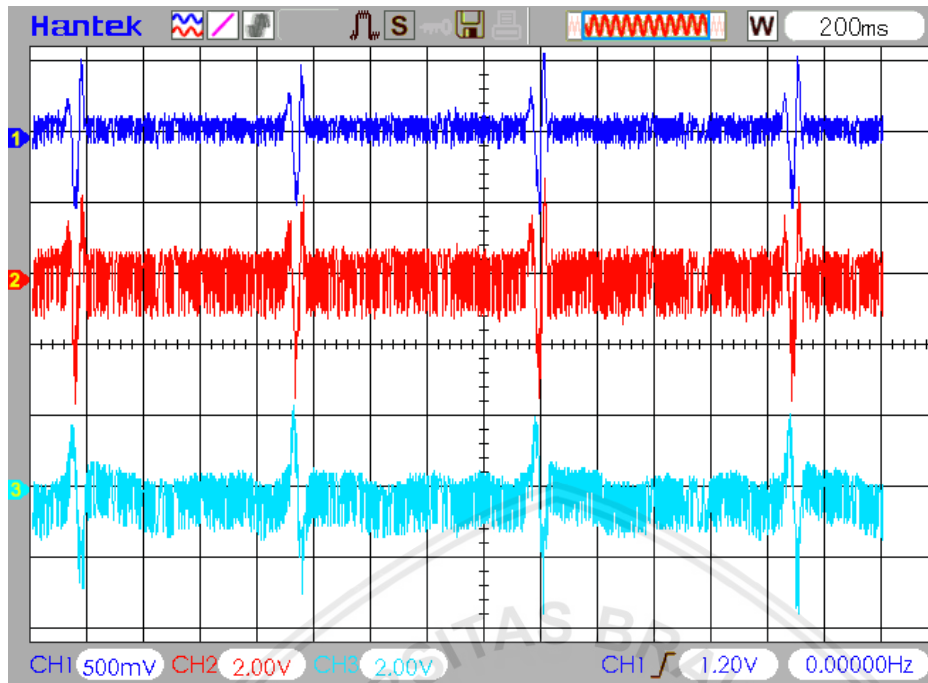
1. Rangkaian detektor R
2. Osiloskop
3. Kabel penghubung

4.1.3 Prosedur Pengujian

1. Rangkaian detektor R dihubungkan dengan rangkaian pembagi tegangan yang sudah dihubungkan sebelumnya.
2. Keluaran masing-masing sub rangkaian (*band pass filter*, *low pass filter*, komparator dan *voltage follower*, dan komparaton *inverting*) dihubungkan dengan osiloskop.
3. Analisis tampilan sinyal

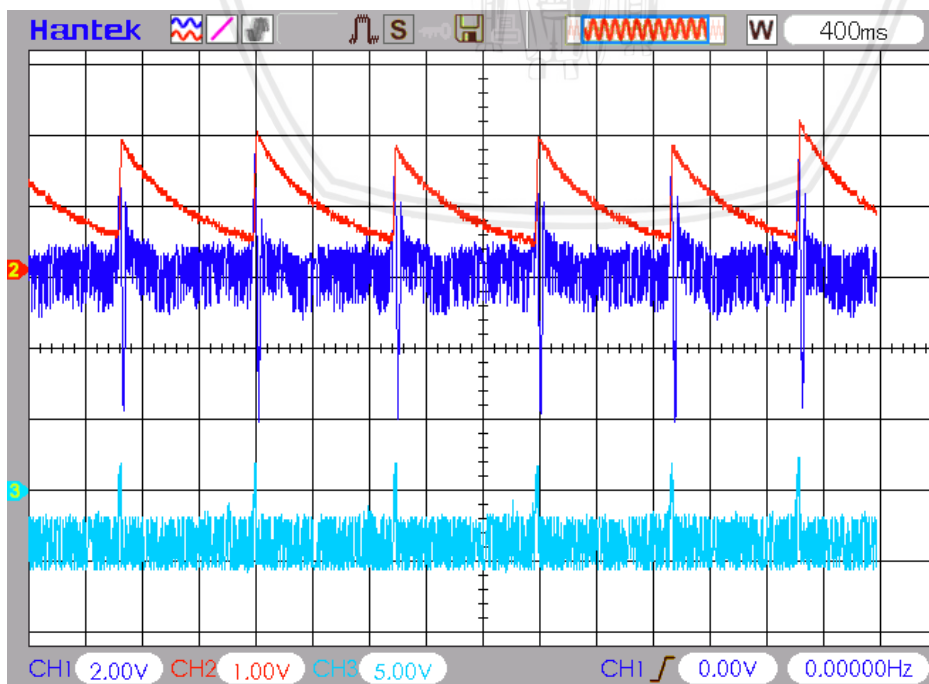
4.1.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pada hasil pengujian rangkaian detektor R, masing-masing masukan dan keluaran sub rangkaian ditampilkan menggunakan osiloskop digital dan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



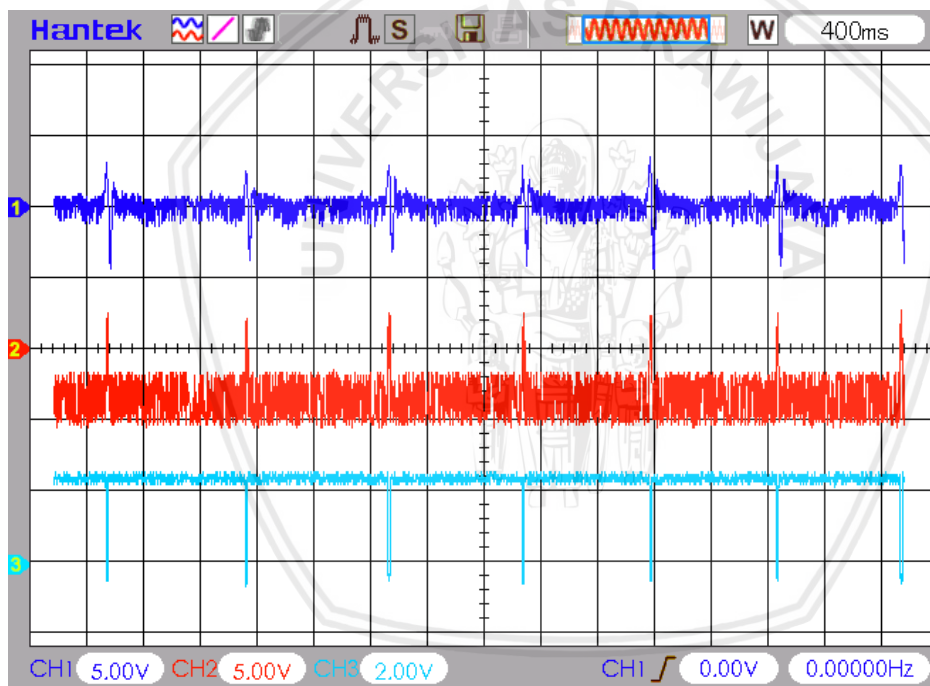
Gambar 4.1 Keluaran sinyal (1) AD8232, (2) Band Pass Filter dan (3) low pass filter

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa keluaran AD8232 (nomor 1) diperkuat oleh band pass filter hingga tegangan puncak R mendekati nilai 2V (nomor 2). Adapun tegangan noise keluaran band pass filter dari puncak ke puncak bernilai sekitar 2V. Selain itu, low pass filter juga mengeluarkan sinyal keluaran dengan tegangan mendekati 2V dengan noise dari puncak ke puncak sekitar 2V.



Gambar 4.2 Keluaran sinyal (1) low pass filter, (2) tegangan kapasitor dan (3) detektor R

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai keluaran dari tegangan kapasitor menyesuaikan dengan sinyal puncak R. Dimana nilai tegangan kapasitor akan mendekati nilai 2V saat terjadi puncak R. Nilai tegangan kapasitor akan terus berkurang hingga terjadi puncak R selanjutnya. Selain itu, keluaran *op amp* (nomor 3) adalah detektor R yang merupakan hasil perbandingan antara tegangan keluaran *low pass filter* dengan tegangan kapasitor. Saat tegangan keluaran *low pass filter* > tegangan kapasitor, dioda akan aktif dan rangkaian akan bertindak sebagai *voltage follower*. Dimana, tegangan keluaran *op amp* akan mengikuti nilai tegangan *low pass filter* + 0,7v (ketidakidealan dioda). Adapun saat *low pass filter* < tegangan kapasitor, dioda tidak aktif dan *op amp* bertindak sebagai komparator. Nilai keluaran *op amp* akan bernilai $-V_{sat}$ (penguatan *open loop*).



Gambar 4.3 Sinyal keluaran (1) *low pass filter*, (2) tegangan kapasitor (*threshold*), dan (3) Komparator *inverting*

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa sinyal keluaran komparator *inverting* (nomor 3) berbanding terbalik dengan tegangan keluaran komparator (nomor 2). Saat tegangan keluaran *op amp* sebelumnya > 0V, tegangan keluaran komparator *inverting* akan mendekati nilai -5V ($-V_{sat}$). Akan tetapi, saat tegangan keluarannya mendekati -5V, dioda akan aktif dan keluaran akan terhubung ke *ground*. Nilai tegangan keluarannya pun akan mendekati -0,7V (ketidakidealan dioda). Saat tegangan keluaran *op amp* sebelumnya < 0V, tegangan keluaran komparator *inverting* akan mendekati 5V ($+V_{sat}$).

Keluaran komparator *inverting* yang berupa tegangan digital langsung masuk menuju rangkaian pembagi tegangan sehingga keluaran detektor R menjadi 2V hingga 2,5V yang selanjutnya dihubungkan ke GPIO *Raspberry PI 3*.

4.2 Nilai Interval RR

4.2.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai interval RR yang akan tersimpan pada *micro SD* di dalam *Raspberry PI 3*.

4.2.2 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian pengolahan data adalah:

1. Rangkaian detektor R
2. 1 *Raspberry PI 3* beserta *micro SD*
3. 1 osiloskop digital
4. 1 Rpi display

4.2.3 Prosedur Pengujian

1. Hubungkan *Raspberry PI 3* dengan detektor R sesuai dengan rancangan yang dibuat
2. Nyalakan *Raspberry PI 3*, buka file “RRI+Store_data” dengan ekstensi *.py menggunakan Tonny IDLE
3. RUN kode program untuk melakukan perekaman tunggu hingga layar menunjukkan selesai
4. Setelah selesai, STOP kode program
5. Bandingkan hasil komputasi yang disimpan dalam *micro SD* dengan perhitungan manual pada sinyal yang ditampilkan oleh osiloskop digital

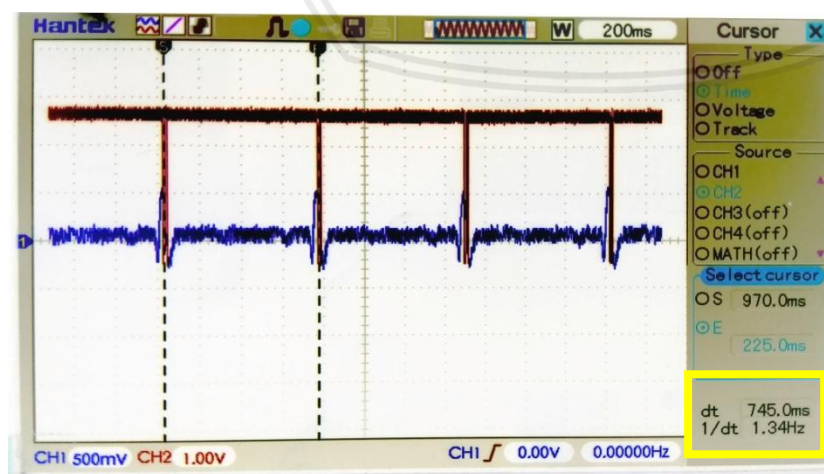
4.2.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pada pengujian pengolahan data didapatkan hasil berupa *file* rekaman yang tersimpan dalam *micro SD* pada *Raspberry PI 3* dengan format *.csv dan tampilan sinyal yang terekam dari osiloskop digital. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2

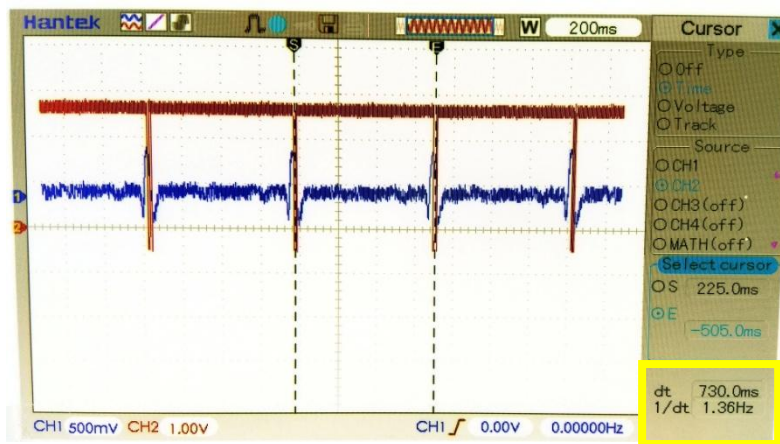
	A	B	C	D
8	1.24			
9	0.80			
10	0.74			
11	0.73			
12	0.72			
13	1.22			
14	0.80			
15	0.73			
16	0.72			
17	0.72			
18	0.73			
19	0.73			
20	0.13			
21	1.24			
22	0.79			
23	0.75			
24	0.73			

Gambar 4.4 Nilai interval RR yang tersimpan pada *micro SD*

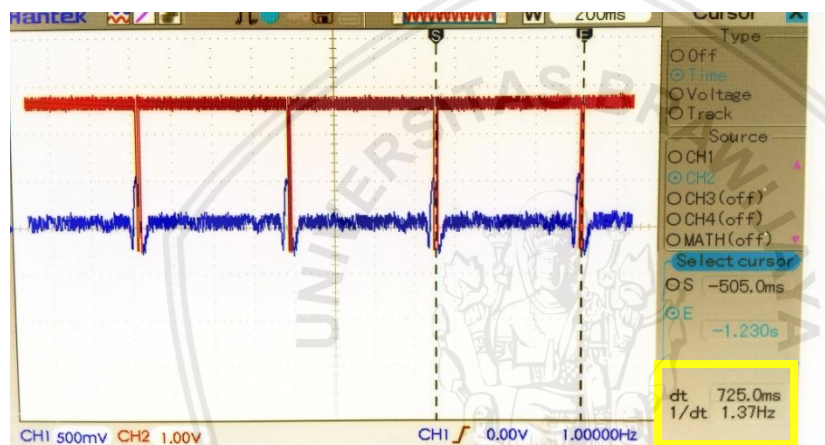
Nilai interval RR yang ditunjukkan sesuai Gambar 4.4 adalah nilai waktu dalam detik dengan pembulatan dua angka di belakang koma. Untuk perhitungan secara manual, perhitungan nilai interval RR dapat dilihat pada Gambar 4.5



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5 Selisih waktu gelombang R. (a) Data baris ke 10. (b) Data baris ke 11. (c) Data baris ke 12

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa selisih waktu antara R dapat dicari dengan mengatur posisi kursor E dan S. Nilai selisih waktu ditunjukkan oleh dt , dimana secara berturut-turut nilai selisih waktu a, b, dan c adalah 745ms, 730ms, dan 725ms. Nilai yang tertera pada Gambar memiliki nilai yang mendekati data RRI baris ke 10, 11 dan 12 yang berturut-turut bernilai 74 ms, 73 ms, dan 72 ms. Osiloskop yang digunakan pada saat pengujian memiliki ketelitian 5ms. Sehingga, dengan adanya pembulatan dua angka di belakang koma dapat menimbulkan error terbesar 4,9 ms. Banyak data interval dalam satu *file* akan berjumlah 800 data. Adapun nama file nantinya akan disimpan di dalam micro SD dengan tambahan format waktu, sehingga setiap melakukan pengambilan nilai interval RR akan memiliki nama file yang berbeda.

4.3 Pengambilan Keputusan Potensi SCD

4.3.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah GUI (*Graphical User Interface*) yang dibuat menggunakan *Raspberry PI 3* memiliki kemampuan yang sama dengan GUI yang sebelumnya dibuat oleh Rivan pada tahun 2018 menggunakan *matlab*.

4.3.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah:

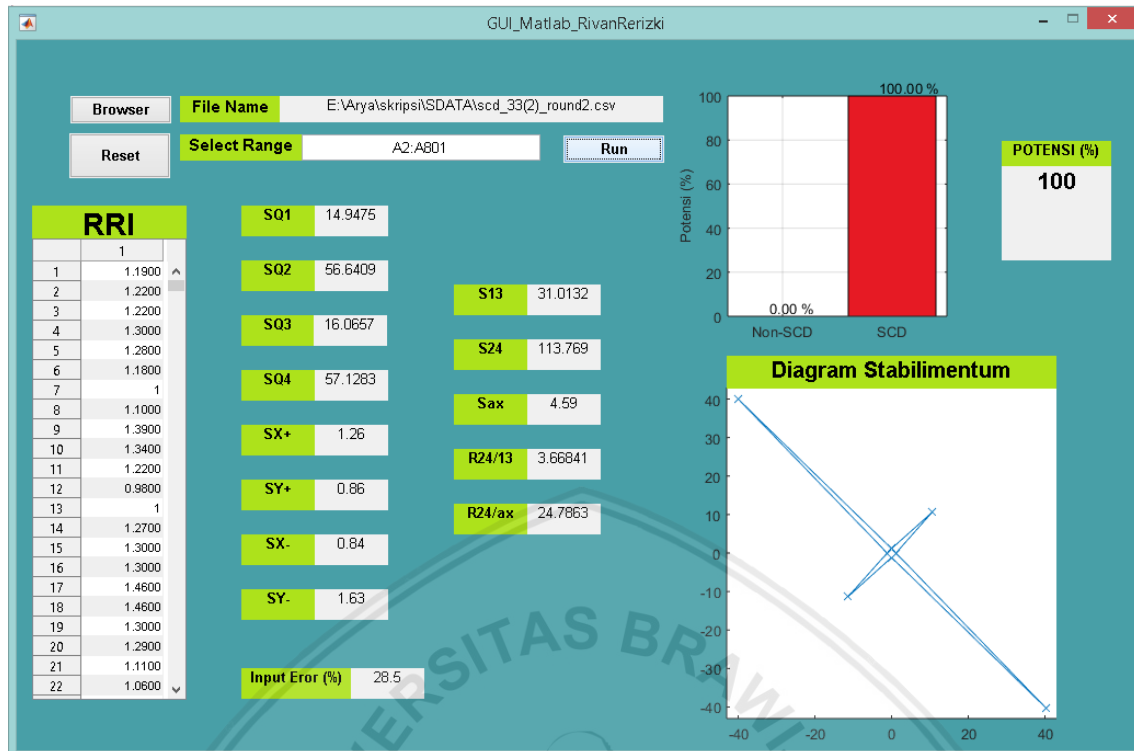
1. Perangkat lunak *matlab*
2. *Raspberry PI 3*
3. Data RR dengan ekstensi *file *.csv*

4.3.3 Prosedur Pengujian

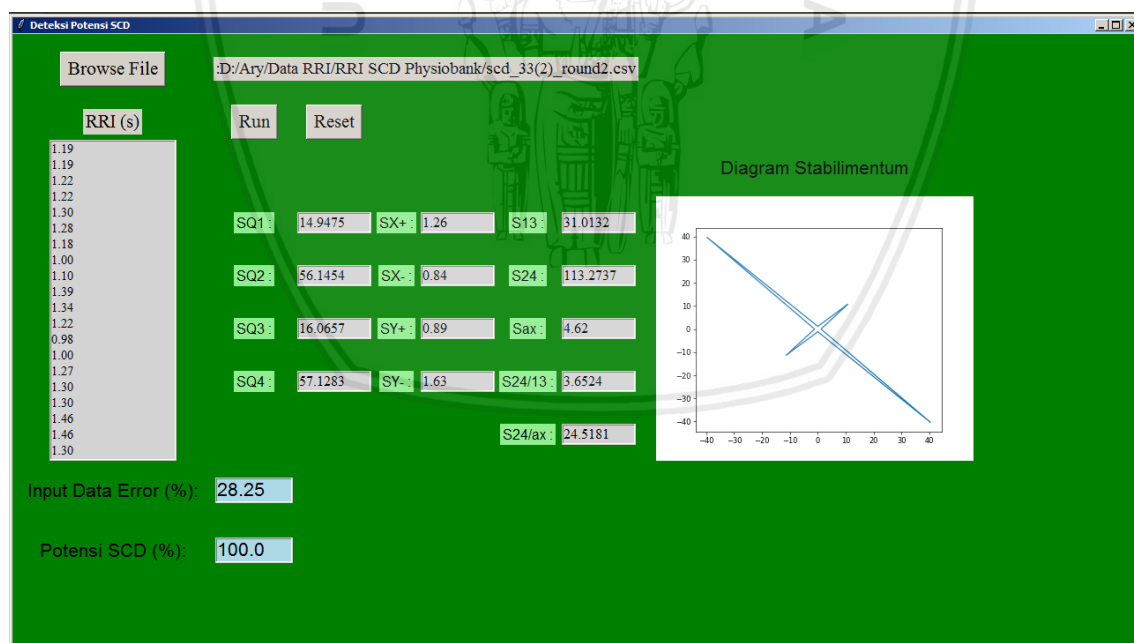
1. Buka GUI pada *matlab*. Gunakan *file* data RRI yang berisi 800 data di dalamnya dan jalankan programnya.
2. Buka GUI pada *Raspberry PI 3*. Gunakan *file* yang sebelumnya digunakan dan jalankan programnya.
3. Bandingkan hasil keduanya

4.3.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pembuatan GUI dengan *Raspberry PI 3* menggunakan persamaan matematika yang sama seperti halnya GUI yang dibuat sebelumnya, akan tetapi dengan bahasa pemrograman yang berbeda. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.6.



(a)



(b)

Gambar 4.6 Pengambilan keputusan dengan menggunakan GUI. (a) matlab. (b) Raspberry PI 3

Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa data yang digunakan adalah *file* yang sama, yaitu *file* dengan nama “scd_32(2)_round2.csv” Nilai yang ditampilkan pada masing-masing GUI seperti halnya nilai deskriptor SCD, nilai *input data error*, dan potensi SCD juga

memiliki nilai yang sama. Termasuk diagram stabilimentum kedua GUI juga menggambarkan pola yang sama.

4.4 Pengujian Data Minimum

4.4.1 Tujuan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui berapa jumlah data minimum yang dibutuhkan untuk mendeteksi potensi SCD dan menampilkan kategori yang sama seperti pada *database*.

4.4.2 Alat yang Digunakan

1. *Raspberry PI 3*
2. Monitor

4.4.3 Prosedur Pengujian

1. Sampel yang digunakan diambil dari *www.physionet.org*
2. Masing-masing sampel diolah dengan GUI yang datanya diatur menjadi 800, 750, 700 dan 650.
3. Analisis masing-masing hasil pengujian.

4.4.4 Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian masing-masing sampel untuk mengetahui data minimum yang dibutuhkan untuk menampilkan potensi SCD pada kategori yang sama memiliki nilai yang bervariasi pada setiap perubahan jumlah data yang digunakan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian masing-masing sampel untuk mengetahui data minimum yang dibutuhkan untuk menampilkan potensi SCD pada kategori yang sama

No	Nama Data	Kategori pada <i>database</i>	Potensi SCD (800) (%)	Potensi SCD (750) (%)	Potensi SCD (700) (%)	Potensi SCD (650) (%)
1	dnsr 16265	NSR	30,74	9,16	0	0
2	dnsr 16273	NSR	0	2,92	10,87	21,32
3	dnsr 16420	NSR	13,09	0	0	8,54
4	dnsr 16483	NSR	0	0	4,64	24,83
5	dnsr 16539	NSR	0	0	6,36	14,13
6	dnsr 16773	NSR	0	0	0	5,33
7	dnsr 16786	NSR	13,6	1,32	0	9,37
8	dnsr16795	NSR	0	0	0	0

9	dnsr 17052	NSR	0	0	0	13,15
10	dscd 30	SCD	88,89	88,89	88,89	38,3
11	dscd 31	SCD	76,37	75,72	76,61	75
12	dscd 45	SCD	50	50	65	76
13	dscd 50	SCD	100	100	91	91,55

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kolom keempat merupakan nilai potensi SCD dengan jumlah 800 data sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rivan pada tahun 2018. Dari 13 data sampel yang diambil, 9 diantaranya adalah kategori NSR dan 4 diantaranya kategori SCD. Nilai perubahan maksimum nilai potensi SCD dari jumlah data 800 ke jumlah data 750 terdapat pada data pertama, yaitu sebesar 21,58%. Nilai perubahan maksimum nilai potensi SCD dari jumlah data 750 ke jumlah data 700 juga terdapat pada data pertama, yaitu sebesar 9,16%. Adapun perubahan maksimum nilai potensi SCD dari jumlah data 700 ke jumlah data 650 terdapat pada data ke 10, yaitu sebesar 50,59%. Selain itu, perubahan pada data ke 10 juga mengakibatkan perubahan kategori, dari kategori SCD menjadi kategori NSR. Oleh karena itu, data minimum untuk menampilkan potensi SCD adalah sejumlah 700 data.

4.5 Pengujian Menyeluruh

4.5.1 Tujuan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah semua sistem baik secara perangkat keras maupun perangkat lunak sudah mampu menampilkan potensi SCD dari sadapan sinyal jantung manusia.

4.5.2 Alat yang Digunakan

1. Detektor R
2. *Raspberry* PI 3
3. Monitor

4.5.3 Prosedur Pengujian

1. Hubungkan rangkaian detektor R dengan GPIO *Raspberry* PI 3 nomor 16
2. Bangkitkan 5 sinyal SCD dan 5 sinyal NSR dari situs *physionet.org*
3. Hubungkan elektrode dengan manusia
4. Analisis

4.5.4 Hasil dan Pembahasan

Sejumlah 8 sampel sinyal jantung manusia normal (NSR) dan 6 sinyal jantung manusia SCD diambil dari *www.physionet.org*. Keseluruhan sampel terlebih dahulu diambil nilai interval RR-nya dari *database* dan dimasukkan ke dalam GUI pengambilan keputusan potensi SCD, hasilnya adalah semuanya sesuai dengan kategori masing-masing pada *database*. Selanjutnya nilai ADC masing-masing sampel diambil dan dibangkitkan dengan alat rancang bangun pembangkit sinyal elektrokardiogram (Bill, 2019) yang digunakan sebagai masukan alat deteksi dini SCD. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian dengan sampel yang dibangkitkan dari *www.physionet.org*

N o	Nama Data	Kategori pada <i>database</i>	S_{13}	S_{24}	S_{ax}	$R_{24/13}$	$R_{24/ax}$	Kategor i hasil deteksi
1	nsrdb 16265	NSR	4,8952	7,924	5,65	1,6187	1,4025	NSR
2	nsrdb 16273	NSR	12,5272	37,9324	9,52	3,028	3,9845	SCD
3	nsrdb 16420	NSR	9,0799	11,091	5,39	1,2215	2,0577	NSR
4	nsrdb 16483	NSR	10,9805	31,9102	7,29	2,9061	4,3773	NSR
5	nsrdb 16539	NSR	30,0419	66,3352	5,51	2,2081	12,0391	NSR
6	nsrdb 16786	NSR	28,4629	65,1724	4,53	2,2897	14,3869	NSR
7	nsrdb 16795	NSR	95,9149	129,673	8,85	1,352	14,6523	SCD
8	nsrdb 17052	NSR	31,3142	27,5746	2,81	0,8806	9,813	NSR
9	sddb 31	SCD	16,7705	51,7356	8,48	3,0849	6,1009	SCD
10	sddb 33	SCD	99,0156	133,067	0	1,3439	~	SCD
11	sddb 41	SCD	16,7855	52,8672	7,08	3,1496	7,4671	SCD
12	sddb 45	SCD	21,4464	76,2367	9,67	3,5548	7,8838	SCD
13	sddb 46	SCD	7,3732	39,7753	0,13	5,3946	305,964	SCD

14	sddb 52	SCD	18,6184	61,8523	7,741	3,3221	7,9902	SCD
----	---------	-----	---------	---------	-------	--------	--------	-----

Mengacu pada aturan *fuzzy* (Rivan, 2018), dimana seseorang disebut berpotensi mengalami SCD ketika potensi SCD $\geq 50\%$. Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa dari *database* sinyal normal (kode nsrdb), terdapat dua data yang terindikasi SCD, yaitu pada data ke 2 dan data ke 7. Sedangkan untuk *database* sinyal SCD, semua data terindikasi SCD. Sehingga dalam pengujian ini, dari 14 sampel tersebut 12 sampel diantaranya mampu didiagnosis dengan benar sehingga tingkat kesalahan pengujian adalah 14,29%.

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menyadap sinyal jantung manusia dengan menggunakan *lead* 1. Hasil pengujian dilakukan terhadap 10 orang berbeda. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Hasil pengujian pada manusia

No	Nama Data	S_{13}	S_{24}	S_{ax}	$R_{24/13}$	$R_{24/ax}$	Potensi SCD (%)
1	Subyek 1	15,3152	21,6614	4,6	1,4144	4,709	36,82
2	Subyek 2	25,5787	17,2967	5,51	0,6762	3,1392	0
3	Subyek 3	13,1571	15,0637	6,83	1,1449	2,2055	0
4	Subyek 4	30,5952	61,393	5,45	2,0066	11,2648	16,67
5	Subyek 5	30,8049	37,6016	8,71	1,2206	4,3171	12,78
6	Subyek 6	25,9856	64,4154	7,67	2,4789	8,3984	16,67
7	Subyek 7	14,8127	18,544	5,71	1,2519	3,2476	0
8	Subyek 8	21,3415	26,1452	5,74	1,2251	4,5549	15,46
9	Subyek 9	13,9098	24,4343	5,68	1,7566	4,3018	15,44
10	Subyek 10	14,822	17,1694	4,65	1,1584	3,6923	0

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada pengujian sadapan sinyal jantung dari manusia, nilai potensi SCD tertinggi adalah 36,82% dan nilai terendah adalah 0%. Selain itu, modus dari nilai potensi SCD Tabel 2.4 adalah 0%. Secara keseluruhan, semua subyek terindikasi normal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian sistem alat deteksi dini *Sudden Cardiac Death* (SCD) dengan *Raspberry PI 3* model B, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

1. Rangkaian detektor R dapat mendeteksi puncak sinyal R tanpa menggunakan *clamper*, sehingga membutuhkan *op-amp* yang lebih sedikit seperti *quad op-amp* *tl084*.
2. Keluaran detektor R yang sebelumnya memiliki nilai tegangan keluaran 5V, dapat diturunkan dengan menggunakan pembagi tegangan yang bernilai $10k\Omega$ dan $2,2k\Omega$. Hasilnya, didapatkan tegangan maksimum keluaran detektor R 2,5V – 3,3 V yang dapat diterima sebagai masukan pada GPIO *Raspberry PI 3*.
3. *Raspberry PI 3* dapat digunakan untuk mendapatkan nilai interval RR dengan eksekusi interupsi pada pin GPIO saat mendapatkan input berupa *rising edge* pada keluaran detektor R. Nilai interval RR yang sudah berupa waktu kemudian disimpan dalam *file* dengan ekstensi **csv* menggunakan *library* *csv* yang terdapat pada bahasa pemrograman *python*.
4. Data interval RR yang terdapat di dalam *file *csv* diolah dengan metode *Poincaré Plot of RR Interval Differences* (PORRID) untuk mendapatkan nilai deskriptor S_{13} , S_{24} , S_{ax} , $R_{24/13}$, dan $R_{24/ax}$. Selanjutnya nilai deskriptor dikelompokkan menjadi beberapa nilai derajat keanggotaan menggunakan *fuzzy*. Untuk potensi SCD, nilai deskriptor S_{13} , S_{24} , S_{ax} , $R_{24/13}$, dan $R_{24/ax}$ berturut-turut adalah (0,71-105,14) , >24,88, (0,82-15,36), >2,47, dan >7,15.
5. *Raspberry PI 3* dapat digunakan untuk membuat GUI (*Graphical User Interface*) dengan bantuan *library Tkinter*. Dengan GUI tersebut, diagram stabilimentum dapat diplot dan potensi SCD dapat ditampilkan.

5.2 Saran

Adapun saran-saran dalam pengimplementasian untuk meningkatkan kinerja sistem yang dibuat agar dapat bekerja lebih baik diuraikan sebagai berikut:

1. Sistem dapat disederhanakan dengan mikrokontroler/mikrokomputer dengan kecepatan komunikasi yang lebih cepat, sehingga dapat dibuat interface untuk menampilkan sinyal guna menggantikan osiloskop.
2. Komponen yang digunakan masih menggunakan *dual supply* dengan catu +5V dan -5V. Diharapkan ke depannya mampu membuat sistem deteksi dini SCD dengan catu *single supply*. Selain itu, catu tersebut bersumber dari PLN yang dihubungkan ke trafo sehingga masih mengandung *noise*.



DAFTAR PUSTAKA

- Ali A Sovari, d. (2014, April 28). *Sudden Cardiac Death*. Dipetik September 19, 2017, dari Medscape: <http://emedicine.medscape.com/article/151907-overview>.
- Azhar, A. (2009). *Studi Identifikasi Sinyal ECG Irama Myocardial Ischemia Dengan Pendekatan Fuzzy Logic*. *Jurnal Teknik Industri* Volume 7 , 193-206.
- Fajri, Ikhwan Asri. (2018). *Pengolahan Dan Transmisi Data Pada Alat Deteksi Dini Sudden Cardiac Death Menggunakan Mikrokontroler*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Jason, Bill. (2019). *Rancang Bangun Pembangkit Sinyal Kardiogram (EKG) Untuk Pengujian Alat Pendeteksi Fibrilasi*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Kadir, A. (2017). *Dasar Raspberry PI*. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET.
- Murakoshi, N., & Aonuma, K. (2013). *Epidemiology of Arrhythmias and Sudden Cardiac Death in Asia*. *Circulation Journal* , 2419-2431.
- Nur, Putri Cahyanti. (2018). *Rancang Bangun Rangkaian Penguat dan Detektor R Pada Sinyal Elektrokardiograf (EKG) Dalam Perancangan Alat Deteksi Dini Sudden Cardiac Death*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rerizki, Rivan. (2018). *Sistem Pengambilan Keputusan Untuk Diagnosis Sudden Cardiac Death (Scd) Berbasis Poincare Plot Of Rr-Interval Difference (Porrid) Menggunakan Metode Fuzzy Logic*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Shen T W, d. (2007). *Detection and Prediction of Sudden Cardiac Death (SCD) For Personal Healthcare*. *IEEE EMBS* , 2575-2578.
- Siwindarto, P. (2014). *Poincare Plot of RR-Interfal Differences (PORRID)*. *Journal of Basic and Applied* , 308-313.
- Siwindarto, P. (2015). *Sudden Cardiac Death Prediction Using Poincaré Plot of RR Interval Differences (PORRID)*. *Applied Mathematical Sciences* , 2515 - 2524.

Sugondo Hadiyoso, d. (2011). *Sistem Multiplexing Pada Pengiriman Data Monitoring ECG, PPG, dan Suhu Tubuh Berbasis Mikrokontroler*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2011 , C34-C37.

www.farnell.com. *RASPBERRY PI 3 MODEL B*. Diakses 2 Desember 2018.

www.physionet.org. Diakses pada 10 Juli 2019.

www.raspberrypi.org. *Setting up your Raspberry Pi*. Diakses pada 10 Mei 2019.

www.st.com. *TL084 TL084A- TL084B*. Diakses pada 2 Desember 2018.

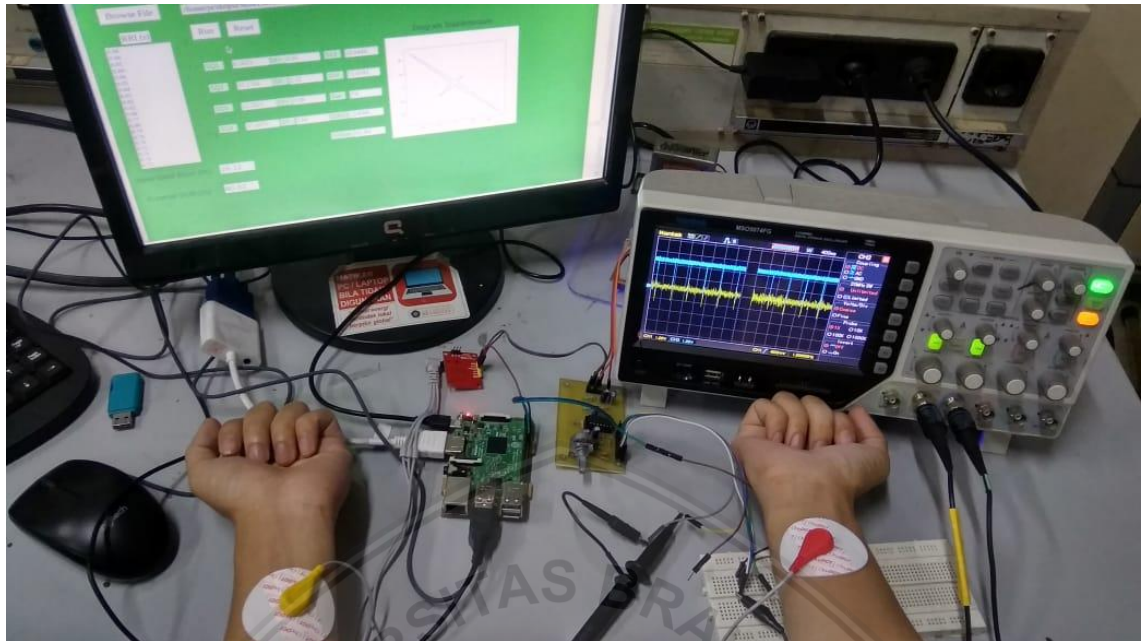




LAMPIRAN





LAMPIRAN 1. Dokumentasi Pengujian

LAMPIRAN 2. Listing Program Perhitungan Interval RR

```

import os
import time
from time import sleep
from datetime import datetime
import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
import csv
counter = 0

GPIO.setup(16, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)
#GPIO.setup(16, GPIO.IN)
a = float(datetime.now().strftime("%S.%f"))
#now = datetime.now()
tes = datetime.now().strftime("%A.%H.%M")

file = open("/home/pi/skripsi/SDATA/"+str(tes)+"_data.csv", "a")
i=0
if os.stat("/home/pi/skripsi/SDATA/"+str(tes)+"_data.csv").st_size == 0:
    file.write("")

def buttonPressed(x):
    global a
    global i
    global counter
    i += 1
    now = float(datetime.now().strftime("%S.%f"))
    delta = now - a
    if delta <= 0 :
        delta = delta + float(60)

    a = float(datetime.now().strftime("%S.%f"))
    if i <= 801:
        file.write(str(round(delta, 2))+'\n')
        file.flush()
        counter += 1
        print(counter, round(delta, 2), '\n')
    else:
        print('selesai')
GPIO.add_event_detect(16, GPIO.RISING, callback=buttonPressed, bouncetime
=70)

```

LAMPIRAN 3. Listing Program Pengambilan Keputusan Potensi SCD

```

from tkinter import filedialog, Button, Label, ttk
import tkinter as tk
from tkinter import *
import csv
import math
import matplotlib.pyplot as pyplot
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
from matplotlib.figure import Figure
import numpy as np

sdata = []
sdata_n = []
sdata_n1 = []
sdata_nmax = []
sdata_n1max = []
delta_RRIn = []
delta_RRIn1 = []

root = Tk()
root.title("Deteksi Potensi SCD")
root.geometry("1280x700+10+30")
root.configure(background="green")

fig = Figure(figsize=(6, 5), dpi=60)
t = np.arange(0, 5, .01)

canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=root)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().grid(row=4, column=10, rowspan=5, padx=20)

lbs = ['lbs0', 'lbs1', 'lbs2', 'lbs3', 'lbs4', 'lbs5', 'lbs6', 'lbs7', 'lbs8', 'lbs9', 'lbs10', 'lbs11', 'lbs12', 'lbs13', 'lbs14']
print(lbs[13])
scrollbar = Scrollbar(root)
listbox = Listbox(root, yscrollcommand = scrollbar.set, height=20, font="times 11", background = 'lightgrey')
listbox.grid(row=3, column=0, rowspan=6)
scrollbar.grid(row=3, column=0, rowspan=6)

for i in range(4, 8):
    lbs[i-4] = Listbox(root, height=1, width=10, font="times 12", background = 'lightgrey')

```

```

lbs[i-4].grid(row=i, column=2)

for i in range(4,8):
    lbs[i] = Listbox(root, height=1, width=10, font="times 12", background
d="lightgrey")
    lbs[i].grid(row=i, column=4)

for i in range(4, 9):
    lbs[i+4] = Listbox(root, height=1, width=10, font="times 12", backgro
und="lightgrey")
    lbs[i+4].grid(row=i, column=6)

lbs[14]=Listbox(root, height=1, width=7, font="Arial 16", background="lig
htblue")
lbs[14].grid(row=12, column=1)
lbs[13]=Listbox(root, height=1, width=7, font="Arial 16", background="lig
htblue")
lbs[13].grid(row=13, column=1)

lbl = ['lbl_1', 'lbl_2', 'lbl_3', 'lbl_4', 'lbl_5', 'lbl_6', 'lbl_7', 'lb
l_8', 'lbl_9', 'lbl_10', 'lbl_11', 'lbl_12', 'lbl_13', 'lbl_14', 'lbl_15'
, 'lbl_16', 'lbl_17', 'lbl_18', 'lbl_19', 'lbl_20']

label1 = Label(root, text="RRI (s)", font="Times 16").grid(row=2)

lbl[0]=Label(root, text='SQ1 :', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12))
.grid(row=4, column=1)
lbl[1]=Label(root, text='SQ2 :', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12))
.grid(row=5, column=1)
lbl[2]=Label(root, text='SQ3 :', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12))
.grid(row=6, column=1)
lbl[3]=Label(root, text='SQ4 :', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12))
.grid(row=7, column=1)
lbl[4]=Label(root, text='SX+ :', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12))
.grid(row=4, column=3)
lbl[5]=Label(root, text='SX-
:', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12)).grid(row=5, column=3)
lbl[6]=Label(root, text='SY+ :', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12))
.grid(row=6, column=3)
lbl[7]=Label(root, text='SY-
:', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12)).grid(row=7, column=3)
lbl[8]=Label(root, text='S13 :', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12))
.grid(row=4, column=5)
lbl[9]=Label(root, text='S24 :', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12))
.grid(row=5, column=5)
lbl[10]=Label(root, text='Sax :', bg="lightgreen", font=("Helvetica", 12)
).grid(row=6, column=5)

```

```

lbl[11]=Label(root, text='R24/13 :', bg="lightgreen", font=("Helvetica",
12)).grid(row=7, column=5)
lbl[12]=Label(root, text='R24/ax :', bg="lightgreen", font=("Helvetica",
12)).grid(row=8, column=5)
lbl[13]=Label(root, text='Potensi SCD (%) :', font=("Helvetica", 16), bg="
green", pady=20, padx=15).grid(row=13, column=0)
lbl[14]=Label(root, text='Input Data Error (%) :', font=("Helvetica", 16),
bg="green", pady=20, padx=15 ).grid(row=12, column=0)
lbl[15]=Label(root, text='Diagram Stabilimentum', font=('Helvetica', 16),
bg='green', padx=15).grid(row=3, column=10, columnspan=2)

```

```

def browse_file():
    global sdata
    global sdata_n
    global sdata_n1
    global sdata_nmax
    global sdata_n1max
    global lbl
    global listbox
    global scrollbar
    data_error = 0

    fileName = filedialog.askopenfilename(filetypes = (("CSV File", "*.csv
"), ("all files", "*.*")))
    label = Label(root, text= str(":")+str(fileName), font="Times 14").gr
id(row=1, column=1, columnspan=6)
    with open(fileName, newline='') as f:
        data = csv.reader(f)
        ldata = list(data)
        for l in ldata:
            for f in l:
                sdata.append(f)

    for i in range(len(sdata)):
        listbox.insert(END, sdata[i])

    listbox.grid(row=3, column=0, rowspan = 6)
    scrollbar.config(command = listbox.yview)

    for n in sdata[0:798]:
        sdata_n.append(n)
    for nmax in sdata[1:799]:
        sdata_nmax.append(nmax)
    sdata_n1 = sdata_nmax
    for n1max in sdata[2:800]:
        sdata_n1max.append(n1max)
    for i in range(len(sdata[1:800])):
        if float(sdata[i]) < 0.3:

```

```

        data_error = data_error + 1
    elif float(sdata[i]) > 2:
        data_error = data_error + 1
    elif float(sdata[i]) > (1.2*float(sdata[i-1])):
        data_error = data_error + 1
    elif float(sdata[i]) < (0.8*float(sdata[i-1])):
        data_error = data_error + 1
    error_rate = (data_error/800)*100
    lbs[14].insert(1, round(error_rate, 2))
    lbs[14].grid(row=12, column=1)

def Delta_RRI():
    global sdata
    global sdata_n
    global sdata_n1
    global sdata_nmax
    global sdata_n1max
    global delta_RRIIn
    global delta_RRIIn1
    global lbs
    Q1 = [[],[]]
    Q2 = [[],[]]
    Q3 = [[],[]]
    Q4 = [[],[]]
    X_plus = [[],[]]
    X_minus = [[],[]]
    Y_plus = [[],[]]
    Y_minus = [[],[]]
    pusat = [[],[]]
    SQ1 = []
    SQ2 = []
    SQ3 = []
    SQ4 = []
    SX_plus = []
    SX_minus = []
    SY_plus = []
    SY_minus = []

    for i in range(len(sdata_nmax)):
        a = float(sdata_nmax[i]) - (float(sdata_n[i]))
        # a = round(a, 4)
        delta_RRIIn.append(a)

    for i in range(len(sdata_n1max)):
        #delta_RRIIn = sdata_nmax[0] - sdata_n[0]
        a = float(sdata_n1max[i]) - (float(sdata_n1[i]))
        # a = round(a, 4)
        delta_RRIIn1.append(a)

```



```

'''
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Pengelompokan Kuadran %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
'''

for a in range(len(delta_RRIn)):
    if delta_RRIn[a] > 0 and delta_RRIn1[a] > 0:
        Q1[0].append(delta_RRIn[a])
        Q1[1].append(delta_RRIn1[a])
    elif delta_RRIn[a] < 0 and delta_RRIn1[a] > 0:
        Q2[0].append(delta_RRIn[a])
        Q2[1].append(delta_RRIn1[a])
    elif delta_RRIn[a] < 0 and delta_RRIn1[a] < 0:
        Q3[0].append(delta_RRIn[a])
        Q3[1].append(delta_RRIn1[a])
    elif delta_RRIn[a] > 0 and delta_RRIn1[a] < 0:
        Q4[0].append(delta_RRIn[a])
        Q4[1].append(delta_RRIn1[a])
    elif delta_RRIn[a] > 0 and delta_RRIn1[a] == 0:
        X_plus[0].append(delta_RRIn[a])
        X_plus[1].append(delta_RRIn1[a])
    elif delta_RRIn[a] < 0 and delta_RRIn1[a] == 0:
        X_minus[0].append(delta_RRIn[a])
        X_minus[1].append(delta_RRIn1[a])
    elif delta_RRIn[a] == 0 and delta_RRIn1[a] > 0:
        Y_plus[0].append(delta_RRIn[a])
        Y_plus[1].append(delta_RRIn1[a])
    elif delta_RRIn[a] == 0 and delta_RRIn1[a] < 0:
        Y_minus[0].append(delta_RRIn[a])
        Y_minus[1].append(delta_RRIn1[a])
    elif delta_RRIn[a] == 0 and delta_RRIn1[a] < 0:
        pusat.append(delta_RRIn[a])
        pusat.append(delta_RRIn1[a])

# print('{},{}'.format(Y_minus[0],Y_minus[1]))

'''
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Variabilitas Absolut Jangka Panjang %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
'''

Q1_0 = 0
Q1_1 = 0
for i in Q1[0]:
    Q1_0 = Q1_0 + i
Q1_0 = Q1_0 ** 2
for i in Q1[1]:
    Q1_1 = Q1_1 + i
Q1_1 = Q1_1 ** 2
SQ1 = math.sqrt (Q1_0 + Q1_1)

```



```

Q2_0 = 0
Q2_1 = 0
for i in Q2[0]:
    Q2_0 = Q2_0 + i
Q2_0 = Q2_0 ** 2
for i in Q2[1]:
    Q2_1 = Q2_1 + i
Q2_1 = Q2_1 ** 2
SQ2 = math.sqrt(Q2_0 + Q2_1)

Q3_0 = 0
Q3_1 = 0
for i in Q3[0]:
    Q3_0 = Q3_0 + i
Q3_0 = Q3_0 ** 2
for i in Q3[1]:
    Q3_1 = Q3_1 + i
Q3_1 = Q3_1 ** 2
SQ3 = math.sqrt(Q3_0 + Q3_1)

Q4_0 = 0
Q4_1 = 0
for i in Q4[0]:
    Q4_0 = Q4_0 + i
Q4_0 = Q4_0 ** 2
for i in Q4[1]:
    Q4_1 = Q4_1 + i
Q4_1 = Q4_1 ** 2
SQ4 = math.sqrt(Q4_0 + Q4_1)

X_plus_0 = 0
X_plus_1 = 0
for i in X_plus[0]:
    X_plus_0 = X_plus_0 + i
X_plus_0 = X_plus_0 ** 2
for i in X_plus[1]:
    X_plus_1 = X_plus_1 + i
X_plus_1 = X_plus_1 ** 2
SX_plus = math.sqrt(X_plus_0 + X_plus_1)

X_minus_0 = 0
X_minus_1 = 0
for i in X_minus[0]:
    X_minus_0 = X_minus_0 + i
X_minus_0 = X_minus_0 ** 2
for i in X_minus[1]:
    X_minus_1 = X_minus_1 + i
X_minus_1 = X_minus_1 ** 2

```



```

...
u24_sangatrendah=0
if S24 <= 5:
    u24_sangatrendah = 1
elif S24 > 5 and S24 < 7:
    u24_sangatrendah = (7-S24)/2
elif S24 >= 7:
    u24_sangatrendah = 0

u24_rendah=0
if S24 <= 5:
    u24_rendah = 0
elif S24 > 5 and S24 < 7:
    u24_rendah = (S24-5)/2
elif S24 >= 7 and S24 <= 20:
    u24_rendah = 1
elif S24 > 20 and S24 < 24:
    u24_rendah = (24-S24)/4
elif S24 >= 24:
    u24_rendah = 0

u24_sedang=0
if S24 <= 20:
    u24_sedang = 0
elif S24 > 20 and S24 < 24:
    u24_sedang = (S24-20)/4
elif S24 >= 24 and S24 <= 27:
    u24_sedang = 1
elif S24 > 27 and S24 < 30:
    u24_sedang = (30-S24)/3
elif S24 >= 30:
    u24_sedang=0

u24_tinggi=0
if S24 <= 27:
    u24_tinggi = 0
elif S24 > 27 and S24 < 30:
    u24_tinggi = (S24-27)/3
elif S24 >= 30 and S24 <= 67:
    u24_tinggi = 1
elif S24 > 67 and S24 < 75:
    u24_tinggi = (75-S24)/8
elif S24 >= 75:
    u24_tinggi = 0

u24_sangattinggi=0
if S24 <= 67:
    u24_sangattinggi = 0
elif S24 > 67 and S24 < 75:

```

```

    u24_sangattinggi = (S24-67)/8
elif S24 >= 75:
    u24_sangattinggi = 1

'''
# %%%%%%%%%%          Penentuan Derajat Anggota S13          %%%%%%%%%%
'''

u13_sangatrendah=0
if S13 <= 5:
    u13_sangatrendah = 1
elif S13 > 5 and S13 < 6:
    u13_sangatrendah = (6-S13)
elif S13 >= 6:
    u13_sangatrendah = 0

u13_rendah=0
if S13 <= 5:
    u13_rendah = 0
elif S13 > 5 and S13 < 6:
    u13_rendah = (S13-5)
elif S13 >= 6 and S13 <= 9:
    u13_rendah = 1
elif S13 > 9 and S13 < 10:
    u13_rendah = (10-S13)
elif S13 >= 10:
    u13_rendah = 0

u13_sedang=0
if S13 <= 9:
    u13_sedang = 0
elif S13 > 9 and S13 < 10:
    u13_sedang = (S13-9)
elif S13 >= 10 and S13 <= 15:
    u13_sedang = 1
elif S13 > 15 and S13 < 18:
    u13_sedang = (18-S13)/3
elif S13 >= 18:
    u13_sedang=0

u13_tinggi=0
if S13 <= 15:
    u13_tinggi = 0
elif S13 > 15 and S13 < 18:
    u13_tinggi = (S13-15)/3
elif S13 >= 18 and S13 <= 35:
    u13_tinggi = 1
elif S13 > 35 and S13 < 40:
    u13_tinggi = (40-S13)/5

```

```

elif S13 >= 40:
    u13_tinggi = 0

u13_sangattinggi=0
if S13 <= 35:
    u13_sangattinggi = 0
elif S13 > 35 and S13 < 40:
    u13_sangattinggi = (S13-35)/5
elif S13 >= 40:
    u13_sangattinggi = 1

'''
# %%%%%%%%%% Penentuan Derajat Anggota Sax %%%%%%%%%%
'''

uax_rendah=0
if Sax <= 3:
    uax_rendah = 1
elif Sax > 3 and Sax < 4:
    uax_rendah = (4-Sax)
elif Sax >= 4:
    uax_rendah = 0

uax_sedang=0
if Sax <= 3:
    uax_sedang = 0
elif Sax > 3 and Sax < 4:
    uax_sedang = (Sax-3)
elif Sax >= 4 and Sax <= 8:
    uax_sedang = 1
elif Sax > 8 and Sax < 10:
    uax_sedang = (10-Sax)/2
elif Sax >= 10:
    uax_sedang = 0

uax_tinggi=0
if Sax <= 8:
    uax_tinggi = 0
elif Sax > 8 and Sax < 10:
    uax_tinggi = (Sax-8)/2
elif Sax >= 10:
    uax_tinggi = 1

'''
# %%%%%%%%%% Penentuan Derajat Anggota S24/13 %%%%%%%%%%
'''

u24_13_rendah=0
if S24_13 <= 0:
    u24_13_rendah = 1
elif S24_13 > 0 and S24_13 < 0.5:

```

```

    u24_13_rendah = (S24_13)/0.5
elif S24_13 >= 0.5 and S24_13 <= 1.3:
    u24_13_rendah = 1
elif S24_13 > 1.3 and S24_13 < 1.5:
    u24_13_rendah = (1.5-S24_13)/0.2
elif S24_13 >= 1.5:
    u24_13_rendah = 0

u24_13_sedang=0
if S24_13 <= 1.3:
    u24_13_sedang = 0
elif S24_13 > 1.3 and S24_13 < 1.5:
    u24_13_sedang = (S24_13-1.3)/0.2
elif S24_13 >= 1.5 and S24_13 <= 3:
    u24_13_sedang = 1
elif S24_13 > 3 and S24_13 < 3.2:
    u24_13_sedang = (3.2-S24_13)/0.2
elif S24_13 >= 3.2:
    u24_13_sedang = 0

u24_13_tinggi=0
if S24_13 <= 3:
    u24_13_tinggi = 0
elif S24_13 > 3 and S24_13 < 3.2:
    u24_13_tinggi = (S24_13-3)/0.2
elif S24_13 >= 3.2 and S24_13 <= 17:
    u24_13_tinggi = 1
elif S24_13 > 17 and S24_13 < 20:
    u24_13_tinggi = (20-S24_13)/3
elif S24_13 >= 20:
    u24_13_tinggi = 0

u24_13_sangattinggi=0
if S24_13 <= 17:
    u24_13_sangattinggi = 0
elif S24_13 > 17 and S24_13 < 20:
    u24_13_sangattinggi = (S24_13-17)/3
elif S24_13 >= 20:
    u24_13_sangattinggi = 1

...

# %%%%%%%%%% Penentuan Derajat Anggota S24/ax %%%%%%%%%%
...

u24_ax_rendah=0
if float(S24_ax) <= 4:
    u24_ax_rendah = 1
elif S24_ax > 4 and S24_ax < 5:
    u24_ax_rendah = (5-S24_ax)
elif S24_ax >= 5:

```

```

u24_ax_rendah = 0

u24_ax_sedang=0
if S24_ax <= 4:
    u24_ax_sedang = 0
elif S24_ax > 4 and S24_ax < 5:
    u24_ax_sedang = (S24_ax-4)
elif S24_ax >= 5 and S24_ax <= 6:
    u24_ax_sedang = 1
elif S24_ax > 6 and S24_ax < 7:
    u24_13_sedang = (7-S24_ax)
elif S24_ax >= 7:
    u24_ax_sedang = 0

u24_ax_tinggi=0
if S24_ax <= 6:
    u24_ax_tinggi = 0
elif S24_ax > 6 and S24_ax < 7:
    u24_ax_tinggi = (S24_ax-6)
elif S24_ax >= 7 and S24_ax <= 17:
    u24_ax_tinggi = 1
elif S24_ax > 17 and S24_ax < 19:
    u24_ax_tinggi = (19-S24_ax)/2
elif S24_ax >= 19:
    u24_ax_tinggi = 0

u24_ax_sangattinggi=0
if S24_ax <= 17:
    u24_ax_sangattinggi = 0
elif S24_ax > 17 and S24_ax < 20:
    u24_ax_sangattinggi = (S24_ax-17)/2
elif S24_ax >= 19:
    u24_ax_sangattinggi = 1

'''
# %%%%%%%%% Rules Kategori SCD %%%%%%%%%
'''

U1=u13_sangattinggi
z1=(U1*50)+50
U2=u24_sangattinggi
z2=(U2*50)+50
U3=u24_13_sangattinggi
z3=(U3*50)+50
U4=u24_ax_sangattinggi
z4=(U4*50)+50
U5=min(u13_sedang, min(u24_tinggi, uax_rendah))
z5=(U5*50)+50
U6=min(u13_sedang, min(u24_tinggi, u24_13_sedang))

```



```

z6=(U6*50)+50
U7=min(u13_sedang, min(u24_tinggi, u24_13_tinggi))
z7=(U7*50)+50
U8=min(u13_sedang, min(u24_tinggi, u24_ax_sedang))
z8=(U8*50)+50
U9=min(u24_tinggi, min(uax_rendah, u24_13_sedang))
z9=(U9*50)+50
U10=min(u24_tinggi, min(uax_rendah, u24_13_tinggi))
z10=(U10*50)+50
U11=min(u24_tinggi, min(uax_rendah, u24_ax_sedang))
z11=(U11*50)+50
U12=min(u24_tinggi, min(u24_13_sedang, u24_ax_tinggi))
z12=(U12*50)+50
U13=min(u24_tinggi, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z13=(U13*50)+50
U14=min(u13_sedang, min(u24_13_sedang, u24_ax_tinggi))
z14=(U14*50)+50
U15=min(u13_sedang, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z15=(U15*50)+50
U16=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z16=(U16*50)+50
U17=min(u13_sedang, min(u24_tinggi, uax_sedang))
z17=(U17*50)+50
U18=min(u13_sedang, min(u24_tinggi, u24_13_tinggi))
z18=(U18*50)+50
U19=min(u13_sedang, min(u24_tinggi, u24_ax_tinggi))
z19=(U19*50)+50
U20=min(uax_sedang, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z20=(U20*50)+50
U21=min(u13_sangatrendah, min(u24_sedang, uax_rendah))
z21=(U21*50)+50
U22=min(u13_sangatrendah, min(u24_sedang, u24_13_tinggi))
z22=(U22*50)+50
U23=min(u13_sangatrendah, min(u24_sedang, u24_ax_tinggi))
z23=(U23*50)+50
U24=min(u13_sangatrendah, min(uax_rendah, u24_ax_tinggi))
z24=(U24*50)+50
U25=min(u13_sangatrendah, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z25=(U25*50)+50
U26=min(u24_sedang, min(uax_rendah, u24_13_tinggi))
z26=(U26*50)+50
U27=min(u24_sedang, min(uax_rendah, u24_ax_tinggi))
z27=(U27*50)+50
U28=min(u24_sedang, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z28=(U28*50)+50
U29=min(uax_rendah, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z29=(U29*50)+50
U30=min(u13_sedang, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z30=(U30*50)+50

```

```

U31=min(u13_sedang, min(u24_sangattinggi, uax_rendah))
z31=(U31*50)+50
U32=min(u24_sangattinggi, min(u24_13_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi
i))
z32=(U32*50)+50
U33=min(u13_sedang, min(uax_rendah, u24_13_sangattinggi))
z33=(U33*50)+50
U34=min(u13_sedang, min(uax_rendah, u24_ax_sangattinggi))
z34=(U34*50)+50
U35=min(u13_sedang, min(u24_sangattinggi, u24_13_sangattinggi))
z35=(U35*50)+50
U36=min(u13_sedang, min(u24_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi))
z36=(U36*50)+50
U37=min(u13_sedang, min(u24_13_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi))
z37=(U37*50)+50
U38=min(uax_rendah, min(u24_13_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi))
z38=(U38*50)+50
U39=min(u24_sangattinggi, min(uax_rendah, u24_13_sangattinggi))
z39=(U39*50)+50
U40=min(u24_sangattinggi, min(uax_rendah, u24_ax_sangattinggi))
z40=(U40*50)+50
U41=min(u13_tinggi, min(u24_sangattinggi, uax_sedang))
z41=(U41*50)+50
U42=min(u13_tinggi, min(u24_sangattinggi, u24_13_tinggi))
z42=(U42*50)+50
U43=min(u13_tinggi, min(u24_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi))
z43=(U43*50)+50
U44=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z44=(U44*50)+50
U45=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_ax_sangattinggi))
z45=(U45*50)+50
U46=min(u13_tinggi, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sangattinggi))
z46=(U46*50)+50
U47=min(u24_sangattinggi, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z47=(U47*50)+50
U48=min(u24_sangattinggi, min(uax_sedang, u24_ax_sangattinggi))
z48=(U48*50)+50
U49=min(u24_sangattinggi, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sangattinggi))
z49=(U49*50)+50
U50=min(uax_sedang, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sangattinggi))
z50=(U50*50)+50
U51=min(u13_sangattinggi, min(u24_sangattinggi, uax_sedang))
z51=(U51*50)+50
U52=min(u13_sangattinggi, min(u24_sangattinggi, u24_13_tinggi))
z52=(U52*50)+50
U53=min(u13_sangattinggi, min(u24_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi))
z53=(U53*50)+50
U54=min(u13_sangattinggi, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z54=(U54*50)+50

```

```

U55=min(u13_sangattinggi, min(uax_sedang, u24_ax_sangattinggi))
z55=(U55*50)+50
U56=min(u13_sangattinggi, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sangattinggi))
z56=(U56*50)+50
U57=min(u13_sangattinggi, min(u24_sangattinggi, uax_sedang))
z57=(U57*50)+50
U58=min(u13_sangattinggi, min(u24_sangattinggi, u24_13_sedang))
z58=(U58*50)+50
U59=min(u13_sangattinggi, min(u24_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi))
z59=(U59*50)+50
U60=min(u13_sangattinggi, min(uax_sedang, u24_13_sedang))
z60=(U60*50)+50
U61=min(u13_sangattinggi, min(uax_sedang, u24_ax_sangattinggi))
z61=(U61*50)+50
U62=min(u13_sangattinggi, min(u24_13_sedang, u24_ax_sangattinggi))
z62=(U62*50)+50
U63=min(u24_sangattinggi, min(uax_sedang, u24_13_sedang))
z63=(U63*50)+50
U64=min(u13_sangattinggi, min(u24_13_sedang, u24_ax_sangattinggi))
z64=(U64*50)+50
U65=min(uax_sedang, min(u24_13_sedang, u24_ax_sangattinggi))
z65=(U65*50)+50
U66=min(u13_sangatrendah, min(u24_sangattinggi, uax_rendah))
z66=(U66*50)+50
U67=min(u13_sangatrendah, min(u24_sangattinggi, u24_13_sangattinggi))
z67=(U67*50)+50
U68=min(u13_sangatrendah, min(u24_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi))
z68=(U68*50)+50
U69=min(u13_sangatrendah, min(uax_rendah, u24_13_sangattinggi))
z69=(U69*50)+50
U70=min(u13_sangatrendah, min(uax_rendah, u24_ax_sangattinggi))
z70=(U70*50)+50
U71=min(u13_sangatrendah, min(u24_13_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi))
i))
z71=(U71*50)+50
U72=min(u13_sedang, min(u24_sangattinggi, uax_sedang))
z72=(U72*50)+50
U73=min(u13_sedang, min(u24_sangattinggi, u24_13_tinggi))
z73=(U73*50)+50
U74=min(u13_sedang, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z74=(U74*50)+50
U75=min(u13_sedang, min(uax_sedang, u24_ax_sangattinggi))
z75=(U75*50)+50
U76=min(u13_sedang, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sangattinggi))
z76=(U76*50)+50
U77=min(u13_tinggi, min(u24_sangattinggi, uax_rendah))
z77=(U77*50)+50
U78=min(u13_tinggi, min(u24_sangattinggi, u24_13_sangattinggi))
z78=(U78*50)+50

```

```

U79=min(u13_tinggi, min(uax_rendah, u24_13_sangattinggi))
z79=(U79*50)+50
U80=min(u13_tinggi, min(uax_rendah, u24_ax_sangattinggi))
z80=(U80*50)+50
U81=min(u13_tinggi, min(u24_13_sangattinggi, u24_ax_sangattinggi))
z81=(U81*50)+50
U82=min(u13_tinggi, min(u24_sangattinggi, u24_ax_tinggi))
z82=(U82*50)+50
U83=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_ax_tinggi))
z83=(U83*50)+50
U84=min(u13_tinggi, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z84=(U84*50)+50
U85=min(u24_sangattinggi, min(uax_sedang, u24_ax_tinggi))
z85=(U85*50)+50
U86=min(u24_sangattinggi, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z86=(U86*50)+50
U87=min(u13_sangattinggi, min(u24_sangattinggi, uax_tinggi))
z87=(U87*50)+50
U88=min(u13_sangattinggi, min(u24_sangattinggi, u24_ax_tinggi))
z88=(U88*50)+50
U89=min(u13_sangattinggi, min(uax_tinggi, u24_13_tinggi))
z89=(U89*50)+50
U90=min(u13_sangattinggi, min(uax_tinggi, u24_ax_tinggi))
z90=(U90*50)+50
U91=min(u13_sangattinggi, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z91=(U91*50)+50
U92=min(u24_sangattinggi, min(uax_tinggi, u24_13_tinggi))
z92=(U92*50)+50
U93=min(u24_sangattinggi, min(uax_tinggi, u24_ax_tinggi))
z93=(U93*50)+50
U94=min(uax_tinggi, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z94=(U94*50)+50
U95=min(u13_sangatrendah, min(u24_13_sangattinggi, u24_ax_tinggi))
z95=(U95*50)+50
U96=min(u24_sedang, min(u24_13_sangattinggi, u24_ax_tinggi))
z96=(U96*50)+50
U97=min(uax_rendah, min(u24_13_sangattinggi, u24_ax_tinggi))
z97=(U97*50)+50
U98=min(uax_sedang, min(u24_13_sangattinggi, u24_ax_tinggi))
z98=(U98*50)+50

...

# %%%%%%%%% Rules Kategori NON SCD %%%%%%%%%
...

U99=min(u13_rendah, min(u24_rendah, uax_sedang))
z99=60-(U99*60)
U100=min(u13_rendah, min(u24_rendah, u24_13_rendah))
z100=60-(U100*60)

```

```

U101=min(u13_rendah, min(u24_rendah, u24_ax_rendah))
z101=60-(U101*60)
U102=min(u13_rendah, min(uax_sedang, u24_13_rendah))
z102=60-(U102*60)
U103=min(u13_rendah, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))
z103=60-(U103*60)
U104=min(u13_rendah, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z104=60-(U104*60)
U105=min(u24_rendah, min(uax_sedang, u24_13_rendah))
z105=60-(U105*60)
U106=min(u24_rendah, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))
z106=60-(U106*60)
U107=min(u24_rendah, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z107=60-(U107*60)
U108=min(uax_sedang, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z108=60-(U108*60)
U109=min(u13_sedang, min(u24_rendah, uax_sedang))
z109=60-(U109*60)
U110=min(u13_sedang, min(u24_rendah, u24_13_rendah))
z110=60-(U110*60)
U111=min(u13_sedang, min(u24_rendah, u24_ax_rendah))
z111=60-(U111*60)
U112=min(u13_sedang, min(uax_sedang, u24_13_rendah))
z112=60-(U112*60)
U113=min(u13_sedang, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))
z113=60-(U113*60)
U114=min(u13_sedang, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z114=60-(U114*60)
U115=min(u13_sedang, min(u24_rendah, u24_13_sedang))
z115=60-(U115*60)
U116=min(u13_sedang, min(uax_sedang, u24_13_sedang))
z116=60-(U116*60)
U117=min(u13_sedang, min(u24_13_sedang, u24_ax_rendah))
z117=60-(U117*60)
U118=min(u24_rendah, min(uax_sedang, u24_13_sedang))
z118=60-(U118*60)
U119=min(u24_rendah, min(u24_13_sedang, u24_ax_rendah))
z119=60-(U119*60)
U120=min(uax_sedang, min(u24_13_sedang, u24_ax_rendah))
z120=60-(U120*60)
U121=min(u13_tinggi, min(u24_rendah, uax_sedang))
z121=60-(U121*60)
U122=min(u13_tinggi, min(u24_rendah, u24_13_rendah))
z122=60-(U122*60)
U123=min(u13_tinggi, min(u24_rendah, u24_ax_rendah))
z123=60-(U123*60)
U124=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_13_rendah))
z124=60-(U124*60)
U125=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))

```



```

z125=60-(U125*60)
U126=min(u13_tinggi, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z126=60-(U126*60)
U127=min(u13_tinggi, min(u24_sedang, uax_sedang))
z127=60-(U127*60)
U128=min(u13_tinggi, min(u24_sedang, u24_13_rendah))
z128=60-(U128*60)
U129=min(u13_tinggi, min(u24_sedang, u24_ax_rendah))
z129=60-(U129*60)
U130=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_13_rendah))
z130=60-(U130*60)
U131=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))
z131=60-(U131*60)
U132=min(u13_tinggi, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z132=60-(U132*60)
U133=min(u24_sedang, min(uax_sedang, u24_13_rendah))
z133=60-(U133*60)
U134=min(u24_sedang, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))
z134=60-(U134*60)
U135=min(u24_sedang, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z135=60-(U135*60)
U136=min(uax_sedang, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z136=60-(U136*60)
U137=min(u13_tinggi, min(u24_tinggi, uax_sedang))
z137=60-(U137*60)
U138=min(u13_tinggi, min(u24_tinggi, u24_13_rendah))
z138=60-(U138*60)
U139=min(u13_tinggi, min(u24_tinggi, u24_ax_rendah))
z139=60-(U139*60)
U140=min(u24_tinggi, min(uax_sedang, u24_13_rendah))
z140=60-(U140*60)
U141=min(u24_tinggi, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))
z141=60-(U141*60)
U142=min(u24_tinggi, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z142=60-(U142*60)
U143=min(u13_sangatrendah, min(u24_sedang, uax_rendah))
z143=60-(U143*60)
U144=min(u13_sangatrendah, min(u24_sedang, u24_13_tinggi))
z144=60-(U144*60)
U145=min(u13_sangatrendah, min(u24_sedang, u24_ax_sedang))
z145=60-(U145*60)
U146=min(u13_sangatrendah, min(uax_rendah, u24_13_tinggi))
z146=60-(U146*60)
U147=min(u13_sangatrendah, min(uax_rendah, u24_ax_sedang))
z147=60-(U147*60)
U148=min(u13_sangatrendah, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sedang))
z148=60-(U148*60)
U149=min(u24_sedang, min(uax_rendah, u24_13_tinggi))
z149=60-(U149*60)

```

```

U150=min(u24_sedang, min(uax_rendah, u24_ax_sedang))
z150=60-(U150*60)
U151=min(u24_sedang, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sedang))
z151=60-(U151*60)
U152=min(uax_rendah, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sedang))
z152=60-(U152*60)
U153=min(u13_sangatrendah, min(u24_sedang, uax_sedang))
z153=60-(U153*60)
U154=min(u13_sangatrendah, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z154=60-(U154*60)
U155=min(u13_sangatrendah, min(uax_sedang, u24_ax_sedang))
z155=60-(U155*60)
U156=min(u24_sedang, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z156=60-(U156*60)
U157=min(u24_sedang, min(uax_sedang, u24_ax_sedang))
z157=60-(U157*60)
U158=min(uax_sedang, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sedang))
z158=60-(U158*60)
U159=min(u13_sangatrendah, min(u24_rendah, uax_rendah))
z159=60-(U159*60)
U160=min(u13_sangatrendah, min(u24_rendah, u24_13_tinggi))
z160=60-(U160*60)
U161=min(u13_sangatrendah, min(u24_rendah, u24_ax_sedang))
z161=60-(U161*60)
U162=min(u24_rendah, min(uax_rendah, u24_13_tinggi))
z162=60-(U162*60)
U163=min(u24_rendah, min(uax_rendah, u24_ax_sedang))
z163=60-(U163*60)
U164=min(u24_rendah, min(u24_13_tinggi, u24_ax_sedang))
z164=60-(U164*60)
U165=min(u13_sangatrendah, min(u24_rendah, uax_sedang))
z165=60-(U165*60)
U166=min(u24_rendah, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z166=60-(U166*60)
U167=min(u24_rendah, min(uax_sedang, u24_ax_sedang))
z167=60-(U167*60)
U168=min(u13_rendah, min(u24_sedang, uax_sedang))
z168=60-(U168*60)
U169=min(u13_rendah, min(u24_sedang, u24_13_tinggi))
z169=60-(U169*60)
U170=min(u13_rendah, min(u24_sedang, u24_ax_rendah))
z170=60-(U170*60)
U171=min(u13_rendah, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z171=60-(U171*60)
U172=min(u13_rendah, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))
z172=60-(U172*60)
U173=min(u13_rendah, min(u24_13_tinggi, u24_ax_rendah))
z173=60-(U173*60)
U174=min(u13_rendah, min(u24_rendah, u24_13_tinggi))

```



```

z174=60-(U174*60)
U175=min(u13_rendah, min(u24_rendah, u24_ax_rendah))
z175=60-(U175*60)
U176=min(u13_rendah, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z176=60-(U176*60)
U177=min(u13_rendah, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))
z177=60-(U177*60)
U178=min(u13_rendah, min(u24_13_tinggi, u24_ax_rendah))
z178=60-(U178*60)
U179=min(uax_sedang, min(u24_13_rendah, u24_ax_rendah))
z179=60-(U179*60)
U180=min(u13_sangatrendah, min(u24_sangatrendah, uax_rendah))
z180=60-(U180*60)
U181=min(u13_sangatrendah, min(u24_sangatrendah, u24_13_tinggi))
z181=60-(U181*60)
U182=min(u13_sangatrendah, min(u24_sangatrendah, u24_ax_rendah))
z182=60-(U182*60)
U183=min(u24_sangatrendah, min(uax_rendah, u24_13_tinggi))
z183=60-(U183*60)
U184=min(u24_sangatrendah, min(uax_rendah, u24_ax_rendah))
z184=60-(U184*60)
U185=min(u24_sangatrendah, min(u24_13_tinggi, u24_ax_rendah))
z185=60-(U185*60)
U186=min(u13_sangatrendah, min(u24_sangatrendah, uax_sedang))
z186=60-(U186*60)
U187=min(u24_sangatrendah, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z187=60-(U187*60)
U188=min(u24_sangatrendah, min(uax_sedang, u24_ax_rendah))
z188=60-(U188*60)
U189=min(u13_sangatrendah, min(u24_rendah, uax_tinggi))
z189=60-(U189*60)
U190=min(u13_sangatrendah, min(uax_tinggi, u24_13_tinggi))
z190=60-(U190*60)
U191=min(u13_sangatrendah, min(uax_tinggi, u24_ax_rendah))
z191=60-(U191*60)
U192=min(u24_rendah, min(uax_tinggi, u24_13_tinggi))
z192=60-(U192*60)
U193=min(u24_rendah, min(uax_tinggi, u24_ax_rendah))
z193=60-(U193*60)
U194=min(uax_tinggi, min(u24_13_tinggi, u24_ax_rendah))
z194=60-(U194*60)
U195=min(u13_sangatrendah, min(u24_sedang, uax_tinggi))
z195=60-(U195*60)
U196=min(u24_sedang, min(uax_tinggi, u24_13_tinggi))
z196=60-(U196*60)
U197=min(u24_sedang, min(uax_tinggi, u24_ax_rendah))
z197=60-(U197*60)
U198=min(u13_tinggi, min(u24_tinggi, u24_ax_tinggi))
z198=60-(U198*60)

```

```

U199=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_ax_tinggi))
z199=60-(U199*60)
U200=min(u13_tinggi, min(u24_13_rendah, u24_ax_tinggi))
z200=60-(U200*60)
U201=min(u24_tinggi, min(uax_sedang, u24_ax_tinggi))
z201=60-(U201*60)
U202=min(u24_tinggi, min(u24_13_rendah, u24_ax_tinggi))
z202=60-(U202*60)
U203=min(uax_sedang, min(u24_13_rendah, u24_ax_tinggi))
z203=60-(U203*60)
U204=min(u13_tinggi, min(u24_tinggi, u24_13_sedang))
z204=60-(U204*60)
U205=min(u13_tinggi, min(uax_sedang, u24_13_sedang))
z205=60-(U205*60)
U206=min(u13_tinggi, min(u24_13_sedang, u24_ax_tinggi))
z206=60-(U206*60)
U207=min(u24_tinggi, min(uax_sedang, u24_13_sedang))
z207=60-(U207*60)
U208=min(u24_tinggi, min(u24_13_sedang, u24_ax_tinggi))
z208=60-(U208*60)
U209=min(uax_sedang, min(u24_13_sedang, u24_ax_tinggi))
z209=60-(U209*60)
U210=min(u13_tinggi, min(u24_rendah, uax_sedang))
z210=60-(U210*60)
U211=min(u13_tinggi, min(u24_rendah, u24_13_rendah))
z211=60-(U211*60)
U212=min(u13_tinggi, min(u24_rendah, u24_ax_rendah))
z212=60-(U212*60)

...

# %%%%%%%%% Rules Tambahan Kategori SCD %%%%%%%%%
...

U213=min(u13_rendah, min(u24_tinggi, uax_sedang))
z213=(U213*50)+50
U214=min(u13_rendah, min(u24_tinggi, u24_13_tinggi))
z214=(U214*50)+50
U215=min(u13_rendah, min(u24_tinggi, u24_ax_tinggi))
z215=(U215*50)+50
U216=min(u13_rendah, min(uax_sedang, u24_13_tinggi))
z216=(U216*50)+50
U217=min(u13_rendah, min(uax_sedang, u24_ax_tinggi))
z217=(U217*50)+50
U218=min(u13_rendah, min(u24_13_tinggi, u24_ax_tinggi))
z218=(U218*50)+50

...

# %%%%%%%%% Proses Pengambilan Kesimpulan %%%%%%%%%
...

```

potensi = ((U1*z1)+(U2*z2)+(U3*z3)+(U4*z4)+(U5*z5)+(U6*z6)+(U7*z7)+(U8*z8)+(U9*z9)+(U10*z10)+(U11*z11)+(U12*z12)+(U13*z13)+(U14*z14)+(U15*z15)+(U16*z16)+(U17*z17)+(U18*z18)+(U19*z19)+(U20*z20)+(U21*z21)+(U22*z22)+(U23*z23)+(U24*z24)+(U25*z25)+(U26*z26)+(U27*z27)+(U28*z28)+(U29*z29)+(U30*z30)+(U31*z31)+(U32*z32)+(U33*z33)+(U34*z34)+(U35*z35)+(U36*z36)+(U37*z37)+(U38*z38)+(U39*z39)+(U40*z40)+(U41*z41)+(U42*z42)+(U43*z43)+(U44*z44)+(U45*z45)+(U46*z46)+(U47*z47)+(U48*z48)+(U49*z49)+(U50*z50)+(U51*z51)+(U52*z52)+(U53*z53)+(U54*z54)+(U55*z55)+(U56*z56)+(U58*z58)+(U60*z60)+(U62*z62)+(U63*z63)+(U64*z64)+(U65*z65)+(U66*z66)+(U67*z67)+(U68*z68)+(U69*z69)+(U70*z70)+(U71*z71)+(U72*z72)+(U73*z73)+(U74*z74)+(U75*z75)+(U76*z76)+(U77*z77)+(U78*z78)+(U79*z79)+(U80*z80)+(U81*z81)+(U82*z82)+(U83*z83)+(U84*z84)+(U85*z85)+(U86*z86)+(U87*z87)+(U88*z88)+(U89*z89)+(U90*z90)+(U91*z91)+(U92*z92)+(U93*z93)+(U94*z94)+(U95*z95)+(U96*z96)+(U97*z97)+(U98*z98)+(U99*z99)+(U100*z100)

+(U101*z101)+(U102*z102)+(U103*z103)+(U104*z104)+(U105*z105)+(U106*z106)+(U107*z107)+(U108*z108)+(U109*z109)+(U110*z110)+(U111*z111)+(U112*z112)+(U113*z113)+(U114*z114)+(U115*z115)+(U116*z116)+(U117*z117)+(U118*z118)+(U119*z119)+(U120*z120)+(U121*z121)+(U122*z122)+(U123*z123)+(U124*z124)+(U125*z125)+(U126*z126)+(U127*z127)+(U128*z128)+(U129*z129)+(U133*z133)+(U134*z134)+(U135*z135)+(U136*z136)+(U137*z137)+(U138*z138)+(U139*z139)+(U140*z140)+(U141*z141)+(U142*z142)+(U145*z145)+(U146*z146)+(U147*z147)+(U148*z148)+(U150*z150)+(U151*z151)+(U152*z152)+(U153*z153)+(U154*z154)+(U155*z155)+(U156*z156)+(U157*z157)+(U158*z158)+(U159*z159)+(U160*z160)+(U161*z161)+(U162*z162)+(U163*z163)+(U164*z164)+(U165*z165)+(U166*z166)+(U167*z167)+(U168*z168)+(U169*z169)+(U170*z170)+(U171*z171)+(U172*z172)+(U173*z173)+(U174*z174)+(U175*z175)+(U180*z180)+(U181*z181)+(U182*z182)+(U183*z183)+(U184*z184)+(U185*z185)+(U186*z186)+(U187*z187)+(U188*z188)+(U189*z189)+(U190*z190)+(U191*z191)+(U192*z192)+(U193*z193)+(U194*z194)+(U195*z195)+(U196*z196)+(U197*z197)+(U198*z198)+(U199*z199)

+(U200*z200)+(U201*z201)+(U202*z202)+(U203*z203)+(U204*z204)+(U205*z205)+(U206*z206)+(U207*z207)+(U208*z208)+(U209*z209)+(U213*z213)+(U214*z214)+(U215*z215)+(U216*z216)+(U217*z217)+(U218*z218))/(U1+U2+U3+U4+U5+U6+U7+U8+U9+U10+U11+U12+U13+U14+U15+U16+U17+U18+U19+U20+U21+U22+U23+U24+U25+U26+U27+U28+U29+U30+U31+U32+U33+U34+U35+U36+U37+U38+U39+U40+U41+U42+U43+U44+U45+U46+U47+U48+U49+U50+U51+U52+U53+U54+U55+U56+U58+U60+U62+U63+U64+U65+U66+U67+U68+U69+U70+U71+U72+U73+U74+U75+U76+U77+U78+U79+U80+U81+U82+U83+U84+U85+U86+U87+U88+U89+U90+U91+U92+U93+U94+U95+U96+U97+U98+U99+U100+U101+U102+U103+U104+U105+U106+U107+U108+U109+U110+U111+U112+U113+U114+U115+U116+U117+U118+U119+U120+U121+U122+U123+U124+U125+U126+U127+U128+U129+U133+U134+U135+U136+U137+U138+U139+U140+U141+U142+U145+U146+U147+U148+U150+U151+U152+U153+U154+U155+U156+U157+U158+U159+U160+U161+U162+U163+U164+U165+U166+U167+U168+U169+U170+U171+U172+U173+U174+U175+U180+U181+U182+U183+U184+U185+U186+U187+U188+U189+U190+U191+U192+U193+U194+U195+U196+U197+U198+U199+U200+U201+U202+U203+U204+U205+U206+U207+U208+U209+U213+U214+U215+U216+U217+U218)

cetak = [SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SX_plus, SX_minus, SY_plus, SY_minus, S13, S24, Sax, S24_13, S24_ax]

```

for i in range(4,8):
    lbs[i-4].insert(1, round(cetak[i-4],4))
    lbs[i-4].grid(row=i, column=2)

for i in range(4,8):
    lbs[i].insert(1, round(cetak[i],4))
    lbs[i].grid(row=i, column=4)

for i in range(4,9):
    lbs[i+4].insert(1, round(cetak[i+4],4))
    lbs[i+4].grid(row=i, column=6)

lbs[13].insert(1, round(potensi, 2))
lbs[13].grid(row=13, column=1)

Rn1_xy = math.sqrt ((SQ1*SQ1)/2)
Rn2_y = math.sqrt ((SQ2*SQ2)/2)
Rn2_x = Rn2_y - (2*Rn2_y)
Rn3_xy = math.sqrt ((SQ3*SQ3)/2)
Rn3_xy = Rn3_xy - (2*Rn3_xy)
Rn4_x = math.sqrt ((SQ4*SQ4)/2)
Rn4_y = Rn4_x - (2*Rn4_x)
Rn_sumbu = ((SX_plus + SX_minus + SY_plus + SY_minus)/4)
Rn_sumbu_positif = Rn_sumbu
Rn_sumbu_negatif = Rn_sumbu - (2*Rn_sumbu)

porrid_x = [Rn1_xy, Rn_sumbu_positif, Rn4_x,0,Rn3_xy,Rn_sumbu_negatif
, Rn2_x,0,Rn1_xy]
porrid_y = [Rn1_xy,0,Rn4_y,Rn_sumbu_negatif,Rn3_xy,0,Rn2_y,Rn_sumbu_p
ositif,Rn1_xy]

# skala=max(Rn1_xy,max(Rn2_y,max(abs(Rn2_x),max(abs(Rn3_xy),max(abs(R
n4_y),max(Rn4_x,max(Rn_sumbu))))))
# skala_max= round(skala+3)
# skala_atas= skala_max
# skala_bawah= skala_max - (2*skala_max)

fig = Figure(figsize=(6, 5), dpi=60)
t = np.arange(0, 5, .01)
fig.add_subplot(111).plot(porrid_x, porrid_y)

canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=root) # A tk.DrawingArea.
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().grid(row=4, column=10, rowspan=5, padx=20)

def reset():
    global sdata

```

```
browse = Button(root, text="Browse File", command=browse_file, font="Times 16").grid(row=1, column=0, pady=20)
run = Button(root, text="Run", command=Delta_RRI, font="Times 16").grid(row=2, column=1)
run = Button(root, text="Reset", command=reset, font="Times 16").grid(row=2, column=2)

root.mainloop()
```



LAMPIRAN 4. Datasheet

AD8232

ANALOG
DEVICES

Single-Lead, Heart Rate Monitor Front End

Data Sheet

AD8232

FEATURES

Fully integrated single-lead ECG front end
 Low supply current: 170 μ A (typical)
 Common-mode rejection ratio: 80 dB (dc to 60 Hz)
 Two or three electrode configurations
 High signal gain ($G = 100$) with dc blocking capabilities
 2-pole adjustable high-pass filter
 Accepts up to ± 300 mV of half cell potential
 Fast restore feature improves filter settling
 Uncommitted op amp
 3-pole adjustable low-pass filter with adjustable gain
 Leads off detection: ac or dc options
 Integrated right leg drive (RLD) amplifier
 Single-supply operation: 2.0 V to 3.5 V
 Integrated reference buffer generates virtual ground
 Rail-to-rail output
 Internal RFI filter
 8 kV HBM ESD rating
 Shutdown pin
 20-lead 4 mm $\times$ 4 mm LFCSP package

APPLICATIONS

Fitness and activity heart rate monitors
 Portable ECG
 Remote health monitors
 Gaming peripherals
 Biopotential signal acquisition

GENERAL DESCRIPTION

The AD8232 is an integrated signal conditioning block for ECG and other biopotential measurement applications. It is designed to extract, amplify, and filter small biopotential signals in the presence of noisy conditions, such as those created by motion or remote electrode placement. This design allows for an ultralow power analog-to-digital converter (ADC) or an embedded microcontroller to acquire the output signal easily.

The AD8232 can implement a two-pole high-pass filter for eliminating motion artifacts and the electrode half-cell potential. This filter is tightly coupled with the instrumentation architecture of the amplifier to allow both large gain and high-pass filtering in a single stage, thereby saving space and cost.

An uncommitted operational amplifier enables the AD8232 to create a three-pole low-pass filter to remove additional noise. The user can select the frequency cutoff of all filters to suit different types of applications.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

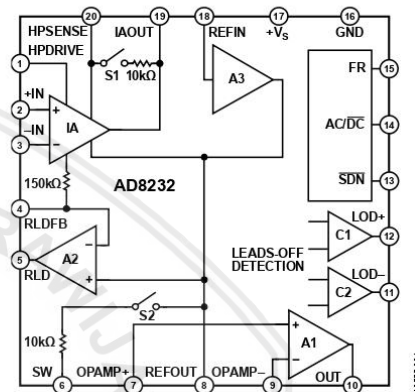


Figure 1.

To improve common-mode rejection of the line frequencies in the system and other undesired interferences, the AD8232 includes an amplifier for driven lead applications, such as right leg drive (RLD).

The AD8232 includes a fast restore function that reduces the duration of otherwise long settling tails of the high-pass filters. After an abrupt signal change that rails the amplifier (such as a leads off condition), the AD8232 automatically adjusts to a higher filter cutoff. This feature allows the AD8232 to recover quickly, and therefore, to take valid measurements soon after connecting the electrodes to the subject.

The AD8232 is available in a 4 mm $\times$ 4 mm, 20-lead LFCSP package. Performance is specified from 0°C to 70°C and is operational from -40°C to +85°C.

Rev. C

Document Feedback

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781.329.4700 ©2012–2018 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
 Technical Support www.analog.com

Data Sheet

AD8232

SPECIFICATIONS

$V_S = 3\text{ V}$, $V_{REF} = 1.5\text{ V}$, $V_{CM} = 1.5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $FR=low$, $SDN=high$, $AC/DC = low$, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
INSTRUMENTATION AMPLIFIER						
Common-Mode Rejection Ratio, DC to 60 Hz	CMRR	$V_{CM} = 0.35\text{ V to }2.85\text{ V}$, $V_{DIFF} = 0\text{ V}$	80	86		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CM} = 0.35\text{ V to }2.85\text{ V}$, $V_{DIFF} = \pm 0.3\text{ V}$		80		dB
Offset Voltage (RTI)	V_{OS}	$V_S = 2.0\text{ V to }3.5\text{ V}$	76	90		dB
Instrumentation Amplifier Inputs				3	8	mV
DC Blocking Input ¹				5	50	μV
Average Offset Drift				10		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Instrumentation Amplifier Inputs				0.05		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
DC Blocking Input ¹				50	200	pA
Input Bias Current	I_B	$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		1		nA
Input Offset Current	I_{OS}	$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		25	100	pA
Input Impedance				1		nA
Differential				10 7.5		$\text{G}\Omega \text{pF}$
Common Mode				5 15		$\text{G}\Omega \text{pF}$
Input Voltage Noise (RTI)						
Spectral Noise Density		$f = 1\text{ kHz}$		100		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Peak-to-Peak Voltage Noise		$f = 0.1\text{ Hz to }10\text{ Hz}$		12		$\mu\text{V p-p}$
		$f = 0.5\text{ Hz to }40\text{ Hz}$		14		$\mu\text{V p-p}$
Input Voltage Range		$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$	0.2		$+V_S$	V
DC Differential Input Range	V_{DIFF}		-300		+300	mV
Output						
Output Swing		$R_L = 50\text{ k}\Omega$	0.1		$+V_S - 0.1$	V
Short-Circuit Current	I_{OUT}			6.3		mA
Gain	A_V			100		V/V
Gain Error		$V_{DIFF} = 0\text{ V}$		0.4		%
		$V_{DIFF} = -300\text{ mV to }+300\text{ mV}$		1	3.5	%
Average Gain Drift		$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		12		$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
Bandwidth	BW			2		kHz
RFI Filter Cutoff (Each Input)				1		MHz
OPERATIONAL AMPLIFIER (A1)						
Offset Voltage	V_{OS}	$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		1	5	mV
Average TC				5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	I_B	$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		100		pA
Input Offset Current	I_{OS}	$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		1		nA
		$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		100		pA
		$T_A = 0^\circ\text{C to }70^\circ\text{C}$		1		nA
Input Voltage Range			0.1		$+V_S - 0.1$	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = 0.5\text{ V to }2.5\text{ V}$		100		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR			100		dB
Large Signal Voltage Gain	A_{VO}			110		dB
Output Voltage Range		$R_L = 50\text{ k}\Omega$	0.1		$+V_S - 0.1$	V
Short-Circuit Current Limit	I_{OUT}			12		mA
Gain Bandwidth Product	GBP			100		kHz
Slew Rate	SR			0.02		V/ μs
Voltage Noise Density (RTI)	e_n	$f = 1\text{ kHz}$		60		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Peak-to-Peak Voltage Noise (RTI)	$e_{n\text{ p-p}}$	$f = 0.1\text{ Hz to }10\text{ Hz}$		6		$\mu\text{V p-p}$
		$f = 0.5\text{ Hz to }40\text{ Hz}$		8		$\mu\text{V p-p}$

AD8232

Data Sheet

Parameter	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
RIGHT LEG DRIVE AMPLIFIER (A2)						
Output Swing	I _{OUT}	R _L = 50 kΩ	0.1		+V _S – 0.1	V
Short-Circuit Current						
Integrator Input Resistor	GDP		120	11 150	180	mA kΩ
Gain Bandwidth Product				100		kHz
REFERENCE BUFFER (A3)						
Offset Error	V _{OS}	R _L > 50 kΩ		1		mV
Input Bias Current	I _B			100		pA
Short-Circuit Current Limit	I _{OUT}	R _L = 50 kΩ		12		mA
Voltage Range			0.1		+V _S – 0.7	V
DC LEADS OFF COMPARATORS						
Threshold Voltage				+V _S – 0.5		V
Hysteresis				60		mV
Propagation Delay				0.5		μs
AC LEADS OFF DETECTOR						
Square Wave Frequency	F _{AC}	Between +IN and –IN	50	100	175	kHz
Square Wave Amplitude	I _{AC}			200		nA p-p
Impedance Threshold			10	20		MΩ
Detection Delay				110		μs
FAST RESTORE CIRCUIT						
Switches		S1 and S2				
On Resistance	R _{ON}	From either rail	8	10	12	kΩ
Off Leakage				100		pA
Window Comparator				50		mV
Threshold Voltage				2		μs
Propagation Delay						
Switch Timing Characteristics						
Feedback Recovery Switch On Time	t _{SW1}			110		ms
Filter Recovery Switch On Time	t _{SW2}			55		ms
Fast Restore Reset	t _{RST}			2		μs
LOGIC INTERFACE						
Input Characteristics						
Input Voltage (AC/DC and FR)						
Low	V _{IL}			1.24		V
High	V _{IH}			1.35		V
Input Voltage (SDN)						
Low	V _{IL}			2.1		V
High	V _{IH}			0.5		V
Output Characteristics		LOD+ and LOD– terminals				
Output Voltage						
Low	V _{OL}			0.05		V
High	V _{OH}			2.95		V
SYSTEM SPECIFICATIONS						
Quiescent Supply Current		T _A = 0°C to 70°C		170 210	230	μA μA
Shutdown Current		T _A = 0°C to 70°C		40 100	500	nA nA
Supply Range			2.0		3.5	V
Specified Temperature Range			0		70	°C
Operational Temperature Range			–40		+85	°C

¹ Offset referred to the input of the instrumentation amplifier inputs. See the Input Referred Offsets section for additional information.

Data Sheet

AD8232

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 2.

Parameter	Rating
Supply Voltage	3.6 V
Output Short-Circuit Current Duration	Indefinite
Maximum Voltage, Any Terminal ¹	+V _S + 0.3 V
Minimum Voltage, Any Terminal ¹	−0.3 V
Storage Temperature Range	−65°C to +125°C
Operating Temperature Range	−40°C to +85°C
Maximum Junction Temperature	140°C
θ _{JA} Thermal Impedance ²	48°C/W
θ _{JC} Thermal Impedance	4.4°C/W
ESD Rating	
Human Body Model (HBM)	8 kV
Charged Device Model (FICDM)	1.25 kV
Machine Model (MM)	200 V

¹ This level or the maximum specified supply voltage, whichever is the lesser, indicates the superior voltage limit for any terminal. If input voltages beyond the specified minimum or maximum voltages are expected, place resistors in series with the inputs to limit the current to less than 5 mA.

² θ_{JA} is specified for a device in free air on a 4-layer JEDEC board.

Stresses at or above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the product. This is a stress rating only; functional operation of the product at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Operation beyond the maximum operating conditions for extended periods may affect product reliability.

ESD CAUTION

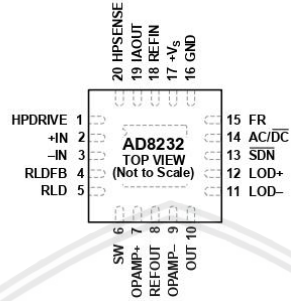


ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

AD8232

Data Sheet

PIN CONFIGURATION AND FUNCTION DESCRIPTIONS



NOTES
1. CONNECT THE EXPOSED PAD TO GND OR LEAVE UNCONNECTED.

Figure 2. Pin Configuration

Table 3. Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Description
1	HPDRIVE	High-Pass Driver Output. Connect HPDRIVE to the capacitor in the first high-pass filter. The AD8232 drives this pin to keep HPSENSE at the same level as the reference voltage.
2	+IN	Instrumentation Amplifier Positive Input. +IN is typically connected to the left arm (LA) electrode.
3	-IN	Instrumentation Amplifier Negative Input. -IN is typically connected to the right arm (RA) electrode.
4	RLDFB	Right Leg Drive Feedback Input. RLDFB is the feedback terminal for the right leg drive circuit.
5	RLD	Right Leg Drive Output. Connect the driven electrode (typically, right leg) to the RLD pin.
6	SW	Fast Restore Switch Terminal. Connect this terminal to the output of the second high-pass filter.
7	OPAMP+	Operational Amplifier Noninverting Input.
8	REFOUT	Reference Buffer Output. The instrumentation amplifier output is referenced to this potential. Use REFOUT as a virtual ground for any point in the circuit that needs a signal reference.
9	OPAMP-	Operational Amplifier Inverting Input.
10	OUT	Operational Amplifier Output. The fully conditioned heart rate signal is present at this output. OUT can be connected to the input of an ADC.
11	LOD-	Leads Off Comparator Output. In dc leads off detection mode, LOD- is high when the electrode to -IN is disconnected, and it is low when connected. In ac leads off detection mode, LOD- is always low.
12	LOD+	Leads Off Comparator Output. In dc leads off detection mode, LOD+ is high when the +IN electrode is disconnected, and it is low when connected. In ac leads off detection mode, LOD+ is high when either the -IN or +IN electrode is disconnected, and it is low when both electrodes are connected.
13	SDN	Shutdown Control Input. Drive SDN low to enter the low power shutdown mode.
14	AC/DC	Leads Off Mode Control Input. Drive the AC/DC pin low for dc leads off mode. Drive the AC/DC pin high for ac leads off mode.
15	FR	Fast Restore Control Input. Drive FR high to enable fast recovery mode; otherwise, drive it low.
16	GND	Power Supply Ground.
17	+Vs	Power Supply Terminal.
18	REFIN	Reference Buffer Input. Use REFIN, a high impedance input terminal, to set the level of the reference buffer.
19	IAOUT	Instrumentation Amplifier Output Terminal.
20	HPSENSE	High-Pass Sense Input for Instrumentation Amplifier. Connect HPSENSE to the junction of R and C that sets the corner frequency of the dc blocking circuit.
	EP	Exposed Pad. Connect the exposed pad to GND or leave it unconnected.

AD8232

Data Sheet

THEORY OF OPERATION

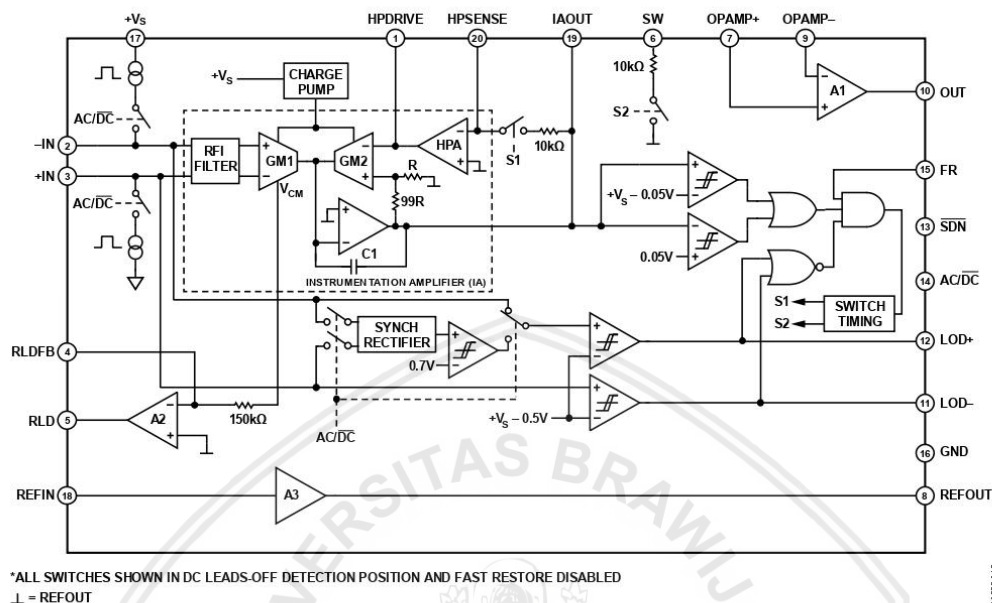


Figure 45. Simplified Schematic Diagram

ARCHITECTURE OVERVIEW

The AD8232 is an integrated front end for signal conditioning of cardiac biopotentials for heart rate monitoring. It consists of a specialized instrumentation amplifier (IA), an operational amplifier (A1), a right leg drive amplifier (A2), and a mid-supply reference buffer (A3). In addition, the AD8232 includes leads off detection circuitry and an automatic fast restore circuit that brings back the signal shortly after leads are reconnected.

The AD8232 contains a specialized instrumentation amplifier that amplifies the ECG signal while rejecting the electrode half-cell potential on the same stage. This is possible with an indirect current feedback architecture, which reduces size and power compared with traditional implementations.

INSTRUMENTATION AMPLIFIER

The instrumentation amplifier is shown in Figure 45 as comprised by two well-matched transconductance amplifiers (GM1 and GM2), the dc blocking amplifier (HPA), and an integrator formed by C1 and an op amp. The transconductance amplifier, GM1, generates a current that is proportional to the voltage present at its inputs. When the feedback is satisfied, an equal voltage appears across the inputs of the transconductance amplifier, GM2, thereby matching the current generated by GM1. The difference generates an error current that is integrated across Capacitor C1. The resulting voltage appears at the output of the instrumentation amplifier.

The feedback of the amplifier is applied via GM2 through two separate paths: the two resistors divide the output signal to set an overall gain of 100, whereas the dc blocking amplifier integrates any deviation from the reference level. Consequently, dc offsets as large as ± 300 mV across the GM1 inputs appear inverted and with the same magnitude across the inputs of GM2, all without saturating the signal of interest.

To increase the common-mode voltage range of the instrumentation amplifier, a charge pump boosts the supply voltage for the two transconductance amplifiers. This further prevents saturation of the amplifier in the presence of large common-mode signals, such as line interference. The charge pump runs from an internal oscillator, the frequency of which is set around 500 kHz.

OPERATIONAL AMPLIFIER

This general-purpose operational amplifier (A1) is a rail-to-rail device that can be used for low-pass filtering and to add additional gain. The following sections provide details and example circuits that use this amplifier.

Data Sheet

AD8232

RIGHT LEG DRIVE AMPLIFIER

The right leg drive (RLD) amplifier inverts the common-mode signal that is present at the instrumentation amplifier inputs. When the right leg drive output current is injected into the subject, it counteracts common-mode voltage variations, thus improving the common-mode rejection of the system.

The common-mode signal that is present across the inputs of the instrumentation amplifier is derived from the transconductance amplifier, GM1. It is then connected to the inverting input of A2 through a 150 kΩ resistor.

An integrator can be built by connecting a capacitor between the RLD FB and RLD terminals. A good starting point is a 1 nF capacitor, which places the crossover frequency at about 1 kHz (the frequency at which the amplifier has an inverting unity gain). This configuration results in about 26 dB of loop gain available at a frequency range from 50 Hz to 60 Hz for common-mode line rejection. Higher capacitor values reduce the crossover frequency, thereby reducing the gain that is available for rejection and, consequently, increasing the line noise. Lower capacitor values move the crossover frequency to higher frequencies, allowing increased gain. The tradeoff is that with higher gain, the system can become unstable and saturate the output of the right leg amplifier.

Note that when using this amplifier to drive an electrode, there should be a resistor in series with the output to limit the current to be always less than 10 μA, even in fault conditions. For example, if the supply used is 3.0 V, this resistor should be greater than 330 kΩ to account for component and supply variations.

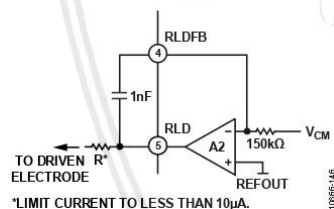


Figure 46. Typical Configuration of Right-Leg Drive Circuit

In two-electrode configurations, RLD can be used to bias the inputs through 10 MΩ resistors as described in the Leads Off Detection section. If left unused, it is recommended to configure A2 as a follower by connecting RLDFB directly to RLD.

REFERENCE BUFFER

The AD8232 operates from a single supply. To simplify the design of single-supply applications, the AD8232 includes a reference buffer to create a virtual ground between the supply voltage and the system ground. The signals present at the output of the instrumentation amplifier are referenced around this voltage. For example, if there is zero differential input voltage,

the voltage at the output of the instrumentation amplifier is this reference voltage.

The reference voltage level is set at the REFIN pin. It can be set with a voltage divider or by driving the REFIN pin from some other point in the circuit (for example, from the ADC reference). The voltage is available at the REFOUT pin for the filtering circuits or for an ADC input.

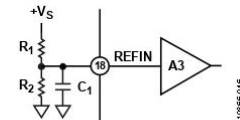


Figure 47. Setting the Internal Reference

To limit the power consumption of the voltage divider, the use of large resistors is recommended, such as 10 MΩ. The designer must keep in mind that high resistor values make it easier for interfering signals to appear at the input of the reference buffer. To minimize noise pickup, it is recommended to place the resistors close to each other and as near as possible to the REFIN terminal. Furthermore, use a capacitor in parallel with the lower resistor on the divider for additional filtering, as shown in Figure 47. Keep in mind that a large capacitor results in better noise filtering but it takes longer to settle the reference after power-up. The total time it takes the reference to settle within 1% can be estimated with the formula

$$t_{\text{SETTLE_REFERENCE}} = 5 \times \frac{R1R2C1}{R1 + R2}$$

Note that disabling the AD8232 with the shutdown terminal does not discharge this capacitor.

FAST RESTORE CIRCUIT

Because of the low cutoff frequency used in high-pass filters in ECG applications, signals may require several seconds to settle. This settling time can result in a frustrating delay for the user after a step response: for example, when the electrodes are first connected.

This fast restore function is implemented internally, as shown in Figure 48. The output of the instrumentation amplifier is connected to a window comparator. The window comparator detects a saturation condition at the output of the instrumentation amplifier when its voltage approaches 50 mV from either supply rail.

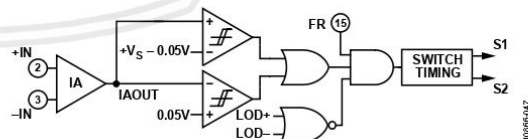


Figure 48. Fast Restore Circuit

AD8232

Data Sheet

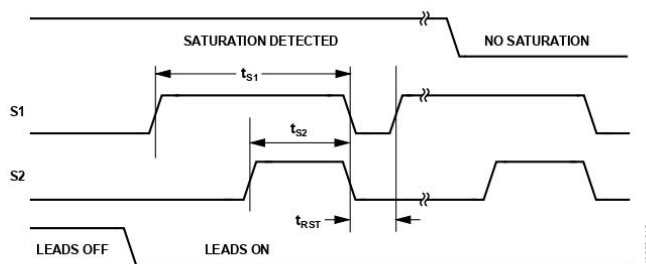


Figure 49. Timing Diagram for Fast Restore Switches
(Time Base Not to Scale)

If this saturation condition is present when both input electrodes are attached to the subject, the comparator triggers a timing circuit that automatically closes Switch S1 and Switch S2 (see Figure 49 for a timing diagram).

These two switches (S1 and S2) enable two different 10 k Ω resistor paths: one between HPSENSE and IAOUT and another between SW and REFOUT. During the time Switch S1 and Switch S2 are enabled, these internal resistors appear in parallel with their corresponding external resistors forming high-pass filters. The result is that the equivalent lower resistance shifts the pole to a higher frequency, delivering a quicker settling time. Note that the fast restore settling time depends on how quickly the internal 10 k Ω resistors of the AD8232 can drain the capacitors in the high-pass circuit. Smaller capacitor values result in a shorter settling time.

If, by the end of the timing, the saturation condition persists, the cycle repeats. Otherwise, the AD8232 returns to its normal operation. If either of the leads off comparator outputs is indicating that an electrode has been disconnected, the timing circuit is prevented from triggering because it is assumed that no valid signal is present. To disable fast restore, drive the FR pin low or tie it permanently to GND.

LEADS OFF DETECTION

The AD8232 includes leads off detection. It features ac and dc detection modes optimized for either two- or three-electrode configurations, respectively.

DC Leads Off Detection

The dc leads off detection mode is used in three-electrode configurations only. It works by sensing when either instrumentation amplifier input voltage is within 0.5 V from the positive rail. In this case, each input must have a pull-up resistor connected to the positive supply. During normal operation, the subject's potential must be inside the common-mode range of the instrumentation amplifier, which is only possible if a third electrode is connected to the output of the right leg drive amplifier.

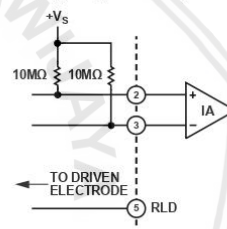


Figure 50. Circuit Configuration for DC Leads Off Detection

Because in dc leads off mode the AD8232 checks each input individually, it is possible to indicate which electrode is disconnected. The AD8232 indicates which electrode is disconnected by setting the corresponding LOD $-$ or LOD $+$ pin high. To use this mode, connect the AC/DC pin to ground.

Data Sheet

AD8232

AC Leads Off Detection

The ac leads off detection mode is useful when using two electrodes only (it does not require the use of a driven electrode). In this case, a conduction path must exist between the two electrodes, which is usually formed by two resistors, as shown in Figure 51.

These resistors also provide a path for bias return on each input. Connect each resistor to REFOUT or RLD to maintain the inputs within the common-mode range of the instrumentation amplifier.

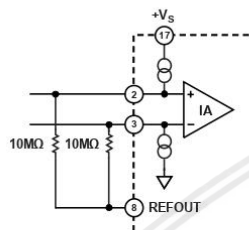


Figure 51. Circuit Configuration for AC Leads Off Detection

The AD8232 detects when an electrode is disconnected by forcing a small 100 kHz current into the input terminals. This current flows through the external resistors from IN+ to IN- and develops a differential voltage across the inputs, which is then synchronously detected and compared to an internal threshold. The recommended value for these external resistors is 10 MΩ. Low resistance values make the differential drop too low to be detected and lower the input impedance of the amplifier. When the electrodes are attached to the subject, the impedance of this path should be less than 3 MΩ to maintain the drop below the comparator's threshold.

As opposed to the dc leads off detection mode, the AD8232 is able to determine only that an electrode has lost its connection, not which one. During such an event, the LOD+ pin goes high. In this mode, the LOD- pin is not used and remains in a logic low state. To use the ac leads off mode, tie the AC/DC pin to the positive supply rail.

Note that while REFOUT is at a constant voltage value, using the RLD output as the input bias may be more effective in rejecting common-mode interference.

STANDBY OPERATION

The AD8232 includes a shutdown pin ($\overline{\text{SDN}}$) that further enhances the flexibility and ease of use in portable applications

where power consumption is critical. A logic level signal can be applied to this pin to switch to shutdown mode, even when the supply is still on.

Driving the $\overline{\text{SDN}}$ pin low places the AD8232 in shutdown mode and draws less than 200 nA of supply current, offering considerable power savings. To enter normal operation, drive $\overline{\text{SDN}}$ high; when not using this feature, permanently tie $\overline{\text{SDN}}$ to +V_S.

During shutdown operation, the AD8232 is not able to maintain the REFOUT voltage, but it does not drain the REFIN voltage, thereby maintaining this additional conduction path from the supply to ground.

When emerging from a shutdown condition, the charge stored in the capacitors on the high-pass filters can saturate the instrumentation amplifier and subsequent stages. The use of the fast restore feature helps reduce the recovery time and, therefore, minimize on time in power sensitive applications.

INPUT PROTECTION

All terminals of the AD8232 are protected against ESD. In addition, the input structure allows for dc overload conditions that are a diode drop above the positive supply and a diode drop below the negative supply. Voltages beyond a diode drop of the supplies cause the ESD diodes to conduct and enable current to flow through the diode. Therefore, use an external resistor in series with each of the inputs to limit current for voltages beyond the supplies. In either scenario, the AD8232 safely handles a continuous 5 mA current at room temperature.

For applications where the AD8232 encounters extreme overload voltages, such as in cardiac defibrillators, use external series resistors and gas discharge tubes (GDT). Neon lamps are commonly used as an inexpensive alternative to GDTs. These devices can handle the application of large voltages but do not maintain the voltage below the absolute maximum ratings for the AD8232. A complete solution includes further clamping to either supply using additional resistors and low leakage diode clamps, such as BAV199 or FJH1100.

As a safety measure, place a resistor between the input pin and the electrode that is connected to the subject to ensure that the current flow never exceeds 10 μA. Calculate the value of this resistor to be equal to the supply voltage across the AD8232 divided by 10 μA.

AD8232

Data Sheet

RADIO FREQUENCY INTERFERENCE (RFI)

Radio frequency (RF) rectification is often a problem in applications where there are large RF signals. The problem appears as a dc offset voltage at the output. The AD8232 has a 15 pF gate capacitance and 10 k Ω resistors at each input. This forms a low-pass filter on each input that reduces rectification at high frequency (see Figure 52) without the addition of external elements.

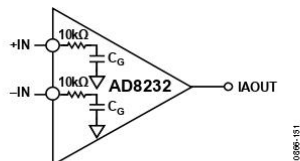


Figure 52. RFI Filter Without External Capacitors

For increased filtering, additional resistors can be added in series with each input. They must be placed as close as possible to the instrumentation amplifier inputs. These can be the same resistors used for overload and patient protection.

POWER SUPPLY REGULATION AND BYPASSING

The AD8232 is designed to be powered directly from a single 3 V battery, such as CR2032 type. It can also operate from rechargeable lithium-ion batteries, but the designer must take into account that the voltage during a charge cycle may exceed the absolute maximum ratings of the AD8232. To avoid damage to the part, use a power switch or a low power, low dropout regulator, such as ADP150.

In addition, excessive noise on the supply pins can adversely affect performance. As in all linear circuits, bypass capacitors must be used to decouple the chip power supplies. Place a 0.1 μ F capacitor close to the supply pin. A 1 μ F capacitor can be used farther away from the part. In most cases, the capacitor can be shared by other integrated circuits. Keep in mind that excessive decoupling capacitance increases power dissipation during power cycling.

INPUT REFERRED OFFSETS

Because of its internal architecture, the instrumentation amplifier should be used always with the dc blocking amplifier, shown as HPA in Figure 45.

As described in the Theory of Operation section, the dc blocking amplifier attenuates the input referred offsets present at the inputs of the instrumentation amplifier. However, this is true only when the dc blocking amplifier is used as an integrator. In this configuration, the input offsets from the dc blocking amplifier dominate appear directly at the output of the instrumentation amplifier.

If the dc blocking amplifier is used as a follower instead of its intended function as an integrator, the input referred offsets of the in-amp are amplified by a factor of 100.

LAYOUT RECOMMENDATIONS

It is important to follow good layout practices to optimize system performance. In low power applications, most resistors are of a high value to minimize additional supply current. The challenge of using high value resistors is that high impedance nodes become even more susceptible to noise pickup and board parasitics, such as capacitance and surface leakages. Keep all of the connections between high impedance nodes as short as possible to avoid introducing additional noise and errors from corrupting the signal.

To maintain high CMRR over frequency, keep the input traces symmetrical and length matched. Place safety and input bias resistors in the same position relative to each input. In addition, the use of a ground plane significantly improves the noise rejection of the system.

APPLICATIONS INFORMATION

ELIMINATING ELECTRODE OFFSETS

The instrumentation amplifier in the AD8232 is designed to apply gain and to filter out near dc signals simultaneously. This capability allows it to amplify a small ECG signal by a factor of 100 yet reject electrode offsets as large as ± 300 mV.

To achieve offset rejection, connect an RC network between the output of the instrumentation amplifier, HPSENSE, and HPDRIVE, as shown in Figure 53.

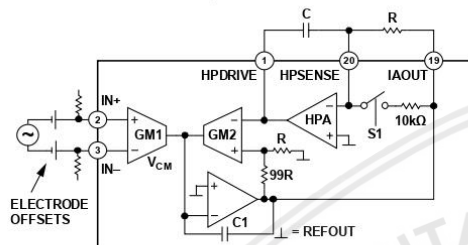


Figure 53. Eliminating Electrode Offsets

This RC network forms an integrator that feeds any near dc signals back into the instrumentation amplifier, thus eliminating the offsets without saturating any node and maintaining high signal gain.

In addition to blocking offsets present across the inputs of the instrumentation amplifier, this integrator also works as a high-pass filter that minimizes the effect of slow moving signals, such as baseline wander. The cutoff frequency of the filter is given by the equation

$$f_{-3dB} = \frac{100}{2\pi RC}$$

where R is in ohms and C is in farads.

Note that the filter cutoff is 100 times higher than is typically expected from a single-pole filter. Because of the feedback architecture of the instrumentation amplifier, the typical filter cutoff equation is modified by the gain of 100 of the instrumentation amplifier.

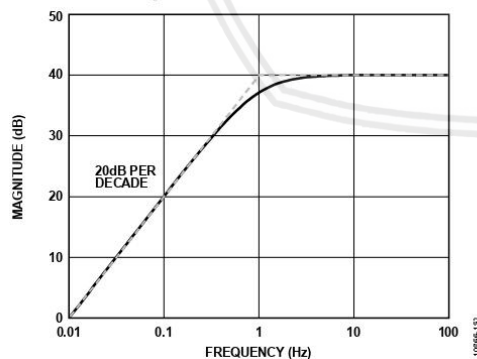


Figure 54. Frequency Response of Single-Pole DC Blocking Circuit

Just like with any high-pass filter with low frequency cutoff, any fast change in dc offset takes a long time to settle. If such change saturates the instrumentation amplifier output, the S1 switch briefly enables the 10 kΩ resistor path, thus moving the cutoff frequency to

$$f_{-3dB} = \frac{100(R + 10^4)}{2\pi RC(10^4)} \quad (1)$$

For values of R greater than 100 kΩ, the expression in Equation 1 can be approximated by

$$f_{-3dB} = \frac{1}{200\pi C}$$

This higher cutoff reduces the settling time and enables faster recovery of the ECG signal. For more information, see the Fast Restore Circuit section.

HIGH-PASS FILTERING

The AD8232 can implement higher order high-pass filters. A higher filter order yields better artifact rejection but at a cost of increased signal distortion and more passive components on the printed circuit board (PCB).

Two-Pole High-Pass Filter

A two-pole architecture can be implemented by adding a simple ac coupling RC at the output of the instrumentation amplifier, as shown in Figure 55.

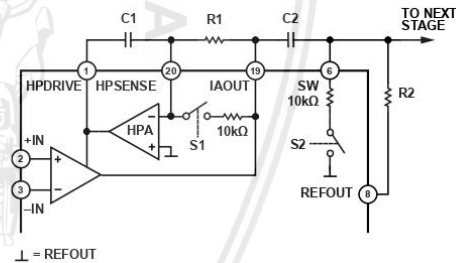


Figure 55. Schematic for a Two-Pole High-Pass Filter

Note that the right side of $C2$ connects to the SW terminal. Just like S1, S2 reduces the recovery time for this ac coupling network by placing 10 kΩ in parallel with $R2$. See the Fast Restore Circuit section for additional details on switch timing and trigger conditions.

Keep in mind that if this passive network is not buffered, it exhibits higher output impedance at the input of a subsequent low-pass filter, such as with Sallen-Key filter topologies. Careful component selection can yield good results without a buffer. See the Low-Pass Filtering and Gain section for additional information on component selection.

AD8232

Data Sheet

Additional High-Pass Filtering Options

In addition to the topologies explained in the previous sections, an additional pole may be added to the dc blocking circuit for additional rejection of low frequency signals. This configuration is shown in Figure 56.

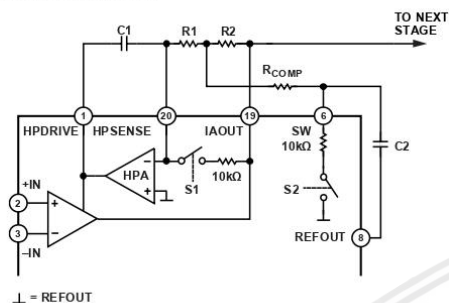


Figure 56. Schematic for an Alternative Two-Pole High-Pass Filter

An extra benefit of this circuit topology is that it allows lower cutoff frequency with lower R and C values and the resistor, R_{COMP} , can be used to control the Q of the filter to achieve narrow band-pass filters (for heart rate detection) or maximum pass-band flatness (for cardiac monitoring).

With this topology, the filter attenuation reverts to a single pole roll off at very low frequencies. Because the initial roll off was 40 dB per decade, this reversion to 20 dB per decade has little impact on the ability of the filter to reject out-of-band low frequency signals.

The designer may choose different values to achieve the desired filter performance. To simplify the design process, use the following recommendations as a starting point for component value selection.

$$R1 = R2 \geq 100 \text{ k}\Omega$$

$$C1 = C2$$

$$R_{COMP} = 0.14 \times R1$$

The cutoff frequency is located at

$$f_c = \frac{10}{2\pi \sqrt{R1 C1 R2 C2}}$$

The selection of R_{COMP} to be 0.14 times the value of the other two resistors optimizes the filter for a maximally flat pass band. Reduce its value to increase the Q and, consequently, the peaking of the filter. Keep in mind that a very low value of R_{COMP} can result in an unstable circuit. The selection of values based on these criteria result in a transfer function similar to the one shown in Figure 58.

When additional low frequency rejection is desired, a high-order high-pass filter can be implemented by adding an ac coupling network at the output of the instrumentation amplifier, as shown in Figure 57. The SW terminal is connected to the ac coupling network to obtain the best settling time response when fast restore engages.

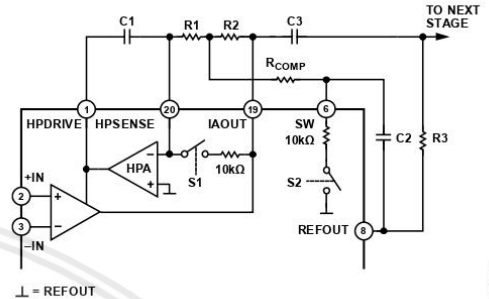


Figure 57. Schematic for a Three-Pole High-Pass Filter

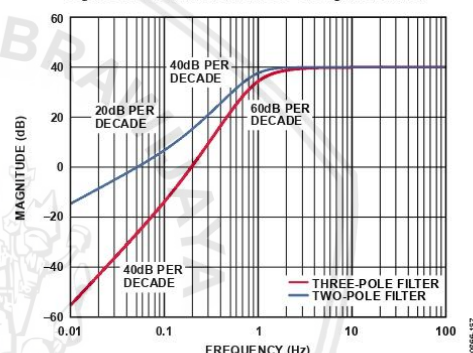


Figure 58. Frequency Response of Circuits in Figure 56 and Figure 57

Careful analysis and adjustment of all of the component values in practice is recommended to optimize the filter characteristics. A useful hint is to reduce the value of R_{COMP} to increase the peaking of the active filter to overcome the additional roll off introduced by the ac coupling network. Proper adjustment can yield the best pass-band flatness.

The design of the high-pass filter involves tradeoffs between signal distortion, component count, low frequency rejection, and component sizes. For example, a single-pole high-pass filter results in the least distortion to the signal, but its rejection of low-frequency artifacts is the lowest Table 4 compares the recommended filtering options.

Table 4. Comparison of High-Pass Filtering Options

	Filter Order	Component Count	Low Frequency Rejection	Capacitor Sizes/Values	Signal Distortion ¹	Output Impedance ²
Figure 53	1	2	Good	Large	Low	Low
Figure 55	2	4	Better	Large	Medium	Higher
Figure 56	2	5	Better	Smaller	Medium	Low
Figure 57	3	7	Best	Smaller	Highest	Higher

¹ For equivalent corner frequency location.

² Output impedance refers to the drive capability of the high-pass filter before the low-pass filter. Low output impedance is desirable to allow flexibility in the selection of values for a low-pass filter, as explained in the Low-Pass Filtering and Gain section.

LOW-PASS FILTERING AND GAIN

The AD8232 includes an uncommitted op amp that can be used for extra gain and filtering. For applications that do not require a high-order filter, a simple RC low-pass filter should suffice, and the op amp can buffer or further amplify the signal.

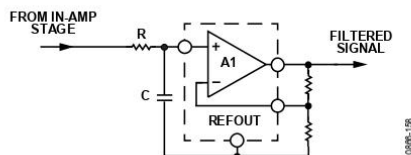


Figure 59. Schematic for a Single-Pole Low-Pass Filter and Additional Gain

Applications that require a steeper roll off or a sharper cut off, a Sallen-Key filter topology can be implemented, as shown in Figure 60.

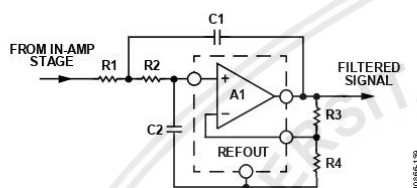


Figure 60. Schematic for a Two-Pole Low-Pass Filter

The following equations describe the low-pass cut off frequency, gain, and Q:

$$f_c = 1/(2\pi\sqrt{R1 \cdot C1 \cdot R2 \cdot C2})$$

$$\text{Gain} = 1 + R3/R4$$

$$Q = \frac{\sqrt{R1 \times C1 \times R2 \times C2}}{R1 \times C2 + R2 \times C2 + R1 \times C1(1 - \text{Gain})}$$

Note that changing the gain has an effect on Q and vice versa. Common values for Q are 0.5 to avoid peaking or 0.7 for maximum flatness and sharp cut off. A high value of Q can be used in narrow-band applications to increase peaking and the selectivity of the band-pass filter.

A common design procedure is to set $R1 = R2 = R$ and $C1 = C2 = C$, which simplifies the expressions for cutoff frequency and Q to

$$f_c = 1/(2\pi RC)$$

$$Q = \frac{1}{3 - \text{Gain}}$$

Note that Q can be controlled by setting the gain with R3 and R4; however, this limits the gain to be less than 3. For gain values equal to or greater than 3, the circuit becomes unstable. A simple modification that allows higher gains is to make the value of C2 at least four times larger than C1.

It is important to note that these design equations only hold true in the case that the output impedance of the previous stage is much lower than the input impedance of the Sallen-Key filter. This is not the case when using an ac coupling network between

the instrumentation amplifier output and the input of the low-pass filter without a buffer.

To connect these two filtering stages properly without a buffer, make the value of R1 at least ten times larger than the resistor of the ac coupling network (labeled as R2 in Figure 55).

DRIVING ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS

The ability of AD8232 to drive capacitive loads makes it ideal to drive an ADC without the need for an additional buffer. However, depending on the input architecture of the ADC, a simple low-pass RC network may be required to decouple the transients from the switched-capacitor input typical of modern ADCs. This RC network also acts as an additional filter that can help reduce noise and aliasing. Follow the recommended guidelines from the ADC data sheet for the selection of proper R and C values.

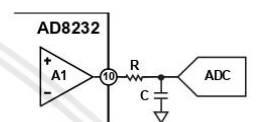


Figure 61. Driving an ADC

DRIVEN ELECTRODE

A driven lead (or reference electrode) is often used to minimize the effects of common-mode voltages induced by the power line and other interfering sources. The AD8232 extracts the common-mode voltage from the instrumentation amplifier inputs and makes it available through the RLD amplifier to drive an opposing signal into the patient. This functionality maintains the voltage between the patient and the AD8232 at a near constant, greatly improving the common-mode rejection ratio.

As a safety measure, place a resistor between the RLD pin and the electrode connected to the subject to ensure that current flow never exceeds 10 μA . Calculate the value of this resistor to be equal to the supply voltage across the AD8232 divided by 10 μA .

The AD8232 implements an integrator formed by an internal 150 k Ω resistor and an external capacitor to drive this electrode. Choice of the integrator capacitor is a tradeoff between line rejection capability and stability. The capacitor should be small to maintain as much loop gain as possible, around 50 Hz and 60 Hz, which are typical line frequencies. For stability, the gain of the integrator should be less than unity at the frequency of any other poles in the loop, such as those formed by the patient's capacitance and the safety resistors. The suggested application circuits use a 1 nF capacitor, which results in a loop gain of about 20 at line frequencies, with a crossover frequency of about 1 kHz.

In a two-lead configuration, the RLD amplifier can be used to drive the bias current resistors on the inputs. Although not as effective as a true driven electrode, this configuration can provide some common-mode rejection improvement if the sense electrode impedance is small and well matched.

AD8232

Data Sheet

APPLICATION CIRCUITS

HEART RATE MEASUREMENT NEXT TO THE HEART

For wearable exercise devices, the AD8232 is typically placed in a pod near the heart. The two sense electrodes are placed underneath the pectoral muscles; no driven electrode is used. Because the distance from the heart to the AD8232 is small, the heart signal is strong and there is less muscle artifact interference.

In this configuration, space is at a premium. By using as few external components as possible, the circuit in Figure 62 is optimized for size.

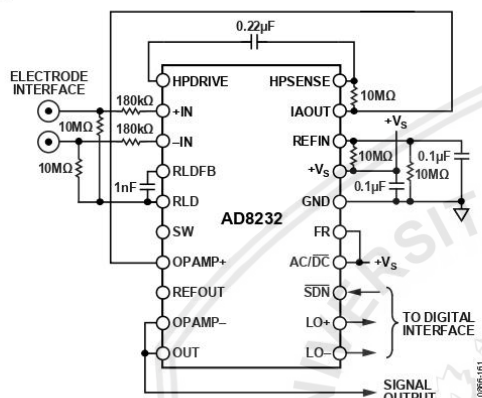


Figure 62. Circuit for Heart Rate Measurement Next to Heart

A shorter distance from the AD8232 to the heart makes this application less vulnerable to common-mode interference. However, since RLD is not used to drive an electrode, it can be used to improve the common-mode rejection by maintaining the midscale voltage through the 10 MΩ bias resistors.

A single-pole high-pass filter is set at 7 Hz, and there is no low-pass filter. No gain is used on the output op amp thereby reducing the number of resistors for a total system gain of 100.

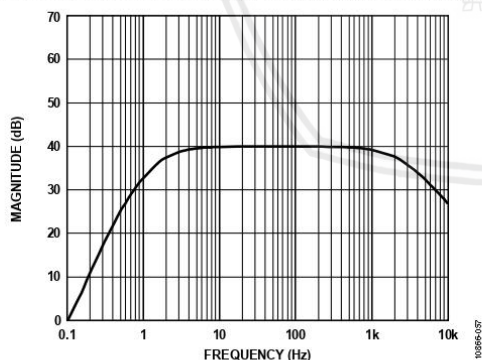


Figure 63. Frequency Response for HRM Next to Heart Circuit

The input terminals in this configuration use two 180 kΩ resistors, to protect the user from fault conditions. Two 10 MΩ resistors provide input bias. Use higher values for electrodes with high output impedance, such as cloth electrodes.

The schematic also shows two 10 MΩ resistors to set the midscale reference voltage. If there is already a reference voltage available, it can be driven into the REFIN input to eliminate these two 10 MΩ resistors.

EXERCISE APPLICATION: HEART RATE MEASURED AT THE HANDS

In this application, the heart rate signal is measured at the hands with stainless steel electrodes. The user's arm and upper body movement create large motion artifacts and the long lead length makes the system susceptible to common-mode interference. A very narrow band-pass characteristic is required to separate the heart signal from the interferers.

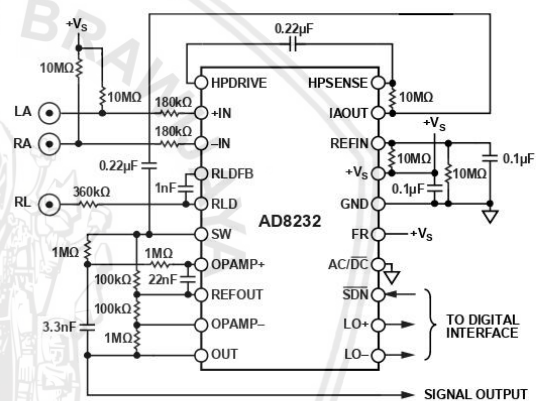


Figure 64. Circuit for Heart Rate Measurement at Hands

The circuit in Figure 64 uses a two-pole high-pass filter set at 7 Hz. A two-pole low-pass filter at 24 Hz follows the high-pass filters to eliminate any other artifacts and line noise.

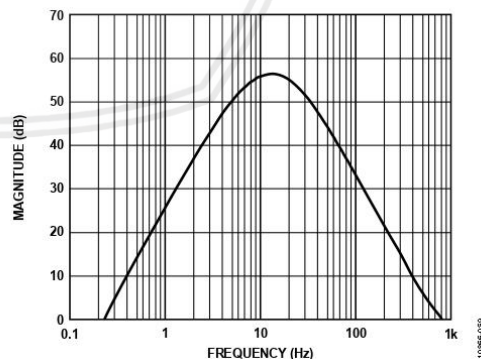


Figure 65. Frequency Response for HRM Circuit Taken at the Hands

Data Sheet

AD8232

The overall narrow-band nature of this filter combination distorts the ECG waveform significantly. Therefore, it is only suitable to determine the heart rate, and not to analyze the ECG signal characteristics.

The low-pass filter stage also includes a gain of 11, to bring the total system gain close to 1100 (note that the filter roll off prevents the maximum gain from reaching this value). Because the ECG signal is measured at the hands, it is weaker than when measured closer to the heart.

The RLD circuit drives to the third electrode, which can also be located at the hands, to cancel common-mode interference.

CARDIAC MONITOR CONFIGURATION

This configuration is designed for monitoring the shape of the ECG waveform. It assumes that the patient remains relatively still during the measurement, and therefore, motion artifacts are less of an issue.

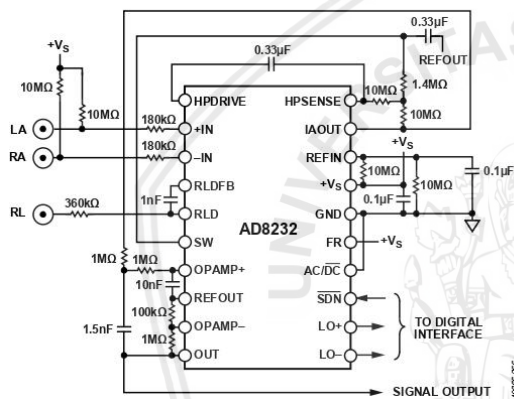


Figure 66. Circuit for ECG Waveform Monitoring

To obtain an ECG waveform with minimal distortion, the AD8232 is configured with a 0.5 Hz two-pole high-pass filter followed by a two-pole, 40 Hz, low-pass filter. A third electrode is driven for optimum common-mode rejection.

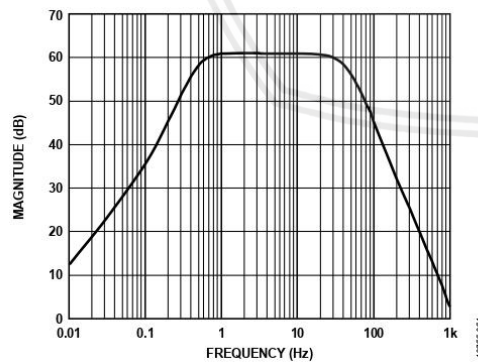


Figure 67. Frequency Response of Cardiac Monitor Circuit

In addition to 40 Hz filtering, the op amp stage is configured for a gain of 11, resulting in a total system gain of 1100. To optimize the dynamic range of the system, the gain level is adjustable, depending on the input signal amplitude (which may vary with electrode placement) and ADC input range.

PORTABLE CARDIAC MONITOR WITH ELIMINATION OF MOTION ARTIFACTS

The circuit in Figure 68 shows an implementation of a battery-powered embedded system for monitoring heart rate in applications where the patient engages in moderate activity, such as with a Holter monitor. The AD8232 uses a three-electrode patient interface and implements a two-pole high-pass filter with a cutoff at 0.3 Hz, and a two-pole low-pass filter with a cutoff frequency of 37 Hz. The total signal gain in the pass band is 400. The fully conditioned signal is sampled by the sigma-delta ADC integrated on the low power microcontroller, ADuCM360. The wide dynamic range of this ADC provides flexibility to reduce the signal gain to avoid saturation, depending on electrode placement.

Because the pass band is relatively wide for ambulatory applications, the ADXL346 accelerometer signal can be used to further minimize the noise introduced by the motion of the patient. Moreover, the microcontroller can use the motion information to monitor inactivity and to issue a system shutdown to save battery power.

The low dropout regulator ensures that the maximum of 3 V is not exceeded, especially during charge cycles of the battery, which can be a lithium-ion cell.

In this application, the ADuCM360 uses its Port 0 to perform DMA transfers to the host communication interface or to an on-board memory, if recording the waveform for later transfer. However, in any particular application, this port should be used for the busiest interface to minimize CPU cycles and maintain low power operation.

Note that this circuit is shown to demonstrate the capabilities of AD8232 and other system components. It is not a complete system design and additional effort must be made to ensure compliance with medical safety guidelines from regulatory agencies.

AD8232

Data Sheet

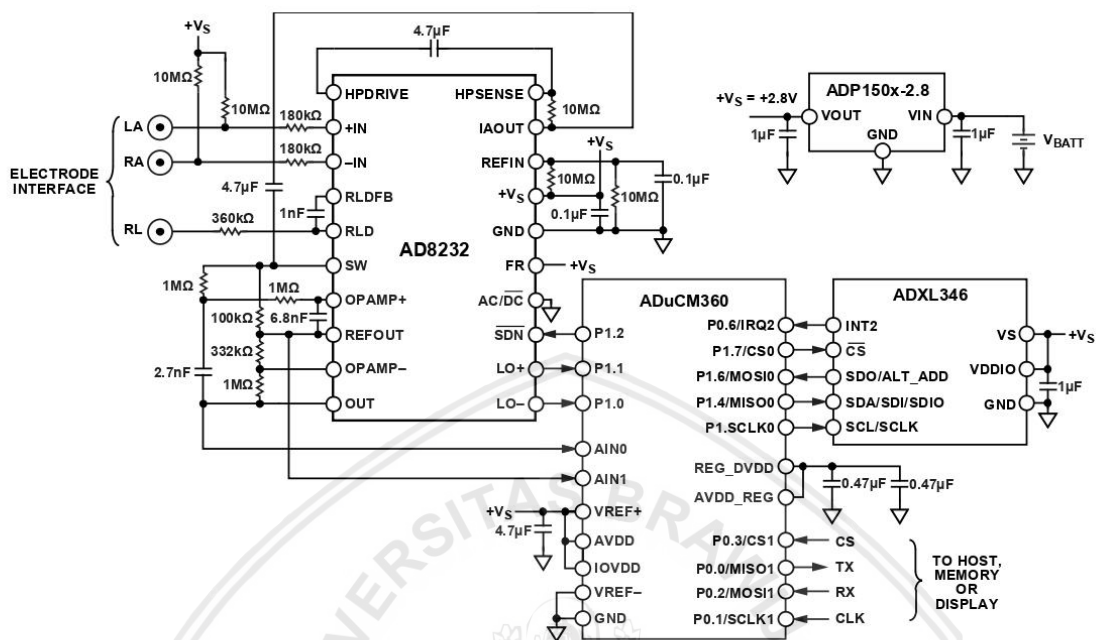
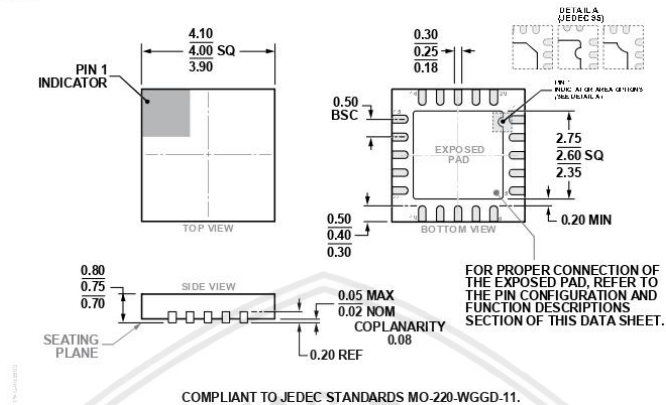


Figure 68. Low Power Portable Cardiac Monitor

10896-103

PACKAGING AND ORDERING INFORMATION

OUTLINE DIMENSIONS



ORDERING GUIDE

Model ¹	Temperature Range	Package Description	Package Option
AD8232ACPZ-R7	−40°C to +85°C	20-Lead Lead Frame Chip Scale Package [LFCS]	CP-20-8
AD8232ACPZ-RL	−40°C to +85°C	20-Lead Lead Frame Chip Scale Package [LFCS]	CP-20-8
AD8232ACPZ-WP	−40°C to +85°C	20-Lead Lead Frame Chip Scale Package [LFCS]	CP-20-8
AD8232-EVALZ		Evaluation Board	

¹ Z = RoHS Compliant Part.

RASPBERRY PI 3 MODEL B



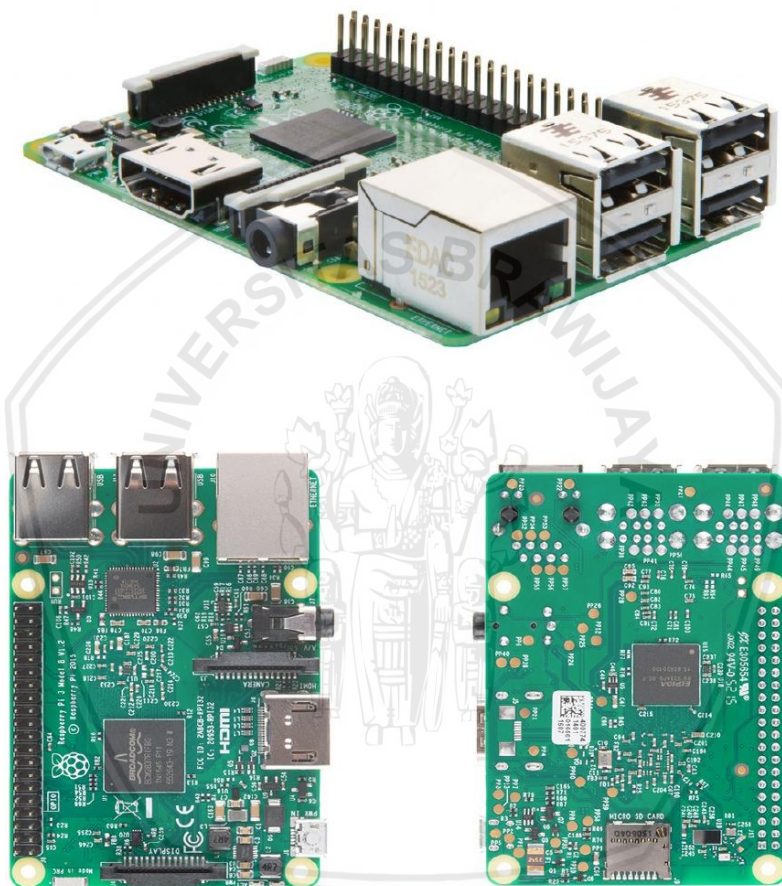
element14



element14

<http://uk.farnell.com/buy-raspberry-pi><http://www.newark.com/buy-raspberry-pi>

RASPBERRY PI 3 MODEL B



Product Name: RASPBERRYPI3-MODB-1GB



element14



element14

<http://uk.farnell.com/buy-raspberry-pi>
<http://www.newark.com/buy-raspberry-pi>

Technical Specification:

Processor

- Broadcom BCM2387 chipset.
- 1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53 (64Bit)

802.11 b/g/n Wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and LE)

- IEEE 802.11 b / g / n Wi-Fi. Protocol: WEP, WPA WPA2, algorithms AES-CCMP (maximum key length of 256 bits), the maximum range of 100 meters.
- IEEE 802.15 Bluetooth, symmetric encryption algorithm Advanced Encryption Standard (AES) with 128-bit key, the maximum range of 50 meters.

GPU

- Dual Core Video Core IV® Multimedia Co-Processor. Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated Open VG, and 1080p30 H.264 high-profile decode.
- Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure

Memory

- 1GB LPDDR2

Operating System

- Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system or Windows 10 IoT

Dimensions

- 85 x 56 x 17mm

Power

- Micro USB socket 5V1, 2.5A

Connectors:

Ethernet

- 10/100 BaseT Ethernet socket

Video Output

- HDMI (rev 1.3 & 1.4)
- Composite RCA (PAL and NTSC)

Audio Output

- Audio Output 3.5mm jack
- HDMI
- USB 4 x USB 2.0 Connector

GPIO Connector

- 40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip
- Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines

Camera Connector

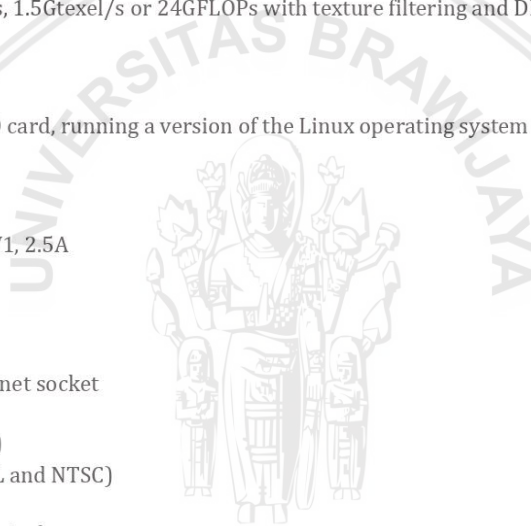
- 15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)

Display Connector

- Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane

Memory Card Slot

- Push/pull Micro SDIO



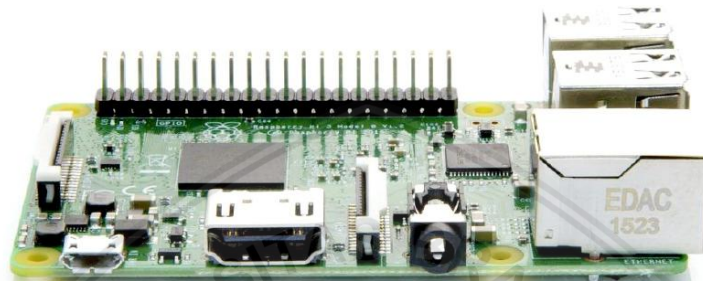


<http://uk.farnell.com/buy-raspberry-pi>



<http://www.newark.com/buy-raspberry-pi>

The GPU provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated Open VG, and 1080p30 H.264 high-profile decode and is capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24 GFLOPs of general purpose compute. What's that all mean? It means that if you plug the Raspberry Pi 3 into your HDTV, you could watch BluRay quality video, using H.264 at 40Mbits/s



The biggest change that has been enacted with the Raspberry Pi 3 is an upgrade to a next generation main processor and improved connectivity with Bluetooth Low Energy (BLE) and BCM43143 Wi-Fi on board. Additionally, the Raspberry Pi 3 has improved power management, with an upgraded switched power source up to 2.5 Amps, to support more powerful external USB devices.



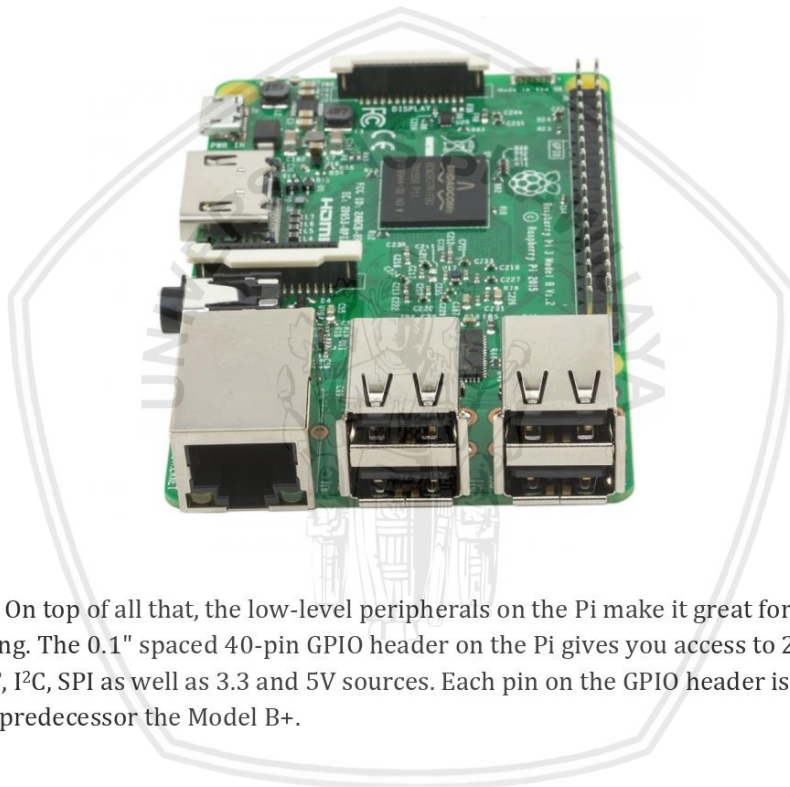


<http://uk.farnell.com/buy-raspberry-pi>



<http://www.newark.com/buy-raspberry-pi>

The Raspberry Pi 3's four built-in USB ports provide enough connectivity for a mouse, keyboard, or anything else that you feel the RPi needs, but if you want to add even more you can still use a USB hub. Keep in mind, it is recommended that you use a powered hub so as not to overtax the on-board voltage regulator. Powering the Raspberry Pi 3 is easy, just plug any USB power supply into the micro-USB port. There's no power button so the Pi will begin to boot as soon as power is applied, to turn it off simply remove power. The four built-in USB ports can even output up to 1.2A enabling you to connect more power hungry USB devices (This does require a 2Amp micro USB Power Supply)



On top of all that, the low-level peripherals on the Pi make it great for hardware hacking. The 0.1" spaced 40-pin GPIO header on the Pi gives you access to 27 GPIO, UART, I²C, SPI as well as 3.3 and 5V sources. Each pin on the GPIO header is identical to its predecessor the Model B+.

SoC

Built specifically for the new Pi 3, the Broadcom BCM2837 system-on-chip (SoC) includes four high-performance ARM Cortex-A53 processing cores running at 1.2GHz with 32kB Level 1 and 512kB Level 2 cache memory, a VideoCore IV graphics processor, and is linked to a 1GB LPDDR2 memory module on the rear of the board.



GPIO

The Raspberry Pi 3 features the same 40-pin general-purpose input-output (GPIO) header as all the Pis going back to the Model B+ and Model A+. Any existing GPIO hardware will work without modification; the only change is a switch to which UART is exposed on the GPIO's pins, but that's handled internally by the operating system.



Pin	Name	Signal	Pin	Name	Signal
1	3.3V	3.3V	26	GPIO14	GPIO14
2	5V	5V	27	GPIO15	GPIO15
3	GPIO0	GPIO0	28	GPIO16	GPIO16
4	GPIO1	GPIO1	29	GPIO17	GPIO17
5	Ground	Ground	30	GPIO18	GPIO18
6	GPIO2	GPIO2	31	GPIO19	GPIO19
7	GPIO3	GPIO3	32	GPIO20	GPIO20
8	Ground	Ground	33	GPIO21	GPIO21
9	GPIO4	GPIO4	34	GPIO22	GPIO22
10	GPIO5	GPIO5	35	GPIO23	GPIO23
11	GPIO6	GPIO6	36	GPIO24	GPIO24
12	GPIO7	GPIO7	37	GPIO25	GPIO25
13	GPIO8	GPIO8	38	GPIO26	GPIO26
14	GPIO9	GPIO9	39	GPIO27	GPIO27
15	GPIO10	GPIO10	40	GPIO28	GPIO28
16	GPIO11	GPIO11			
17	GPIO12	GPIO12			
18	GPIO13	GPIO13			
19	GPIO14	GPIO14			
20	GPIO15	GPIO15			
21	GPIO16	GPIO16			
22	GPIO17	GPIO17			
23	GPIO18	GPIO18			
24	GPIO19	GPIO19			
25	GPIO20	GPIO20			
26	GPIO21	GPIO21			
27	GPIO22	GPIO22			
28	GPIO23	GPIO23			
29	GPIO24	GPIO24			
30	GPIO25	GPIO25			
31	GPIO26	GPIO26			
32	GPIO27	GPIO27			
33	GPIO28	GPIO28			
34	GPIO29	GPIO29			
35	GPIO30	GPIO30			
36	GPIO31	GPIO31			
37	GPIO32	GPIO32			
38	GPIO33	GPIO33			
39	GPIO34	GPIO34			
40	GPIO35	GPIO35			

USB chip

The Raspberry Pi 3 shares the same SMSC LAN9514 chip as its predecessor, the Raspberry Pi 2, adding 10/100 Ethernet connectivity and four USB channels to the board. As before, the SMSC chip connects to the SoC via a single USB channel, acting as a USB-to-Ethernet adaptor and USB hub.



Antenna

There's no need to connect an external antenna to the Raspberry Pi 3. Its radios are connected to this chip antenna soldered directly to the board, in order to keep the size of the device to a minimum. Despite its diminutive stature, this antenna should be more than capable of picking up wireless LAN and Bluetooth signals – even through walls.



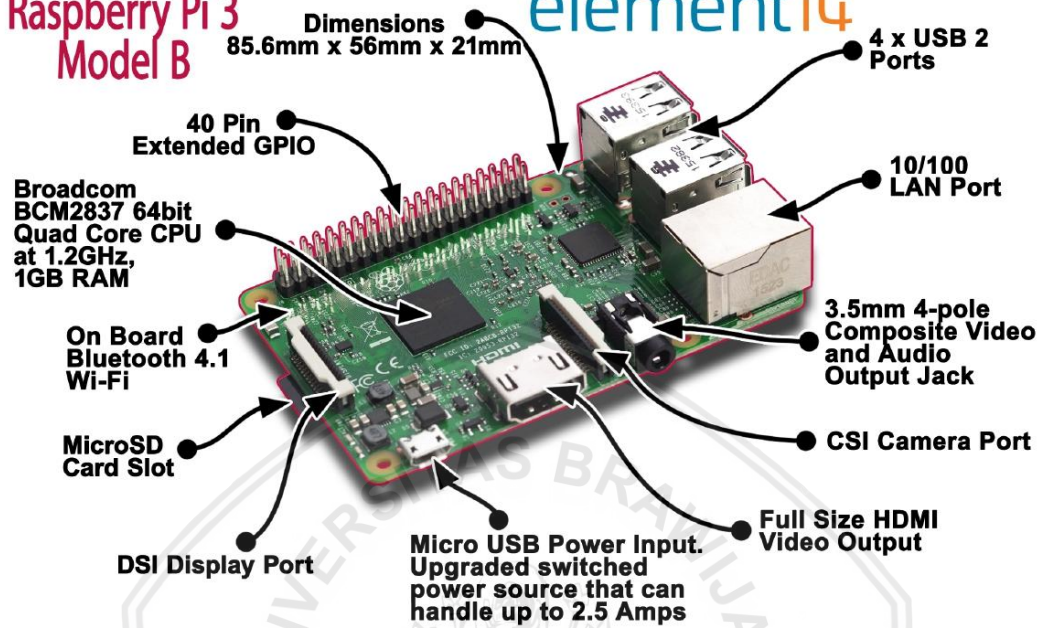


<http://uk.farnell.com/buy-raspberry-pi>



<http://www.newark.com/buy-raspberry-pi>

Raspberry Pi 3 Model B





element14



element14

<http://uk.farnell.com/buy-raspberry-pi>
<http://www.newark.com/buy-raspberry-pi>

Key Improvements from Pi 2 Model B to Pi 3 Model B:

- Next Generation QUAD Core Broadcom BCM2837 64bit ARMv7 processor
- Processor speed has increased from 900MHz on Pi 2 to 1.25Ghz on the RPi 3 Model B
- BCM43143 Wi-Fi on board
- Bluetooth Low Energy (BLE) on board
- Upgraded switched power source up to 2.5 Amps (can now power even more powerful devices over USB ports)

The main differences are the quad core 64-bit CPU and on-board Wi-Fi and Bluetooth. The RAM remains 1GB and there is no change to the USB or Ethernet ports. However, the upgraded power management should mean the Pi 3 can make use of more power hungry USB devices

For Raspberry Pi 3, Broadcom have supported us with a new SoC, BCM2837. This retains the same basic architecture as its predecessors BCM2835 and BCM2836, so all those projects and tutorials which rely on the precise details of the Raspberry Pi hardware will continue to work. The 900MHz 32-bit quad-core ARM Cortex-A7 CPU complex has been replaced by a custom-hardened 1.2GHz 64-bit quad-core ARM Cortex-A53

In terms of size it is identical to the B+ and Pi 2. All the connectors and mounting holes are in the same place so all existing add-ons, HATs and cases should fit just fine although the power and activity LEDs have moved to make room for the WiFi antenna.

The performance of the Pi 3 is roughly 50-60% faster than the Pi 2 which means it is ten times faster than the original Pi.

All of the connectors are in the same place and have the same functionality, and the board can still be run from a 5V micro-USB power adapter. This time round, we're recommending a 2.5A adapter if you want to connect power-hungry USB devices to the Raspberry Pi.

Raspberry Pi 3 Model B



Raspberry Pi 2 Model B





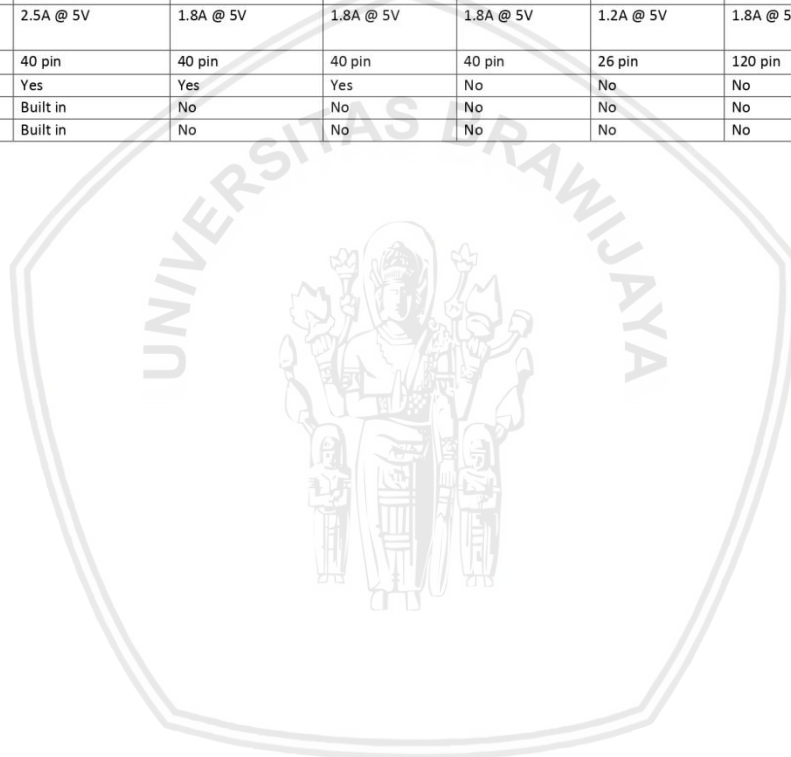
element14



element14

<http://uk.farnell.com/buy-raspberry-pi>
<http://www.newark.com/buy-raspberry-pi>

	Raspberry Pi 3 Model B	Raspberry Pi 2 Model B	Model B+	Model A+	Model A	CMDK
Processor Chipset	Broadcom BCM2837 64Bit ARMv7 Quad Core Processor powered Single Board Computer running at 1250MHz	Broadcom BCM2836 32bit ARMv7 Quad Core Processor powered Single Board Computer running at 900MHz	Broadcom BCM2835 32bit ARMv6 SoC full HD multimedia applications processor	Broadcom BCM2835 32bit ARMv6 SoC full HD multimedia applications processor	Broadcom BCM2835 32bit ARMv6 SoC full HD multimedia applications processor	Broadcom BCM2835 32bit ARMv6 SoC full HD multimedia applications processor
GPU	Videocore IV	Videocore IV	Videocore IV	Videocore IV	Videocore IV	Videocore IV
Processor Speed	QUAD Core @1250 MHz	QUAD Core @900 MHz	Single Core @700 MHz	Single Core @700 MHz	Single Core @700 MHz	Single Core @700 MHz
RAM	1GB SDRAM @ 400 MHz	1GB SDRAM @ 400 MHz	512 MB SDRAM @ 400 MHz	256 MB SDRAM @ 400 MHz	256 MB SDRAM @ 400 MHz	512 MB SDRAM @ 400 MHz
Storage	MicroSD	MicroSD	MicroSD	MicroSD	SDCard	4GB eMMC
USB 2.0	4x USB Ports	4x USB Ports	4x USB Ports	1x USB Port	1x USB Port	1x USB Port
Power Draw / voltage	2.5A @ 5V	1.8A @ 5V	1.8A @ 5V	1.8A @ 5V	1.2A @ 5V	1.8A @ 5V
GPIO	40 pin	40 pin	40 pin	40 pin	26 pin	120 pin
Ethernet Port	Yes	Yes	Yes	No	No	No
Wi-Fi	Built in	No	No	No	No	No
Bluetooth LE	Built in	No	No	No	No	No



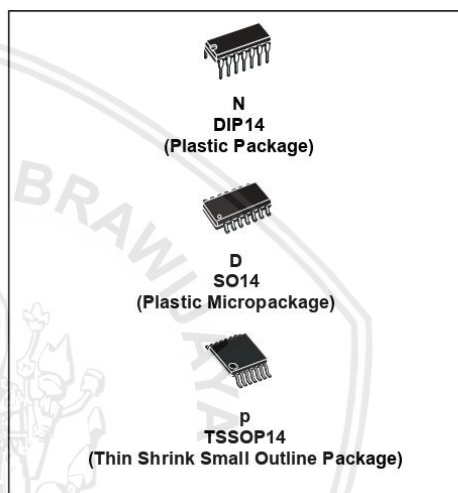
TL084



TL084
TL084A - TL084B

GENERAL PURPOSE J-FET QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL084, TL084A and TL084B are high speed J-FET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

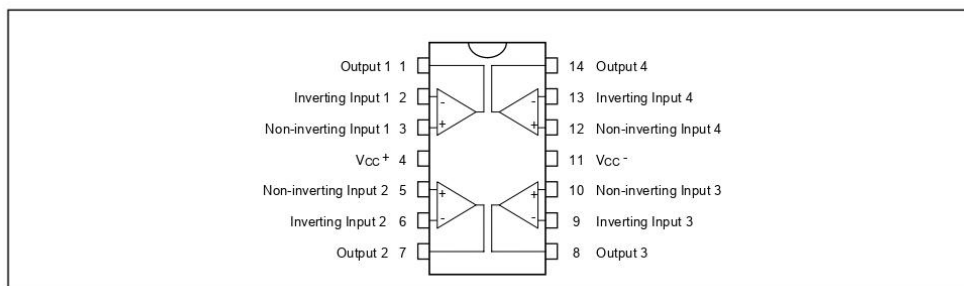
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
TL084M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•	•
TL084I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•	•
TL084C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•	•

Example : TL084CN, TL084CD

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

PIN CONNECTIONS (top view)

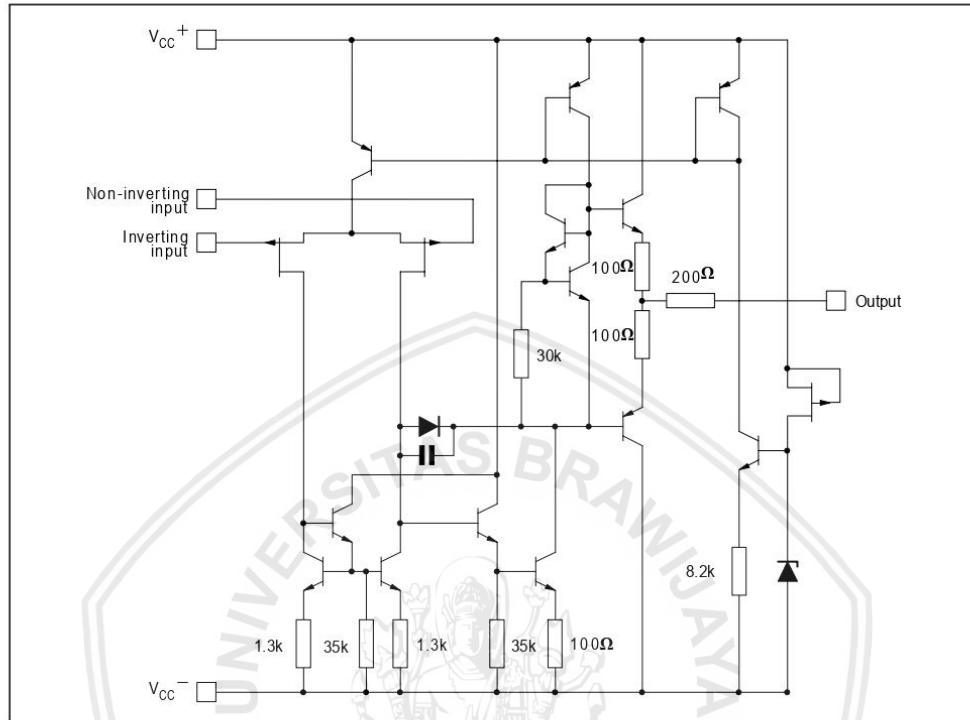


March 2001

1/12

TL084 - TL084A - TL084B

SCHEMATIC DIAGRAM (each amplifier)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL084M, AM, BM	TL084I, AI, BI	TL084C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note ¹⁾	± 18			V
V_i	Input Voltage - note ²⁾	± 15			V
V_{id}	Differential Input Voltage - note ³⁾	± 30			V
P_{tot}	Power Dissipation	680			mW
	Output Short-circuit Duration - note ⁴⁾	Infinite			
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

TL084 - TL084A - TL084B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL084I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL084C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ TL084 TL084A TL084B TL084 TL084A TL084B		3 3 1	10 6 3 13 7 5		3	10 13	mV
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 4		5	100 4	pA nA
I_{ib}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	200 20		20	400 20	pA nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{CC}	Supply Current, no load, per amplifier $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.4	2.5 2.5		1.4	2.5 2.5	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		± 11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{os}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 10	40	60 60	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ RL = 2k Ω RL = 10k Ω RL = 2k Ω RL = 10k Ω	10 12 10 12	12 13.5		10 12 10 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain	8	16		8	16		V/ μs
t_r	Rise Time ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		0.1			0.1		μs
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$	2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}			10^{12}		Ω

TL084 - TL084A - TL084B

Symbol	Parameter	TL084I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL084C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
THD	Total Harmonic Distortion ($T_{amb} = +25^{\circ}\text{C}$), $f = 1\text{kHz}$, $R_L = 2\text{k}\Omega$, $C_L = 100\text{pF}$, $A_v = 20\text{dB}$, $V_o = 2V_{pp}$		0.01			0.01		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$, $f = 1\text{kHz}$		15			15		$\frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
ϕ_m	Phase Margin		45			45		degrees
V_{o1}/V_{o2}	Channel Separation $A_v = 100$		120			120		dB

1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.



TL084 - TL084A - TL084B

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

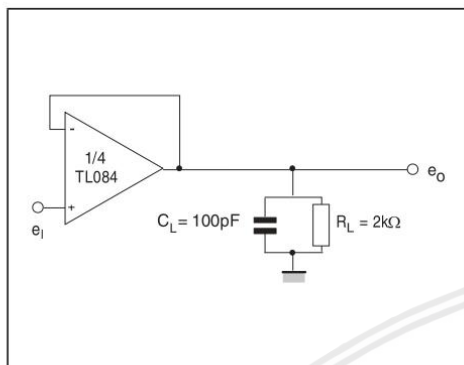
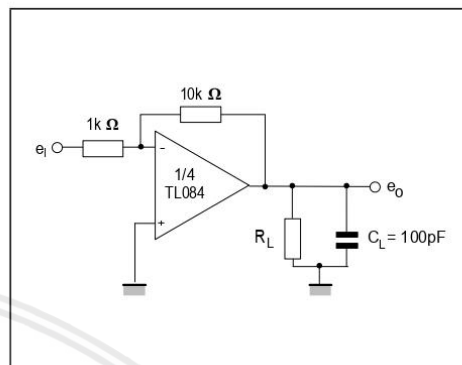
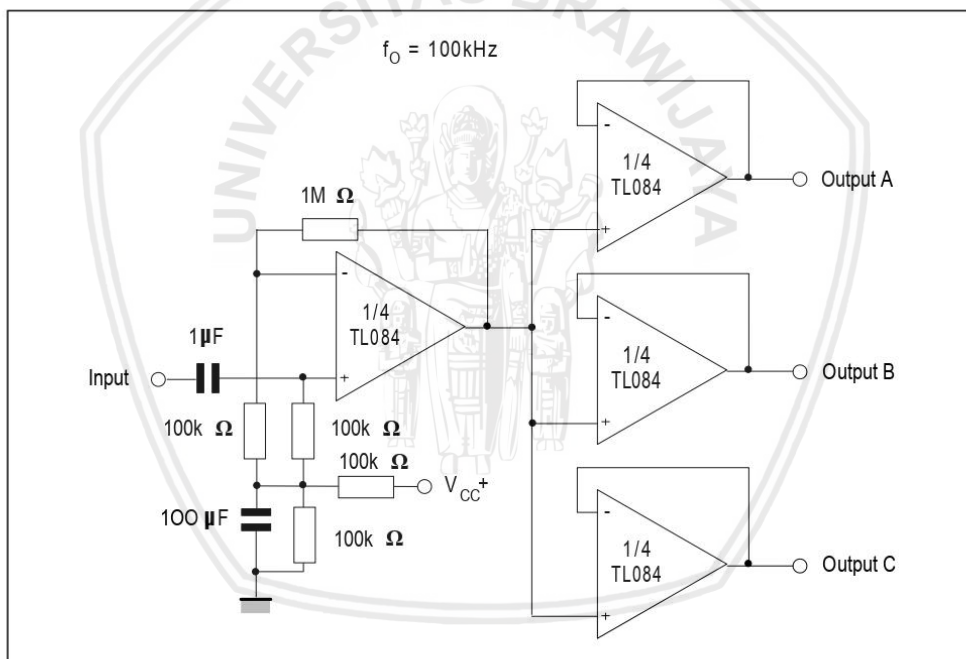


Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier

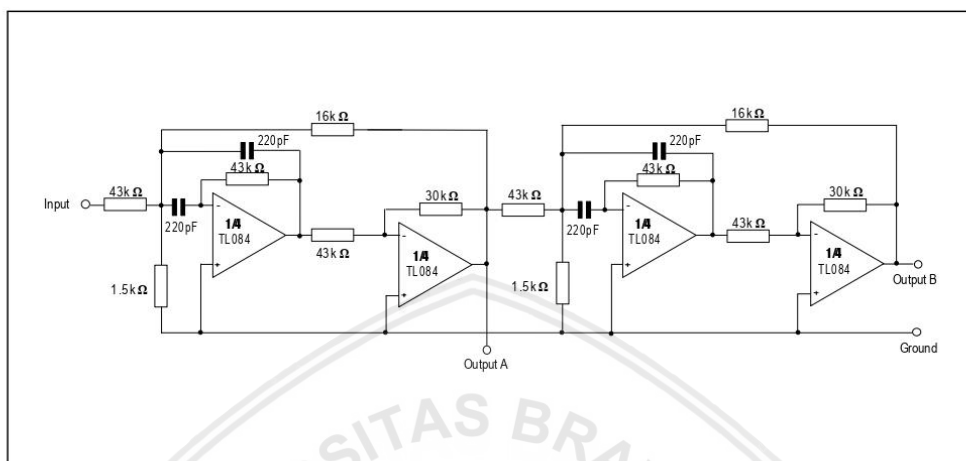


TYPICAL APPLICATIONS AUDIO DISTRIBUTION AMPLIFIER

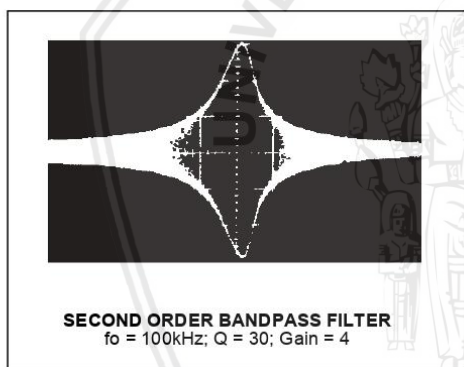


TYPICAL APPLICATIONS (continued)

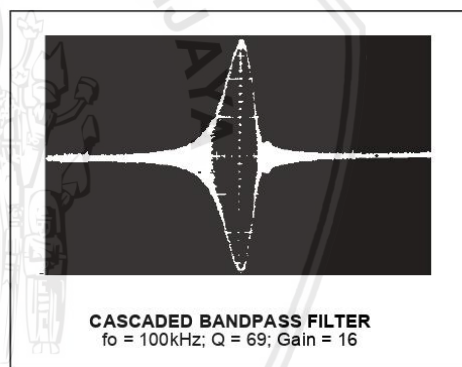
POSITIVE FEEDBACK BANDPASS FILTER



OUTPUT A

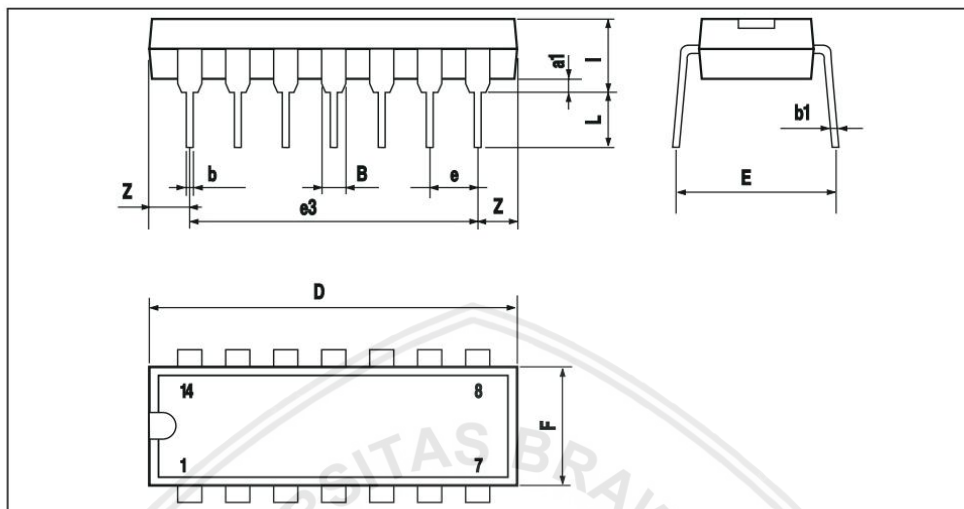


OUTPUT B



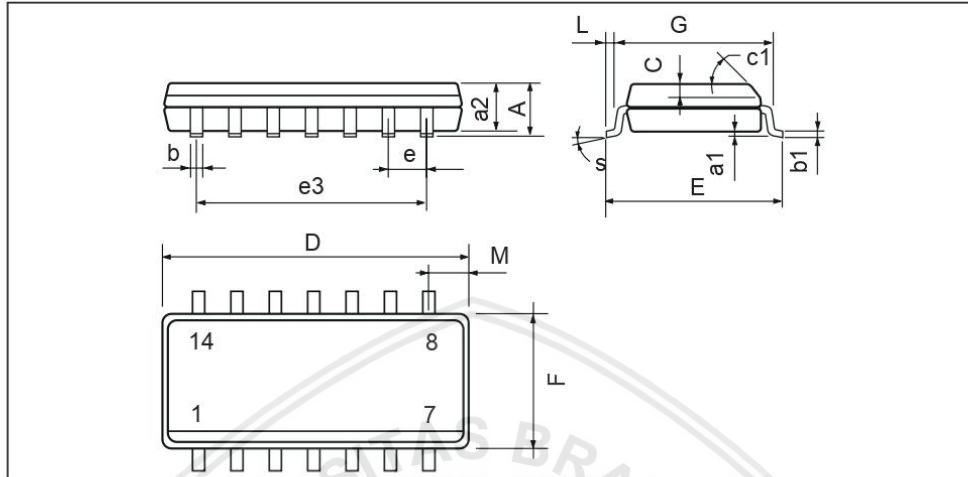
TL084 - TL084A - TL084B

PACKAGE MECHANICAL DATA
14 PINS - PLASTIC DIP



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
i			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100

PACKAGE MECHANICAL DATA
14 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



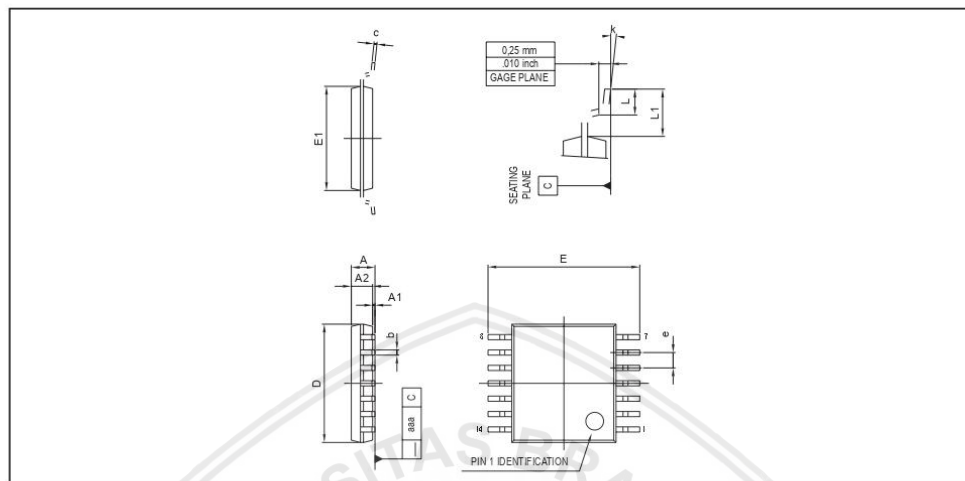
Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.2	0.004		0.008
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1			45° (typ.)			
D (1)	8.55		8.75	0.336		0.344
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		7.62			0.300	
F (1)	3.8		4.0	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.208
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.68			0.027
S			8° (max.)			

Note : (1) D and F do not include mold flash or protrusions - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (.066 inc) ONLY FOR DATA BOOK.

TL084 - TL084A - TL084B

PACKAGE MECHANICAL DATA

14 PINS - THIN SHRINK SMALL OUTLINE PACKAGE



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.20			0.05
A1	0.05		0.15	0.01		0.006
A2	0.80	1.00	1.05	0.031	0.039	0.041
b	0.19		0.30	0.007		0.15
c	0.09		0.20	0.003		0.012
D	4.90	5.00	5.10	0.192	0.196	0.20
E		6.40			0.252	
E1	4.30	4.40	4.50	0.169	0.173	0.177
e		0.65			0.025	
k	0°		8°	0°		8°
l	0.50	0.60	0.75	0.09	0.0236	0.030

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom

© <http://www.st.com>