

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Electrocardiogram (ECG) merupakan sinyal fisiologis yang dihasilkan oleh aktifitas kelistrikan jantung. Sinyal ini direkam menggunakan perangkat *electrocardiograph*. Perangkat ECG yang dipasaran terdiri dari elektroda, penguat biopotensial, filter, perangkat pengolahan sinyal dan perangkat peraga seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1.

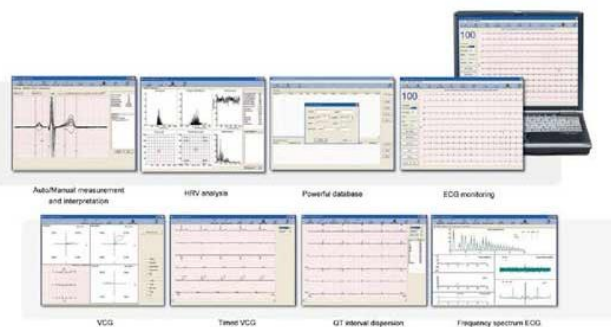


Gambar 2.1. Perangkat ECG.

Sumber : electronicproduct.com

Perangkat ini bermacam-macam bentuknya sesuai dengan kepentingan perekaman sinyal ECG yang dilakukan. Misalnya untuk *standard clinical ECG*, menggunakan 12 elektroda, dan peraga biasanya berupa kertas rekam ECG, sedangkan untuk *monitoring ECG*, digunakan 1 atau 2 elektroda dengan peraga berupa sinyal yang ditampilkan pada CRT. Perangkat ini relatif mahal karena produksi yang terbatas serta penggunaan yang cukup spesifik, maka untuk menekan biaya, produsen menggantikan layar LCD dengan printer.

ECG yang lebih murah untuk keperluan pendidikan menggunakan perangkat ECG berbasis PC. Perangkat ini dapat digunakan untuk keperluan *monitoring ECG* dengan menggunakan *lead I, II* atau *III* seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2. ECG Berbasis PC

Sumber : electronicproduct.com

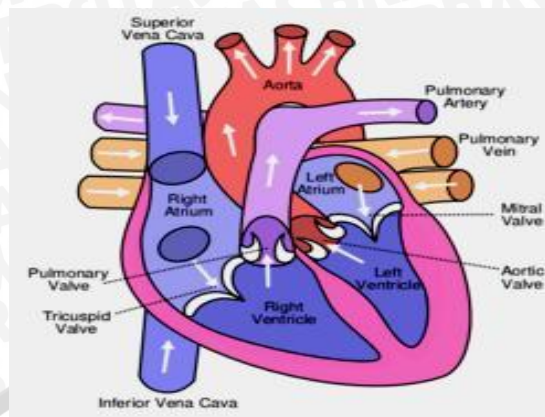
Penjelasan dan uraian teori penunjang yang digunakan dalam penelitian ini diperlukan untuk mempermudah pemahaman tentang cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan alat ini.

Teori-teori penunjang yang dijelaskan dalam bab ini meliputi:

- 1) Sinyal Biopotensial Jantung
- 2) Elektrokardiograf
- 3) Titik-titik Sadapan EKG
- 4) Sensor EKG
- 5) *Heart Rate*
- 6) Op-Amp
- 7) Aplikasi Op-Amp
- 8) Penguat Instrumentasi INA 121
- 9) Penguat Isolasi ISO 122
- 10) Filter
- 11) Penapis *State Variabel*
- 12) Penapis *State Variabel* UAF 42
- 13) Mikrokontroler LPC 2138
- 14) Televisi

2.1. Sinyal Biopotensial Jantung

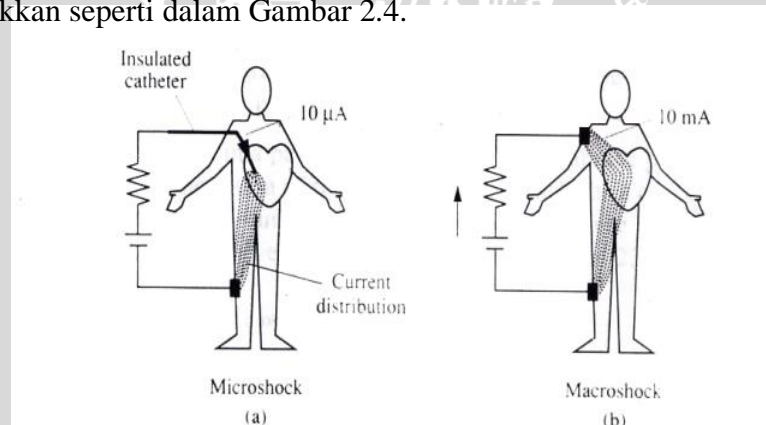
Jantung merupakan organ tubuh yang tersusun dari serabut otot yang membentuk empat ruangan, seperti terlihat dalam Gambar 2.3. Ruangan atas disebut atrium kanan dan atrium kiri, dan yang bawah disebut ventrikel kanan dan ventrikel kiri. Diantara atrium dan ventrikel terdapat katup (*valve*). Katup tersebut dapat dilewati darah hanya dalam satu arah saja yaitu dari atrium ke ventrikel. Atrium kanan berhubungan dengan *vena cava* yang berfungsi menampung darah dari seluruh tubuh. Atrium kiri berhubungan dengan *pulmonary vein* yang berfungsi menampung darah dari paru-paru. Ventrikel kanan berhubungan dengan *pulmonary artery* melalui *pulmonary valve*, berfungsi menampung darah dari atrium kanan dan memompakannya ke paru-paru. Ventrikel kiri terhubung ke aorta melalui *aortic valve*, berfungsi menampung darah dari atrium kiri dan memompakannya ke seluruh tubuh. (D.Jenning,A.Flint).



Gambar 2.3. Ilustrasi Bagian-bagian Jantung

Sumber : D.Jenning,A.Flint, 1995

Kejutan listrik dibedakan dalam dua jenis, yaitu *macroshock* dan *microshock*. *Macroshock* adalah kejutan listrik yang terjadi pada permukaan tubuh dengan arus sebesar 10mA, dan tidak membahayakan. Sedangkan *microshock* adalah sengatan listrik yang terjadi pada permukaan jantung dengan arus sebesar 10 μ A dan menyebabkan kematian. *Macroshock hazard* dan *microshock hazard* dapat ditunjukkan seperti dalam Gambar 2.4.



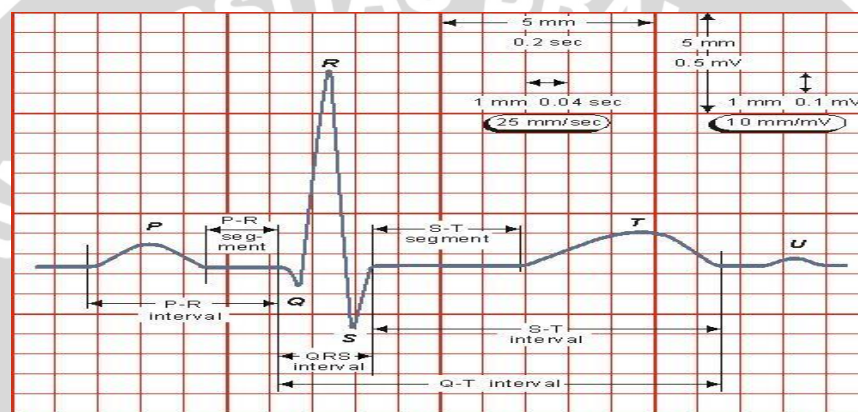
Gambar 2.4. Microshock & Macroshock Hazard

Sumber : Webster, 2005

2.2. Elektrokardiograf

Elektrokardiograf atau EKG adalah suatu alat dengan elektrode yang terpasang di permukaan kulit yang digunakan untuk mengamati aktivitas listrik otot jantung. Untuk mendapatkan sinyal jantung manusia dilakukan dengan cara penempelan sadapan di tubuh manusia. Pengukuran ECG ini adalah pengukuran

sinyal listrik dari kulit tubuh. Sinyal listrik ini ditimbulkan karena aliran darah yang dipompa oleh jantung. Dari permukaan kulit di dada atau kulit di kaki dan tangan sudah bisa mewakili sinyal jantung. Beda antara peletakan sadapan ECG di dada dan di tangan dan kaki adalah hanya pada besar dan kecilnya (amplitudo) dari sinyal, sedangkan bentuk sinyalnya tetap sama. Dalam EKG ada dua variabel yang digunakan yaitu waktu dan tegangan. Variabel waktu dinyatakan dalam arah mendatar, dan variabel tegangan dalam arah tegak. Skala untuk variabel waktu adalah 0,04s/mm atau 25mm/s. Skala untuk tegangan adalah 0,1mv/mm atau 10mm/mv. Ukuran dan skala kertas rekaman EKG dapat dilihat dalam Gambar 2.5.



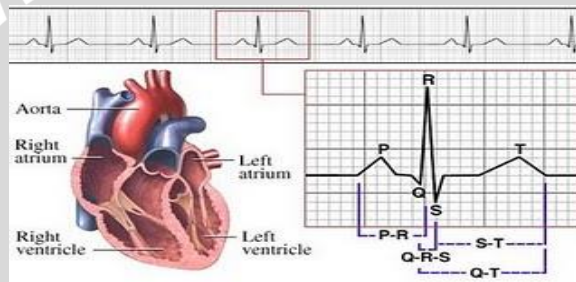
Gambar 2.5. Ukuran dan Skala Kertas Rekaman EKG

Sumber : Webster, 2005

1. Gelombang P mempunyai amplitudo kurang dari 0,3 mV dan perioda kurang dari 0,11 detik
2. Gelombang Q mempunyai amplitudo sebesar minus 25% dari amplitudo gelombang R
3. Gelombang R mempunyai amplitudo maksimum 3 mV
4. Gelombang S merupakan defleksi negatif sesudah gelombang R
5. Kompleks QRS terdiri dari gelombang Q, R, dan S yang memiliki perioda rata-rata 0,08 detik
6. Gelombang T mempunyai amplitudo minimum 0,1 mV (Rizal, 2008)

Tiap-tiap siklus jantung seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5 dalam EKG terdiri atas beberapa komponen, yang diberi nama berdasarkan definisi sebagai berikut:

- Gelombang P adalah defleksi positif pertama sebelum kompleks QRS.
- Interval PR diukur dari permulaan gelombang P sampai permulaan defleksi garis isoelektrik berikutnya.
- Kompleks QRS, terdiri atas tiga gelombang yaitu Q, R, dan S. Gelombang Q adalah defleksi negatif pertama. Gelombang R adalah defleksi positif pertama sesudah gelombang P. Gelombang S adalah defleksi negatif yang menyertai gelombang R.
- Segment ST adalah bagian garis yang berlanjut dari ujung gelombang S sampai permulaan gelombang T.
- Gelombang T adalah defleksi dapat positif atau negatif yang mengiringi segment ST.

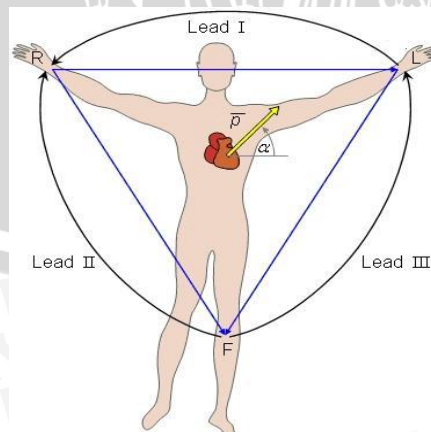


Gambar 2.6. Siklus Jantung

Sumber : Webster, 2005

2.3. Titik Sadapan EKG

Untuk keperluan monitoring, maka digunakan metode *1-lead*, menurut Einthoven yang terdiri dari tiga sadapan yaitu sadapan I, II, dan III seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Sadapan Einthoven

Sumber : Webster, 2005

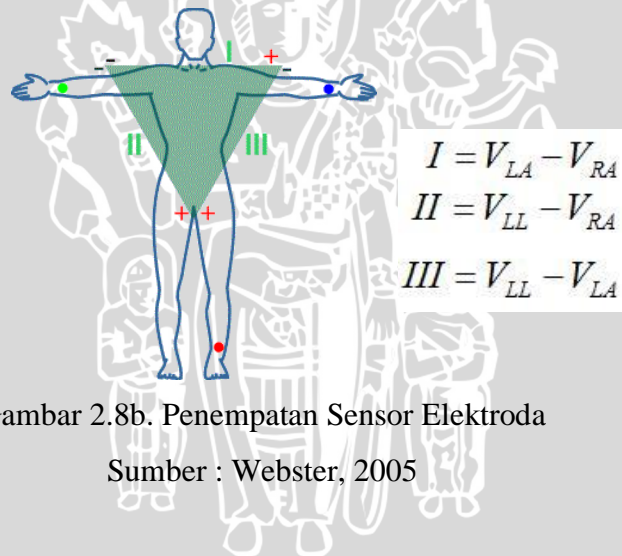
2.4. Sensor EKG

Fungsi dasar dari elektroda adalah mendeteksi sinyal kelistrikan jantung. Fungsi dari transduser adalah untuk mengkonversi informasi biologis menjadi sinyal elektrik yang dapat diukur. Transduser ini dipakai dengan menggunakan interface *jelly electrode-electrolyte*. Beberapa contoh sensor EKG dan teknik monitoring EKG dalam penempatan elektroda ditunjukkan dalam Gambar 2.8a dan Gambar 2.8b.



Gambar 2.8a. Sensor ECG

Sumber : Webster, 2005



Gambar 2.8b. Penempatan Sensor Elektroda

Sumber : Webster, 2005

2.5. Heart Rate

Heart Rate adalah ukuran untuk menyatakan kecepatan denyut jantung, yang dinyatakan dalam jumlah denyut per menit (*beat per menit - bpm*). *Heart rate* dapat diperoleh dari EKG dengan menghitung jumlah gelombang R selama satu menit.

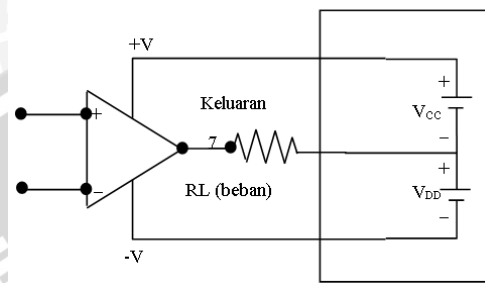
2.6. Op- Amp

Op-Amp adalah suatu rangkaian penguat yang menerima sebuah isyarat masukan dan mengeluarkan isyarat yang identik dan lebih besar keluarannya.

Op-Amp mempunyai lima terminal dasar, dua untuk suplai daya, dua untuk masukan, dan 1 untuk keluaran.

2.6.1. Terminal Supply Daya Op-Amp

Suplai daya mempunyai tiga terminal : positif, negatif dan bumi (*ground*) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Hubungan suplai daya ke Op-Amp

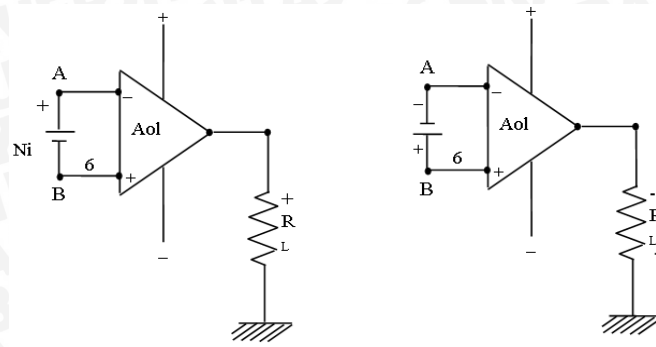
Sumber: Coughlin, Driscoll, 1987

Suplai bipolar terpisah mempunyai harga khas sebesar $+15\text{v}$, $\pm 12\text{v}$ dan $\pm 16\text{v}$. Pada Op-Amp khusus memerlukan suplai tak simetris. Arus yang kembali dari Op-Amp ke suplai harus kembali melalui elemen - elemen rangkaian luar seperti tahanan beban RL. Tegangan suplai maksimum yang dapat diterapkan antara $+V$ dan $-V$ biasanya 36 V atau $\pm 18\text{ V}$. (Coughlin, Driscoll, 1987)

2.6.2. Terminal Keluaran dan Masukan

Op-Amp memiliki satu terminal keluaran disebut keluaran berujung tunggal. Batas arus yang dapat dialirkan melalui terminal keluaran sebesar 5-10 mA. Taraf tegangan terminal keluaran maksimum positif disebut $+V_{\text{sat}}$, dan batas bawahnya disebut tegangan negatif disebut $-V_{\text{sat}}$.

Dalam sebuah Op-Amp, dua terminal masukan bertanda $-$ dan $+$ keduanya disebut terminal-terminal masukan diferensial karena tegangan keluaran V_o tergantung pada perbedaan tegangan antara kedua terminal tersebut (E_d) dan $Gain$ dari penguatannya (A_{ol}) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.10



Gambar 2.10. Polaritas Vo

Sumber : Coughlin, Driscoll, 1987

- ✓ Vo menjadi positif bila masukan positifnya positif terhadap masukan negatifnya.
- ✓ Vo menjadi negatif bila masukan positifnya negatif terhadap masukan negatifnya.

E_d = Beda tegangan pada masukan positif dengan tegangan pada masukan negatif.

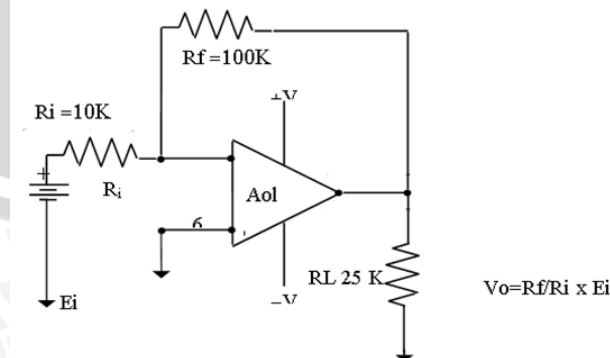
Tegangan keluaran = Perbedaan tegangan masukan x Gain untai terbuka.

$$V_o = E_d \times A_{ol} \quad (2-1)$$

2.7. Aplikasi Op- Amp

2.7.1. Penguat Membalik

Rangkaian penguat membalik adalah penguat yang paling luas digunakan dan gainnya ditentukan oleh perbandingan R_f dan R_i , dan dapat memperkuat isyarat AC maupun DC seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.11. Rangkaian Penguat Membalik

Sumber : Coughlin, Driscoll, 1987

Tegangan positif E_i masuk lewat *input inverting*. Umpan balik negatif yang dibuat oleh tahanan umpan balik R_f . Tegangan antara masukan (+) dan (-) pada dasarnya sama dengan 0 V. Maka arus I yang melalui R_i didapat dari hukum Ohm.

$$I = \frac{E_i}{R_i} \quad (2-2)$$

Seluruh arus masukan I mengalir melalui R_f , karena jumlah yang dialirkan oleh terminal masukan (-) nya dapat diabaikan, arus yang mengalir melalui R_f ditentukan oleh R_i dan E_i . (Coughlin, Driscoll, 1987)

$$V_{Rf} = I \times R_f = \frac{E_i}{R_i} R_f \quad (2-3)$$

$$V_o = E_i \frac{R_f}{R_i} \quad (2-4)$$

$$A_{cl} = \frac{V_o}{E_i} = \frac{R_f}{R_i} R_f \quad (2-5)$$

2.7.2. Penguat Tak Membalik

Adalah rangkaian penguat dimana tegangan keluarannya V_o mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan input E_i . Rangkaian penguat tak membalik ditunjukkan dalam Gambar 2.12. Tahanan masukan dari pembalik adalah R_i , tetapi impedansi masukan dari penguat tak membalik biasanya melebihi 100 M Ω . Karena tegangan antara input inverting (-) dan input non inverting (+) adalah 0, kedua input tersebut berada pada potensial E_i dan

$$I = \frac{E_i}{R_i} \quad (2-6)$$

Arus mengalir melalui R_f dan penurunan tegangan pada R_f dinyatakan oleh

$$V_{Rf} = I (R_f) = \frac{R_f}{R_i} \times E_i \quad (2-7)$$

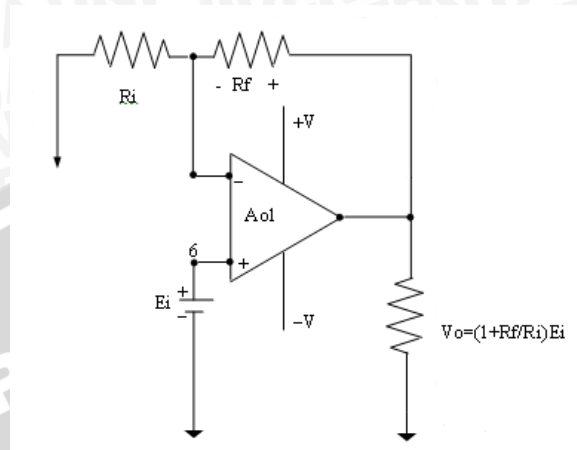
Tegangan keluaran V_o didapat dengan membalikkan penurunan tegangan melintasi R_i , yaitu E_i ke tegangan yang melintasi R_f yaitu V_{Rf} :

$$V_o = E_i + \frac{R_f}{R_i} E_i \quad (2-8)$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_i} \right) E_i \quad (2-9)$$

Untuk mendapatkan gain tegangan :

$$A_{cl} = \frac{V_o}{E_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (2-10)$$



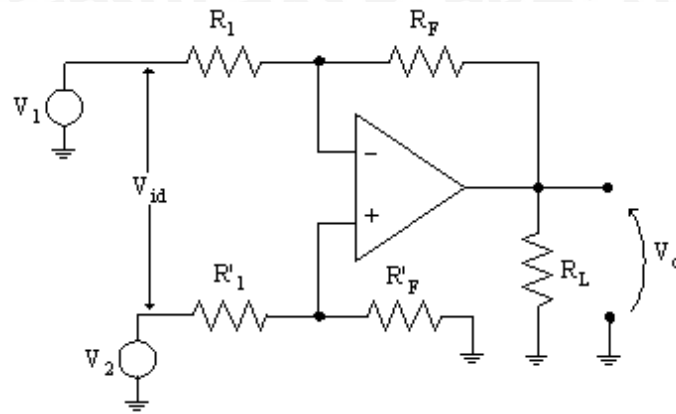
Gambar 2.12. Penguat Tak Membalik

Sumber : Coughlin, Driscoll, 1987

2.7.3. Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi pada hakekatnya adalah penguat diferensial yang dilengkapi dengan penguat penyangga (*voltage follower*) pada tingkat masukannya (*input stage*). Hal ini berdampak meningkatkan resistansi input.

Penguat diferensial dipilih karena kemampuannya dalam menyingkirkan sinyal mode common, sehingga dapat mengurangi pengaruh noise atau interferensi yang mengganggu sinyal EKG. Noise masuk ke dalam penguat diferensial dalam bentuk *common mode* (sefasa), sementara sinyal EKG masuk ke penguat dalam bentuk *diffrensial mode*. Dengan demikian, sinyal EKG akan diperkuat dengan penguatan mode diferensial yang nilainya relatif besar, sementara itu noise akan diperkuat dengan penguatan mode common yang nilainya relatif kecil. Pada saat keluar dari penguat diferensial, sinyal EKG akan mempunyai nilai yang jauh lebih besar dibanding dengan noise, sehingga pengaruh noise tersebut akan dapat diabaikan. Rangkaian penguat diferensial diperlihatkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Rangkaian Penguat Diferensial Dasar

Sumber : Coughlin, Driscoll, 1987

Pada penguat diferensial input V_1 dan V_2 dikuatkan sama besar tetapi berlawanan polaritasnya. Untuk memenuhi kondisi ini maka ditentukan persyaratan sebagai berikut :

$$R_1 = R_1' \text{ dan } R_f = R_f'$$

Dengan algoritma yang sama pada penurunan rumus pada penguat penjumlah maka output penguat diferensial adalah:

$$V_o = V_2 \left[\frac{R_f'}{R_f' + R_1'} \right] \left[\frac{R_1 + R_f}{R_f} \right] - V_1 \frac{R_f}{R_1}$$

karena $R_f' = R_f$ dan $R_1' = R_1$

maka
$$V_o = V_2 \frac{R_f'}{R_1'} - V_1 \frac{R_f}{R_1}$$

$$V_o = (V_2 - V_1) \frac{R_f}{R_1}$$

Keunggulan dari penguat diferensial terletak pada tingginya nilai CMRR (*Common Mode Ratio Rejection*). CMRR adalah suatu nilai yang menyatakan perbandingan penguatan antara sinyal diferensial dengan sinyal *common*. Rumus CMRR dinyatakan dalam persamaan 2.12.

$$CMRR = 20 \log \frac{Ad}{Acm} \tag{2-11}$$

dimana :

Ad = Penguatan Diferensial

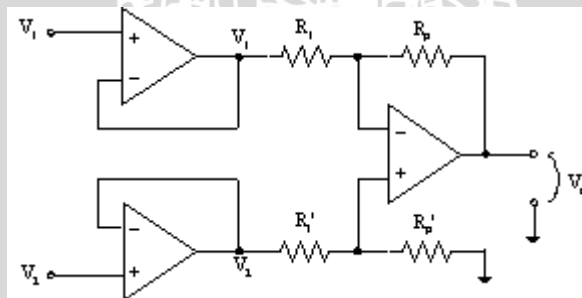


A_{cm} = Penguatan *Common Mode*

Persamaan tersebut diatas memperlihatkan bahwa penguat akan memperkuat sinyal mode diferensial (yaitu selisih tegangan pada masukannya) dengan penguatan sebesar R_f/R_1 dan memperkuat sinyal mode common dengan penguatan yang kecil (idealnya sama dengan nol). Dengan demikian hanya sinyal mode diferensial saja yang muncul pada keluaran penguat, sedang sinyal mode common-nya telah disingkirkan. Disamping memiliki keunggulan dalam menyingkirkan sinyal mode common, penguat diferensial dasar memiliki kekurangan yaitu impedansi masukannya relatif kecil dan nilai penguatannya sulit diubah tanpa mempengaruhi nilai CMRR.

Impedansi masukan yang tinggi diperlukan untuk mengurangi pengaruh ketidak-seimbangan dalam rangkaian elektrode, karena ketidakseimbangan ini akan dapat membuat *noise* masuk ke penguat dalam bentuk mode diferensial sehingga diperkuat dengan penguatan diferensial yang nilainya relatif besar. Untuk mengatasi hal ini maka di depan penguat diferensial dasar ditambahkan sebuah rangkaian penguat penyangga.

Dengan menggabungkan rangkaian penguat diferensial dasar dan rangkaian penguat penyangga maka akan diperoleh sebuah penguat diferensial yang mempunyai impedansi masukan yang sangat besar seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Penguat Instrumentasi dengan Penguatan Tetap

Sumber : Coughlin, Driscoll, 1987

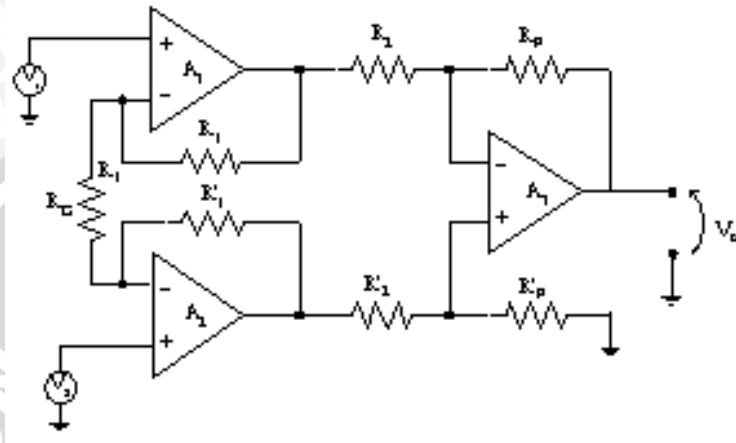
Jika ditentukan :

$$R_f = R_f' \text{ dan } R_1 = R_1', \text{ maka}$$

$$V_o = (V_2 - V_1) \frac{R_f}{R_1}$$

Namun jika diperlukan penguatan yang bersifat variabel maka perlu dilakukan modifikasi pada gambar 2.12 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.14.

$$\text{Dimana berlaku : } V_o = (V_2 - V_1) \frac{R_f}{R_2} \left(1 + \frac{2R_1}{R_G} \right)$$



Gambar 2.15. Penguat Instrumentasi dengan Penguatan Variabel

Sumber : Coughlin, Driscoll, 1987

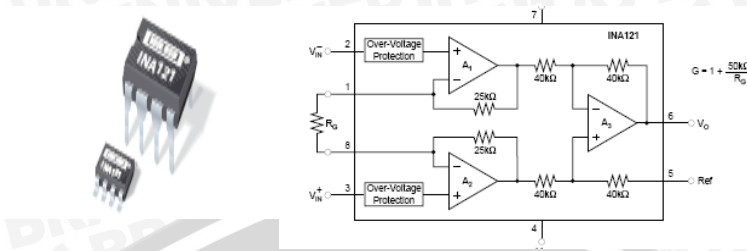
Nilai penguatannya dapat diubah dengan mudah tanpa mempengaruhi kemampuannya dalam menyingkirkan sinyal mode *common*. Gabungan kedua rangkaian penguat ini sering disebut sebagai penguat instrumentasi yang rangkaiannya diperlihatkan dalam Gambar 2.14.

2.8. Penguat Instrumentasi INA 121

INA 121 adalah penguat instrumentasi berakurasi tinggi dan berdaya rendah. Tingkat inputnya menggunakan FET sehingga memiliki impedansi input yang tinggi. Penguat instrumentasi ini dirancang dengan konsep tiga op-amp yang sangat kompak dan ideal untuk aplikasi umum serta memiliki arus bias input yang rendah.

Penguatan dapat diset antara 1 hingga 10.000 kali yang diatur melalui resistor eksternal. Dilengkapi dengan proteksi input internal yang dapat menahan tegangan input hingga $\pm 40V$ tanpa menimbulkan kerusakan. INA 121 dibuat dengan teknologi laser trimer, sehingga menghasilkan hanyutan offset yang

rendah. Rangkaian internal pada penguat instrumentasi INA seperti ditunjukkan dalam gambar 2.16.(Texas Instrument, 2007)



Gambar 2.16. Rangkaian Internal pada Penguat Instrumentasi INA121

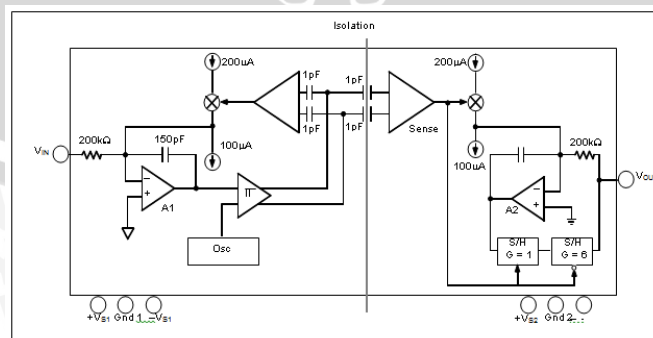
Sumber : Texas Instrument, 2007

Fitur dari Penguat Instrumentasi INA121 adalah sebagai berikut :

- Arus bias $\pm 4\mu\text{A}$
- Arus tanpa sinyal $\pm 450\mu\text{A}$
- Tegangan offset input $\pm 200\mu\text{V}$
- Hanyutan offset input $\pm 2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- CMRR 106 Db

2.9. Penguat Isolasi ISO 122

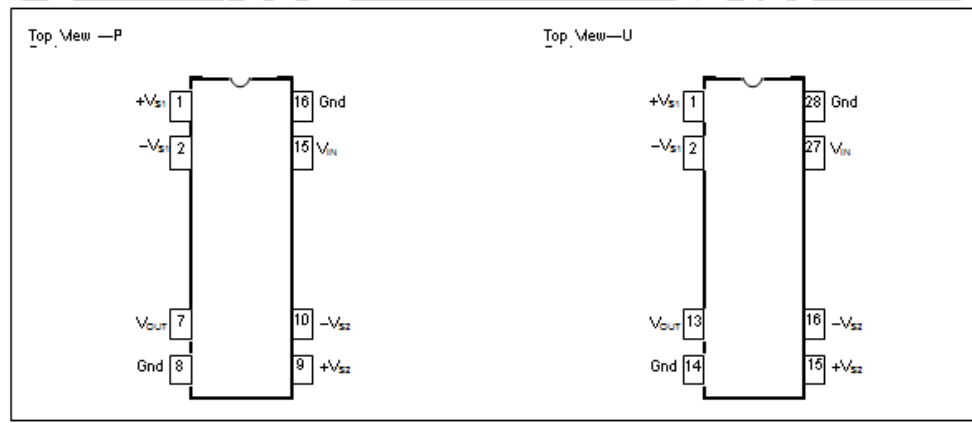
ISO 122 adalah penguat isolasi yang menggunakan teknik modulasi-demodulasi. Sinyal-sinyal ditransmisikan secara digital dipancarkan melalui kapasitor 1 pF dengan frekuensi barrier 50 KHz. Walau menggunakan teknik modulasi digital, hal ini tidak mengubah integritas sinyal yang berarti memberi cacat sinyal output yang sangat rendah. Diagram blok penguat isolasi ISO122 ditunjukkan dalam Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Diagram Blok Penguat Isolasi 122

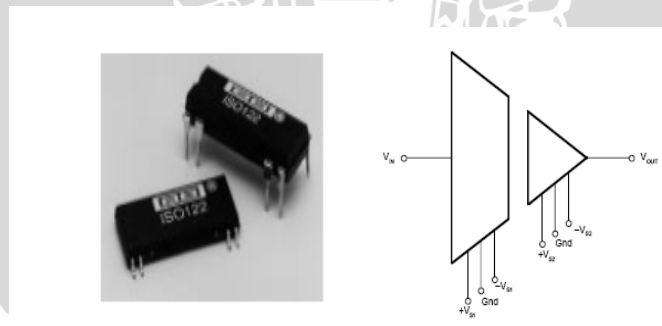
Sumber : Texas Instrument, 2007

Penguat isolasi ISO 122 memiliki input - output yang terhubung secara galvanik melalui kapasitor 1 pF yang dikemas dalam IC tersebut. Sinyal input dimodulasi secara PWM (*Pulse Width Modulation*) dan ditransmisikan secara digital melalui kapasitor, bagian unit output menerima sinyal modulasi dan mengubahnya menjadi sinyal analog dan menghilangkan komponen ripple yang terjadi pada proses demodulasi. Penguat isolasi digunakan untuk mencegah timbulnya ikal bumi (*ground loop*) dan bahaya kejutan listrik yang biasa disebut *microshock hazard* dan *macroschock hazard*. Simbol penguat isolasi ISO122 dan diagram penyemat ditunjukkan dalam Gambar 2.18a dan 2.18b. (Texas Instrument, 2007)



Gambar 2.18a. Diagram Penyemat pada ISO 122

Sumber : Texas Instrument, 2007



Gambar 2.18b. Simbol Penguat Instrumentasi ISO122

Sumber : Texas Instrument, 2007

Fitur dari Penguat Isolasi ISO122 adalah sebagai berikut :

- Tegangan tembus 1500 Vrms

- Isolation Mode Rejection (IMR) 140 dB pada 60 Hz
- Tegangan operasi $\pm 10V$
- Ketidaklinieran 0.020%
- Tegangan supply $\pm 4,5V$ hingga $\pm 18V$

2.10. Filter

Filter adalah suatu alat atau rangkaian atau substansi yang meneruskan atau meloloskan arus listrik pada frekuensi frekuensi atau jangkauan frekuensi tertentu serta menahan atau menghalangi frekuensi frekuensi lainnya. (Putra, 2002)

Filter dapat diklasifikasikan menurut fungsi yang ditampilkan, dalam jangkauan frekuensi, yaitu *passband* dan *stopband*. Dalam *pass band* ideal, *magnitude*-nya adalah 1 (= 0 dB), sementara pada *stop band*, *magnitude*-nya adalah nol.

Berdasarkan hal ini filter dapat dibagi menjadi 4.

1. Filter *Low Pass*, *pass band* berawal dari : $\omega = 2\pi f = 0$ rad/det sampai dengan $\omega = \omega_0$ rad/det, dimana ω_0 adalah frekuensi *cut-off*.
2. Filter *High Pass* merupakan kebalikan dari *low pass filter*, *stop band* berawal dari $\omega = 0$ rad/det sampai dengan $\omega = \omega_0$ rad/det, dimana ω_0 adalah frekuensi *cut-off*.
3. Filter *Band Pass* melewati frekuensi dari ω_1 rad/det sampai ω_2 radian/detik, sementara frekuensi lain ditolak.

Untuk penapis jenis ini dikenal istilah frekuensi tengah dan lebar pita (*Bandwidth*) dengan pengertian sebagai berikut :

- Frekuensi tengah (f_0) merupakan titik munculnya penguatan tegangan paling besar (maksimum).
- Lebar pita (*Bandwidth*) dari suatu penapis lolos pita adalah perbedaan antara frekuensi atas dan bawah di bawah penguatan tegangannya yaitu 0,707 kali dari nilai maksimum atau 3 dB lebih rendah dari penguatan tegangan frekuensi tengah seperti ditunjukkan dalam persamaan 2-12.

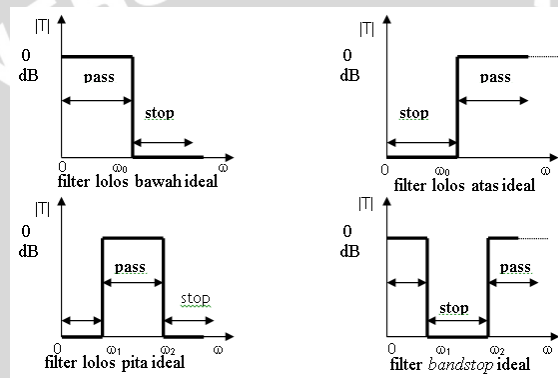
$$\text{Lebar pita} = f_H - f_L \quad (2-12)$$

Lebar pita (BW) dan frekuensi tengah (f_o) memiliki hubungan satu sama lainnya dengan faktor kualitas atau Q, seperti ditunjukkan dalam persamaan 2.16.

$$Q = \frac{f_o}{BW} \tag{2-13}$$

4. Filter *stop band* merupakan kebalikan dari filter *band pass*, menolak frekuensi dari ω_1 rad/det sampai ω_2 rad/det, sementara frekuensi lain diteruskan.

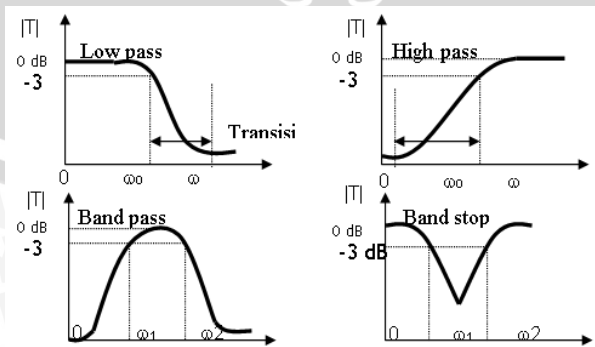
Karakteristik filter ideal dalam grafik *magnitude* terhadap frekuensi (dalam rad/det) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Karakteristik Filter Ideal

Sumber : Putra, Agfianto, 2002

Karakter filter riil tidaklah sama dengan karakter filter ideal. Dalam filter riil, frekuensi *cut-off* mempunyai *magnitude* -3 dB, bukan 0 dB. Pada filter riil juga terdapat pita transisi (*transition band*), yang kemiringannya dinyatakan dalam dB/oktav atau dB/dekade. Karakteristik filter riil ditunjukkan dalam Gambar 2.20.



Gambar 2.20. Karakteristik Filter Riil

Sumber : Putra, Agfianto, 2002

Menurut pemakaian komponen aktif, filter dapat dibedakan menjadi filter pasif dan filter aktif.

1. Filter Pasif

Yaitu filter yang tidak menggunakan komponen aktif. Komponen filter hanya terdiri dari komponen-komponen pasif yaitu tahanan (R), induktor (L) dan kapasitor (C), RC, LC atau RLC. Filter ini mempunyai beberapa kelemahan, antara lain:

- a. Relatif berukuran besar dan berat, khususnya filter yang menggunakan induktor (L)
- b. Non linieritas, khususnya untuk frekuensi rendah atau untuk arus yang cukup besar

2. Filter Aktif

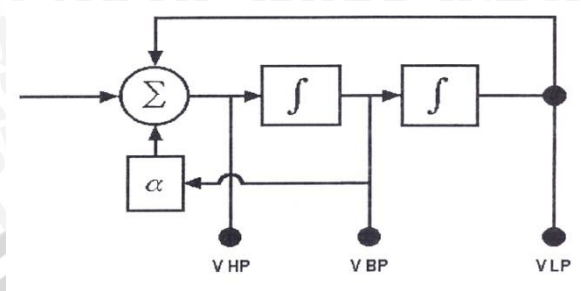
Yaitu filter yang menggunakan komponen aktif, biasanya transistor atau penguat operasi (*op-amp*). Kelebihan filter ini antara lain:

- a. Tidak ada sinyal yang hilang. Hal ini disebabkan karena penguat operasional mampu menyediakan penguatan atau *gain*, sehingga sinyal masukan tidak mengalami pelemahan (*atenuasi*) selama rangkaian meneruskan sinyal-sinyal dengan frekuensi yang dikehendaki.
- b. Memiliki impedansi masukan yang tinggi dan keluaran yang rendah, sehingga tidak ada interaksi antara penapis dengan sumber atau beban sinyal.
- c. Mudah diset untuk jangkauan frekuensi yang lebar tanpa mempengaruhi tanggap rangkaian yang telah ditentukan.
- d. Pembuatannya rata-rata lebih murah dibandingkan dengan penapis pasif, hal ini disebabkan karena pada rangkaian pasif menggunakan komponen induktor yang harganya jauh lebih mahal dan tidak selalu tersedia di pasaran. (Putra, 2002)

2.10.1. Penapis State Variabel

Dengan perangkaian yang tepat dari 3 buah *op-amp*, akan diperoleh output penapis lolos rendah (*low pass filter*) dan penapis lolos tinggi (*high pass filter*), serta penapis lolos jalur (*band pass filter*). Penapis terintegrasi ini

disebut sebagai *penapis state variable* atau penapis aktif universal. Prinsip *penapis state variable* terdiri atas penguat selisih dan dua buah integrator yang identik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.21.



Gambar 2.21. Diagram Blok Penapis State Variabel

Sumber : Putra, Agfianto, 2002

Rangkaian internal *penapis state variable* ditunjukkan dalam gambar 2.22 yang tersusun dari penguat selisih (A_1) dan dua buah integrator yang identik (A_2 dan A_3).

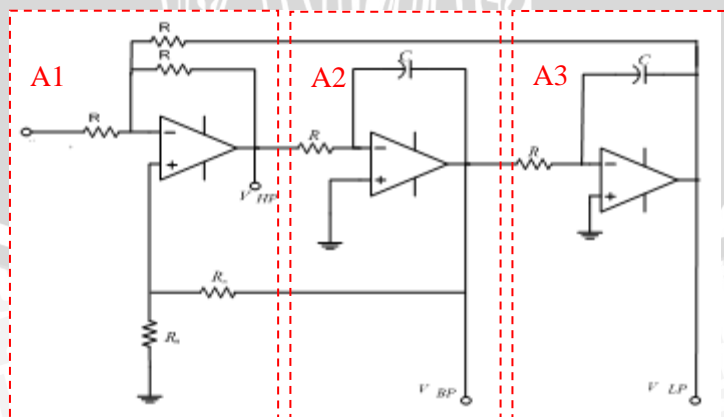
Untuk penapis semacam ini, frekuensi tengah sama dengan frekuensi potongnya, seperti ditunjukkan pada persamaan 2.14.

$$f_0 \text{ atau } f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Q (faktor kualitas) penapis ditentukan oleh tahanan R_A dan R_B dimana :

$$R_A = (3Q-1)R_B$$

Untuk output lolos rendah dan tinggi, penguatan pada *passband* adalah satu atau 0 dB. (Berlin, 1997)

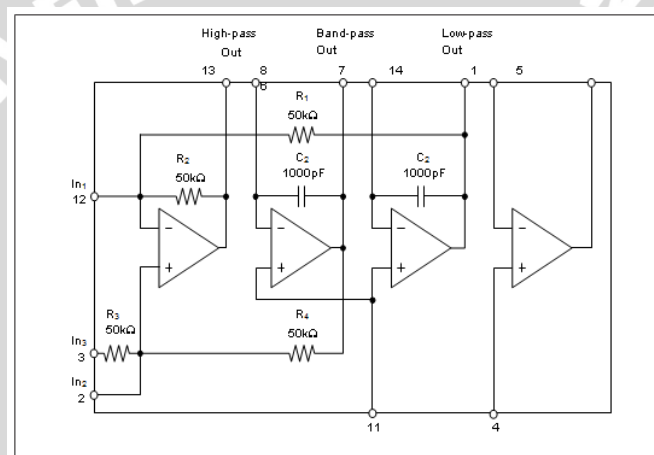


Gambar 2.22. Rangkaian Internal Penapis State Variabel

Sumber : Berlin, 1977

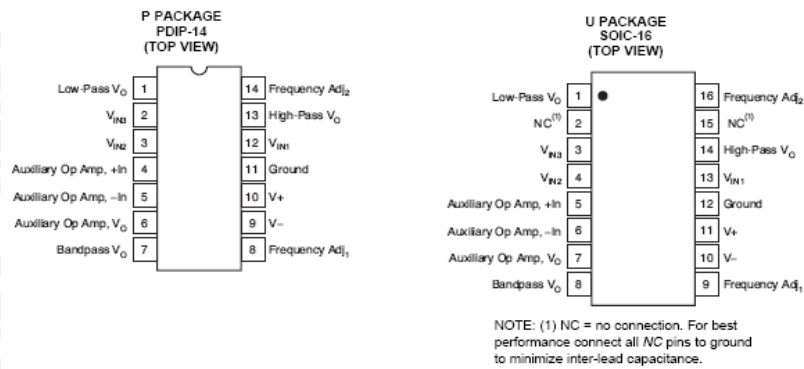
2.10.2. Penapis State Variabel UAF42

UAF42 adalah filter aktif universal dari Burr-Brown yang dapat difungsikan sebagai *high pass filter*, *low pass filter*, *pass pass filter* dan *notch filter*. UAF42 menggunakan topologi klasik yaitu tersusun dari penguat selisih dan dua buah integrator yang identik. Integrator menggunakan kapasitor 1000pF yang ditrim dengan teknologi laser dan memiliki toleransi hingga 0,05%. Rancangan dalam UAF42 dapat menghilangkan masalah yang biasa terjadi pada filter yaitu akurasi frekuensi kritis yang disebabkan oleh *low loss capacitor*. Rangkaian internal dari UAF42 ditunjukkan dalam Gambar 2.23. (Texas Instrument, 2007)



Gambar 2.23. Rangkaian Internal UAF42
Sumber : Texas Instrument, 2007

Burr-Brown menyediakan program aplikasi untuk desain filter untuk semua jenis filter seperti *Butterworth*, *Bessel*, *Chebyshev*, *Inverse Chebyshev*. Topologi klasik yang digunakan UAF42 lebih unggul jika dibanding dengan topologi yang digunakan filter jenis *switched-capasitor filter* yang menimbulkan *switching noise*.



Gambar 2.24. Diagram Penyemat UAF42

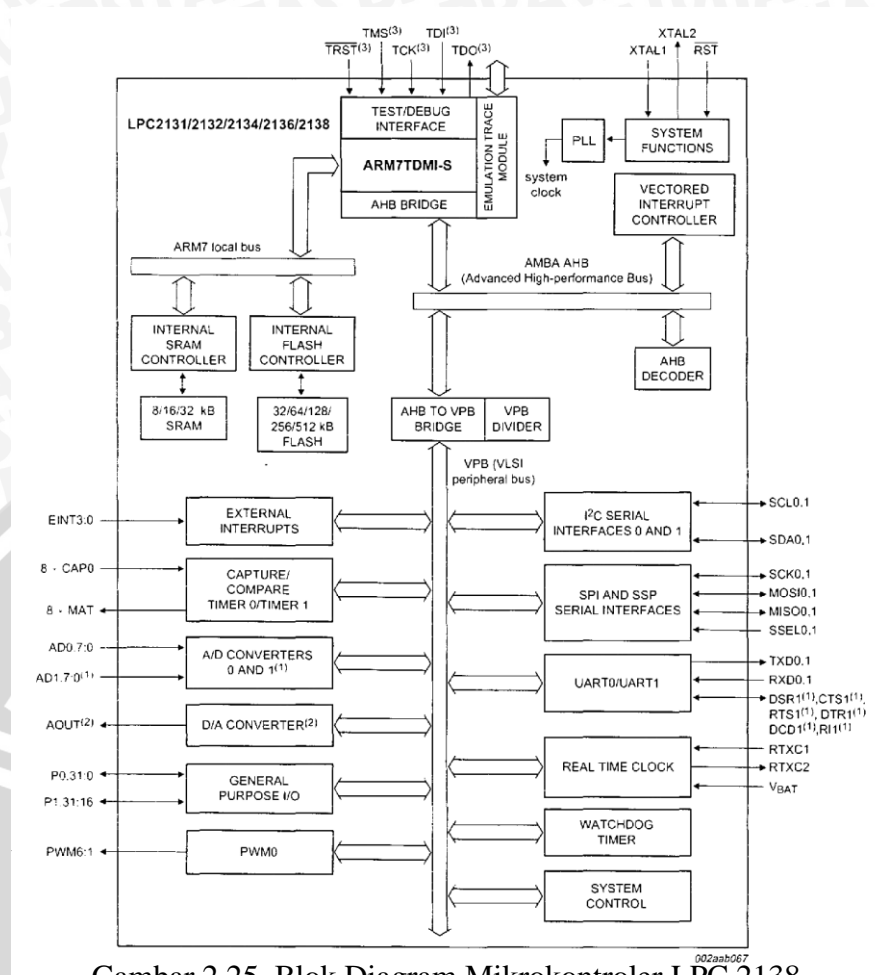
Sumber : Texas Instrument, 2007

2.11. Mikrokontroler LPC 2138

ARM7TDMI adalah keluarga (family) dari mikrokontroler ARM 32-bit. Mikrokontroler ARM memberikan performa yang baik (*high performance*), konsumsi daya yang rendah (*very low power consumption*), dan berdimensi kecil (*small size*). Arsitektur ARM berbasis pada *Reduced Instruction Set Computer* (RISC). Mekanisme dekoding dari Instruction set dari prosesor RISC relatif lebih sederhana dibanding dengan prosesor berbasis *Complex Instruction Set Computer* (CISC). Kesederhanaan ini memberikan :

- ✓ *Throughput* yang tinggi
- ✓ Respon interupsi yang lebih *real time* (*excellent real-time interrupt response*)
- ✓ Ongkos produksi yang rendah (*small cost*)

ARM7TDMI-S yang dilengkapi dengan fasilitas emulasi real time (*real-time emulation*) dan embedded trace. Sebuah antarmuka memori 128-bit dengan arsitektur yang unik memungkinkan LPC2138 menjalankan intruksi 32-bit dengan kecepatan yang maksimum. Untuk meminimalkan pemakaian memori internal, LPC2138 menyediakan intruksi 16-bit yang dikenal dengan istilah ragam Thumb 16-bit (*16-bit Thumb mode*). Penggunaan mode ini dapat menghemat memori hingga 30 %. Blok diagram Mikrokontroler LPC 2138 ditunjukkan dalam Gambar 2.25.



Gambar 2.25. Blok Diagram Mikrokontroler LPC 2138

Sumber : Texas Instrument, 2007

Mikrokontroler LPC 2138 ideal untuk aplikasi yang menekan meniadakan, seperti soft modems, *voice recognition* dan *high end imaging*. Dilengkapi dengan timer 32-bit, single atau dual 10-bit 8 channel ADC(s), 10-bit DAC, kanal PWM dan 47-bit GPIO, 9 input level atau *edge interrupt* membuat mikrokontroler cocok untuk kendali industri dan aplikasi instrumentasi medis.

2.11.1. Fitur Mikrokontroler LPC 2138

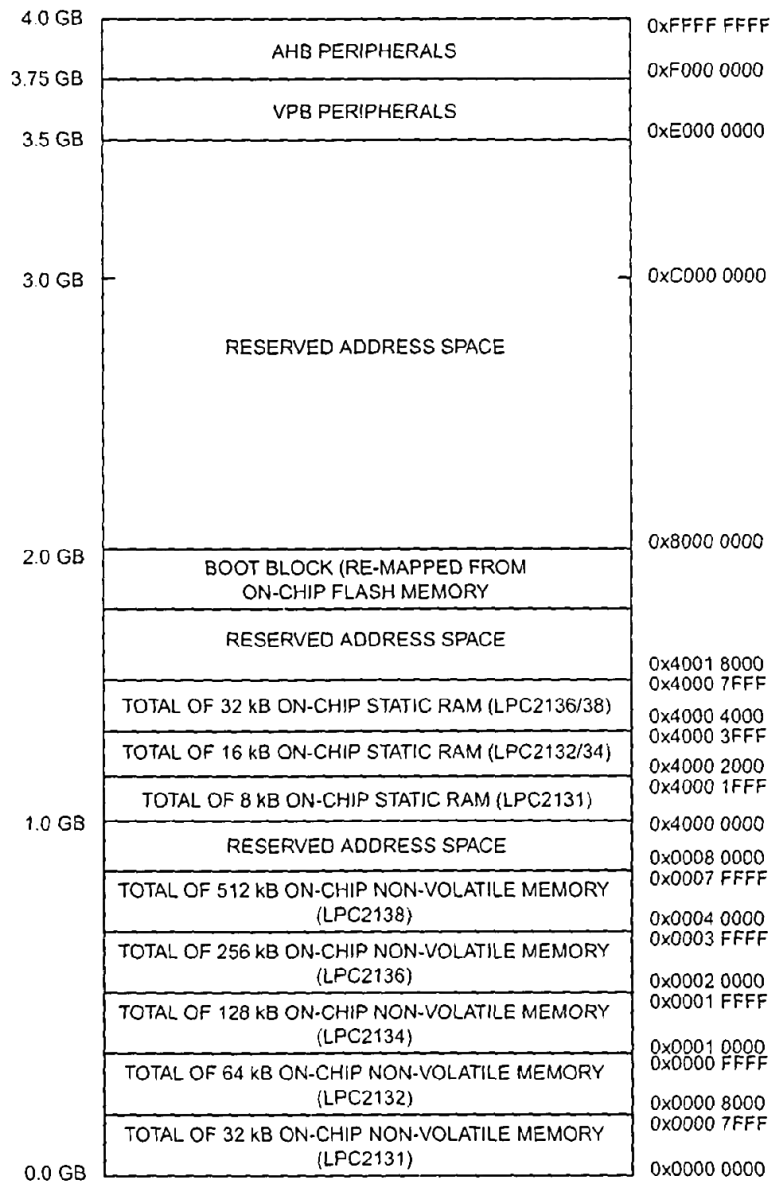
Mikrokontroler LPC 2138 memiliki fitur-fitur sebagai berikut :

- Mikrokontroler ARM7TDMI-S 32-bit dengan kemasan tiny LQFP64.
- 32 kB on-chip Static RAM
- 512 kB on-chip Flash Program Memory. 128 bit interface/accelerator memungkinkan beroperasi hingga 60 MHz.

- *In-System Programming (ISP)* dan *In-Application Programming (IAP)* lewat *software on-chip boot-loader*.
- Embedded ICE-RT dan Embedded Trace interfaces memberikan fasilitas real-time debugging dengan menggunakan on-chip RealMonitor software.
- 16 channel *10-bit A/D converters* memberikan total 16 input analog dengan waktu konversi 2.44 microseconds per channel. single *10-bit D/A converter*.
- Dua 32-bit timer (dengan 4 capture dan 4 compare channels), PWM unit (6 outputs) dan Watchdog.
- Real Time Clock dengan konsumsi daya ekstra rendah pada mode power - save.
- Multiple serial interfaces termasuk dua *UARTs (16C550)*, dua *Fast I2C (400kb/s)*, *SPI and SSP* dengan sistem buffer dan lebar data variabel.
- Vectored Interrupt Controller dengan skala prioritas dan alamat vector yang dapat diatur.
- 60 MHz maximum CPU clock.
- On-chip crystal oscillator dengan range 1 MHz hingga 30 MHz.
- Power saving modes termasuk Idle and PowerDown.
- Single power supply chip dengan rangkain Power On Reset (POR) dan Brown Out Detection (BOD).

2.11.2. Peta Memori Mikrokontroler LPC 2138

ARM7TDMI berintikan arsitektur Havard dengan lebar data bus 32-bit. Data dapat dalam bentuk 8-bit (bytes), 16-bit (halfwords) dan 32-bit (words). Interfasi memori prosesor ARM7TDMI telah dirancang agar pemakaian memori dapat ditekan (*minimizing the use of memory*). Peta memori pada mikrokontroler LPC 2138 seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.26.



002aab069

Gambar 2.26. Peta memori Mikrokontroler LPC 2138

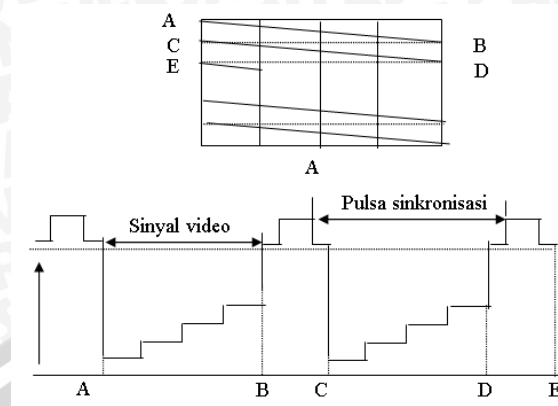
Sumber : Texas Instrument, 2007

2.12. Televisi

Gambar televisi bukanlah unit tunggal yang bergerak (hidup) secara kontinyu, namun terdiri dari lima puluh gambar lengkap yang dipancarkan setiap detik dan masing-masing gambar dibagi atas beberapa unit yang dipancarkan secara berurutan. Bayangan pada lensa kamera disapu (*scanned*) oleh seberkas elektron, kemudian pada pesawat TV penerima bayangan dibentuk oleh berkas



elektron yang lain, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.27. (Grob, 1991)

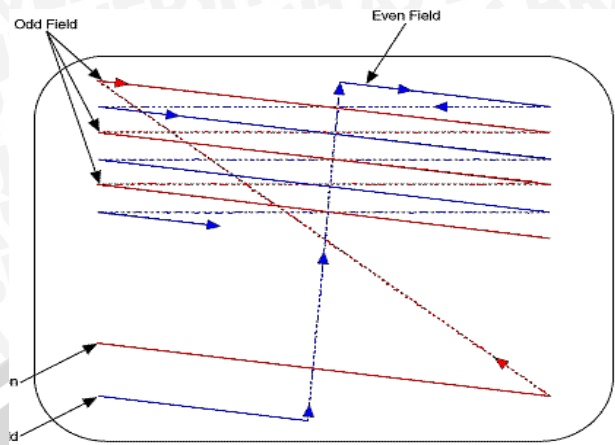


Gambar 2.27. Scanning pada Target

Sumber : Grob, 1991

2.12.1. Kecepatan Gambar dan Berkas Penyapu (*Scanning Beam*)

Batas kemampuan manusia rata-rata dalam mengamati gambar adalah 24 buah/detik. Gambar pada kecepatan demikian nampak seperti kelap-kelip (*flicker*), jadi pada keadaan ini mata seolah-olah melihat dua gambar yang saling bergantian "nyala" dan "gelap". Karena itu diambil kecepatan gambar yang lebih besar. Pada sistem CCIR 625 dikirim 50 buah gambar lengkap dipancarkan setiapdetik, sehingga flicker tak dapat diperhatikan lagi oleh mata. Masing-masing gambar disapu oleh berkas penyapu dengan 625 garis, maka tiap detik diemisikan sebanyak $2 \times 312,5 \times 25 = 15.625$, ini disebut kecepatan horizontal. Ke - 625 garis ini tidak disapu secara berurutan sekaligus dari atas ke bawah, akan tetapi dibagi atas dua bagian penyapuan vertikal, yakni pertama kali dari atas kebawah dengan 312,5 garis berikutnya yang terletak diantara garis-garis yang telah disapu. Teknik penelusuran ini disebut penelusuran saling terjalin (*interlaced scanning concept*) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.28. (Grob, 1991)



Gambar 2.28. Interlaced scanning

Sumber : Grob,1991

Sebuah gambar televisi yang lengkap disebut satu *frame* yang terdiri dari satu *field* garis-garis ganjil, dan satu *field* berisi garis-garis genap. Selama waktu kembali (*retrace*), layar dibuat hitam sehingga tidak ada berkas sinar, keadaan demikian disebut pemadaman (*blanking*). (Grob, 1991)

2.12.2. Sinyal Video Komposit

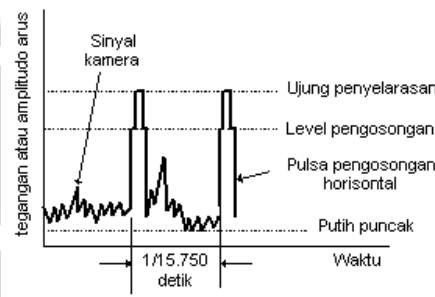
Yang dimaksud dengan komposit adalah bahwa sinyal video merupakan kombinasi dari beberapa sinyal yang terdiri atas :

1. *Sinyal video* yang mengandung seluruh detail informasi gambar (*image*) dari bayangan asli.
2. Sinyal pulsa *sinkronisasi horisontal*, untuk mensinkronkan gerakan horizontal dari berkas penyapu pada tabung gambar penerima dengan gerakan horisontal dari berkas penyapu pada kamera.
3. Sinyal pulsa *blanking horisontal*, yang mematikan nyala berkas penyapu pada tabung gambar selama interval waktu *retrace horisontal*.
4. Sinyal pulsa *sikronisasi vertikal*, untuk mensinkronkan gerakan vertikal dari berkas penyapu pada tabung gambar dengan gerakan vertikal berkas penyapu pada kamera.
5. Sinyal pulsa *blanking vertikal*, untuk mematikan nyala berkas penyapu pada tabung gambar selama periode *retrace vertikal*. (Grob, 1991)

2.12.3. Konstruksi Sinyal Video Komposit

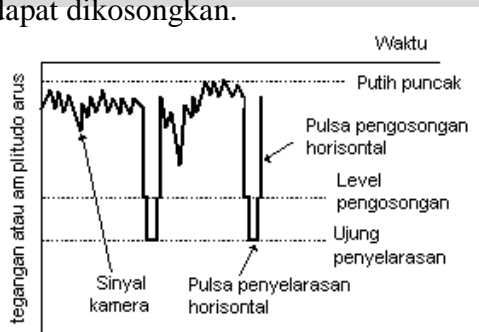
Sinyal video memiliki dua polaritas:

1. Polaritas penyalarsan positif dengan pulsa-pulsa penyalarsan pada posisi menghadap ke atas seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.29.
2. Polaritas penyalarsan negatif dengan pulsa-pulsa penyalarsan pada posisi menghadap ke bawah seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.30.



Gambar 2.29. Sinyal Video Komposit untuk Dua Garis Horizontal dengan Polaritas Positif. Sumber: Grob, 1991

Dengan penyalarsan negatif seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.30. Mulai dari paling kiri pada waktu nol, sinyal berada pada level putih dan berkas penelusuran (*scan line*) berada di sebelah kiri bayangan. Pada penelusuran dari kiri ke kanan, diperoleh variasi sinyal kamera dengan berbagai amplitudo yang sesuai dengan informasi gambar yang diperlukan. Setelah penjejakan (*trace*) horisontal menghasilkan sinyal kamera yang diinginkan untuk satu garis, dimana amplitudo input maksimum sebesar $1 V_{p-p}$ menghasilkan warna putih puncak dan amplitudo input sebesar $0.3V_{p-p}$ menghasilkan warna hitam. Untuk amplitudo input lebih besar dari $0.3V_{p-p}$ dan lebih kecil dari $1V_{p-p}$ menghasilkan warna kelabu. Pada saat penelusuran berada di sebelah kanan bayangan (*image*), pulsa pengosongan disisipkan guna mengembalikan amplitudo sinyal video ke atas sampai ke level hitam sehingga pengulangan jejak dapat dikosongkan.



Gambar 2.30. Sinyal Video Komposit untuk Dua Garis Horizontal dengan Polaritas Negatif. Sumber : Grob, 1991

Polaritas penyalarsan negatif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.30 adalah standar bagi perlengkapan video seperti kamera, televisi, pengatur video, dan jaringan distribusi telepon. Amplitudo standar adalah $1V_{p-p}$.

Sinyal video putih memiliki polaritas berlawanan dengan pulsa-pulsa penyalarsannya. Level pengosongan haruslah hitam. Amplitudo-amplitudo penyalarsan umumnya disebut level *lebih hitam daripada hitam*.

