

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Filter Pasif

Filter pasif umumnya hanya menggunakan R,C atau L, sehingga kualitas filter kurang baik, atau bahkan masih mengandung noise, hal ini disebabkan karena tidak ada komponen penguat op-amp, sehingga penguatan untuk filter jenis ini ≤ 1 [1].

Komponen penyusunnya adalah induktor,kapasitor,dan resistor. Kelebihan filter pasif dapat dipergunakan untuk frekuensi tinggi. Kekurangan filter pasif dimensi lebih besar daripada filter aktif.

2.2 Filter Aktif

Filter aktif umumnya menggunakan komponen R,C dan Op-Amp, sehingga hasil filter lebih baik dikarenakan pada filter ini terdapat suatu komponen yang digunakan sebagai penguat sinyal dan tegangan yang dinamakan op-amp. Penguatan untuk jenis filter ini ≥ 1 . Amplifier berupa rangkaian penguat tegangan dengan penguatan tertentu [2].

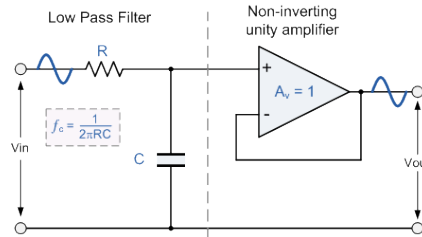
Komponen penyusunnya : ohm-Amp,kapasitor,dan resistor. Amplifier sebagai penguat sinyal [3].

Keuntungan dari filter aktif adalah ukurannya yang lebih kecil, ringan, lebih murah, dan lebih fleksibel dalam perancangannya. Kekurangan dari filter pasif adalah kebutuhan catu daya eksternal,lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan,dan frekuensi kerja yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik komponen aktifnya [1].

2.3 RC Aktif Low Pass Filter

Low pass filter berfungsi memfilter frekuensi tinggi dan melewatkan frekuensi rendah, beberapa contoh rangkaian Low Pass Filter:

a. Low Pass Filter dengan penguatan satu kali



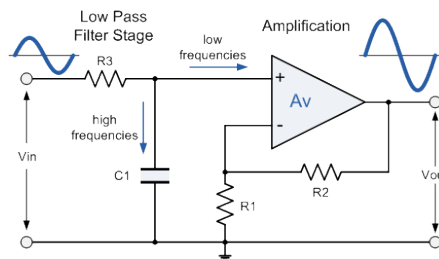
Gambar 2.1 RC Aktif Low Pass Filter Dengan Penguatan 1

DC Gain(A_v) = 1

$$\text{Voltage Gain}(A_{LPF}) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_v}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}$$

$$V_{out} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} V_{in} \dots\dots\dots(1)$$

b. Low Pass Filter dengan penguatan pada kaki non inverting



Gambar 2.2 RC Aktif Low Pass Filter Dengan Penguatan pada kaki non-inverting

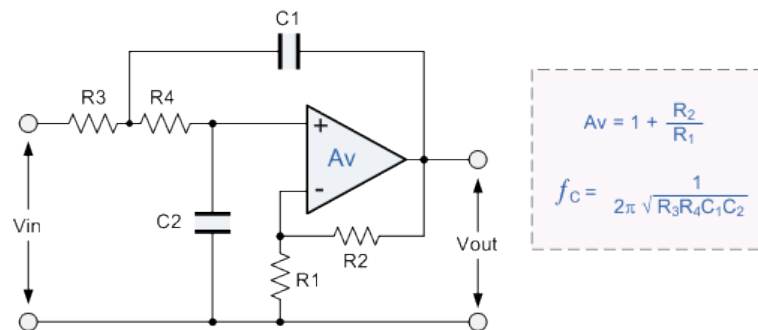
$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}; f_c = \frac{1}{2\pi R_3 C_1} \dots\dots\dots(2)$$

c. Penguatan low pass filter tingkat pertama

$$\text{Voltage Gain}(A_{LPF}) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_v}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}$$

$$V_{out} = A_{LPF} V_{in} = \frac{A_v}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} V_{in} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} V_{in} \dots\dots\dots(3)$$

d. Penguatan *low pass filter* tingkat kedua



Gambar 2.3 Penguatan RC Aktif *Low Pass Filter* Tingkat Kedua

$$\text{Voltage Gain}(A_{LPF}) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_v}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}$$

$$V_{out} = A_{LPF} V_{in} = \frac{A_v}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} V_{in} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} V_{in} \dots\dots\dots(4)$$

Berdasarkan pada hasil frekuensi cut-off , maka nilai Vout pada LPF dapat terbagi menjadi :

- Jika $f < f_c$ maka $V_{out} \cong A_v$
- Jika $f = f_c$ maka $V_{out} \cong \frac{A_v}{\sqrt{2}}$
- Jika $f > f_c$ maka $V_{out} < A_v$

Dengan menggabungkan rangkaian filter *Low Pass* RC dasar dengan penguat operasional, kita dapat membuat rangkaian filter *Low Pass* Aktif lengkap dengan amplifikasi.

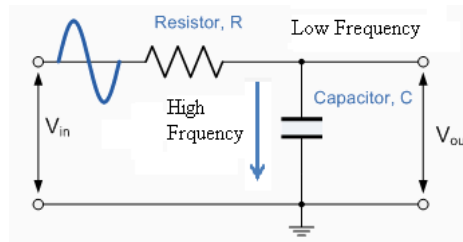
Filter aktif seperti filter *low pass* aktif, adalah sirkuit filter yang menggunakan penguat operasional (op-amp) sebagai perangkat penguat utamanya bersama dengan beberapa resistor dan kapasitor untuk menyediakan kinerja seperti filter pada frekuensi rendah.

Rangkaian filter pasif orde pertama dasar, seperti filter *low pass* atau *high pass* filter dapat dibangun hanya dengan menggunakan satu resistor secara seri dengan kapasitor non-terpolarisasi yang dihubungkan melalui sinyal input sinusoidal. Kerugian utama dari filter pasif adalah bahwa amplitudo dari sinyal output lebih kecil dari sinyal input, yaitu *gain* tidak pernah lebih besar dari satu dan impedansi beban mempengaruhi karakteristik filter.

Dengan sirkuit filter pasif yang berisi beberapa tahap, kehilangan amplitudo sinyal yang disebut "Atenuasi" ini bisa menjadi sangat parah. Salah satu cara untuk memulihkan atau mengendalikan kehilangan sinyal ini adalah dengan menggunakan amplifikasi melalui penggunaan filter aktif [2].

2.4 RC Pasif *Low Pass Filter*

Filter yang digunakan untuk melewatkan frekuensi rendah dan menahan frekuensi tinggi. *Low Pass Filter* sederhana dapat dirancang hanya dengan menggunakan komponen kapasitor dan resistor yang dipasang secara seri seperti pada gambar 2.



Gambar 2.4 Rangkaian RC Pasif *Low Pass Filter*

Pada suatu kapasitor terdapat reaktansi kapasitif yang dilambangkan dengan simbol X_C , nilai reaktansi kapasitif pada suatu rangkaian AC dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}; \text{ satuan } X_C \text{ adalah Ohm } (\Omega) \dots\dots\dots(5)$$

Reaktansi kapasitif pada kapasitor berbanding terbalik dengan frekuensi. Perlawanan aliran arus dalam suatu rangkaian AC dinamakan impedansi disimbolkan dengan symbol Z .

Impedansi ini digunakan sebagai pengganti rangkaian seri antara kapasitor dan resistor yang dihubungkan secara seri. Dan dirumuskan :

$$Z = \sqrt{X_c^2 + R^2} \dots\dots\dots(6)$$

Jika pada gambar 2 diberikan rangkaian ekivalennya, maka untuk menghitung V_{out} :

$$V_{OUT} = \frac{X_C}{R + X_C} V_{IN}$$

$R + X_C$ dapat diganti dengan $Z = \sqrt{X_C^2 + R^2}$

sehingga :

$$V_{OUT} = \frac{X_C}{Z} V_{IN} \text{ atau } V_{OUT} = \frac{X_C}{\sqrt{X_C^2 + R^2}} V_{IN}$$

Sehingga penguatan untuk pasif *Low Pass Filter*

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{X_C}{Z} \dots\dots\dots(7)$$

atau bisa juga menggunakan rumus

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} \dots\dots\dots(8)$$

Low Pass RC filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah terdiri dari gabungan komponen resistor dan kapasitor. *Low Pass Filter* adalah sirkuit yang dapat dirancang untuk memodifikasi, membentuk kembali atau menolak semua frekuensi tinggi yang tidak diinginkan dari sinyal listrik dan hanya menerima atau melewatkan sinyal yang diinginkan oleh perancang sirkuit [3].

Filter RC pasif "menyaring" sinyal yang tidak diinginkan saat terpisah dan memungkinkan untuk hanya melewatkan sinyal input sinusoidal berdasarkan frekuensinya dengan jaringan filter pasif low pass yang paling sederhana.

Dalam aplikasi frekuensi rendah (hingga 100kHz), filter pasif umumnya dibangun menggunakan jaringan RC (Resistor-Capacitor) sederhana, sedangkan filter frekuensi yang lebih tinggi (di atas 100kHz) biasanya dibuat dari komponen RLC (Resistor-Inductor-Capacitor).

Filter pasif terdiri dari komponen pasif seperti resistor, kapasitor dan induktor dan tidak memiliki elemen penguat (transistor, op-amp, dll) sehingga tidak memiliki penguatan sinyal, oleh karena itu tingkat keluarannya selalu lebih kecil dari masukan.

2.5 *DC Gain Band Pass Filter A_F*

Respon frekuensi rangkaian akan sama dengan filter RC pasif, kecuali amplitudo output dinaikkan oleh *gain band pass*, A_F dari amplifier. Untuk rangkaian penguat non-pembalikan, besarnya penguatan tegangan untuk filter

diberikan sebagai fungsi dari resistor umpan balik (R2) dibagi dengan nilai resistor input (R1) yang sesuai dan diberikan sebagai:

$$DC\ Gain = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \dots\dots\dots(9)$$

2.6 DC Gain (Av)

$$Voltage\ Gain, (Av) = \frac{Vout}{Vin} = \frac{AF}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{fc}\right)^2}} \dots\dots\dots(10)$$

Di mana:

A_F = gain band pass dari filter, $(1 + R2/R1)$

f = frekuensi sinyal input dalam Hertz, (Hz)

fc = frekuensi cut-off dalam Hertz, (Hz)

Dengan demikian, pengoperasian filter aktif *low pass* dapat diverifikasi dari persamaan penguatan frekuensi di atas sebagai:

- Jika $f < fc$ maka $Vout \cong Av$
- Jika $f = fc$ maka $Vout \cong \frac{Av}{\sqrt{2}}$
- Jika $f > fc$ maka $Vout < Av$

Dengan demikian, *Active Low Pass* Filter memiliki A_F penguatan konstan dari 0Hz hingga titik batas frekuensi tinggi, fC . Pada fC gain adalah $0,707A_F$, dan setelah fC gain berkurang dengan laju konstan seiring dengan meningkatnya frekuensi. Artinya, ketika frekuensi dinaikkan sepuluh kali lipat (satu dekade), penguatan tegangan dibagi 10.

2.7 Gain (dB)

Dengan kata lain, gain berkurang 20dB (= 20log(10)) setiap kali frekuensi dinaikkan sebesar 10. Ketika berurusan dengan rangkaian filter, besarnya gain band lintasan rangkaian umumnya dinyatakan dalam desibel atau dB sebagai a fungsi dari penguatan tegangan, dan ini didefinisikan sebagai:

$$Av (dB) = 20\log_{10} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \dots\dots\dots(11)$$

$$\therefore -3dB = 20\log_{10} \left(0.707 \frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \dots\dots\dots(12)$$

2.8 Reaktansi Kapasitif

Reaktansi Kapasitif adalah impedansi kompleks kapasitor yang nilainya berubah sehubungan dengan frekuensi yang diterapkan tidak seperti resistansi yang tidak bergantung pada frekuensi, reaktansi rangkaian AC (*Alternating Current*) dipengaruhi oleh frekuensi suplai dan berperilaku serupa dengan resistansi, keduanya diukur dalam Ohm. Reaktansi mempengaruhi induktor dan kapasitor dengan masing-masing memiliki efek berlawanan dalam kaitannya dengan frekuensi suplai. Reaktansi induktif (X_L) naik dengan peningkatan frekuensi, sedangkan reaktansi kapasitif (X_C) turun[4].

Saat kapasitor mengisi atau melepaskan, arus mengalir melewatinya yang dibatasi oleh impedansi internal kapasitor. Impedansi internal ini umumnya dikenal sebagai reaktansi kapasitif dan diberi simbol X_C dalam Ohm.

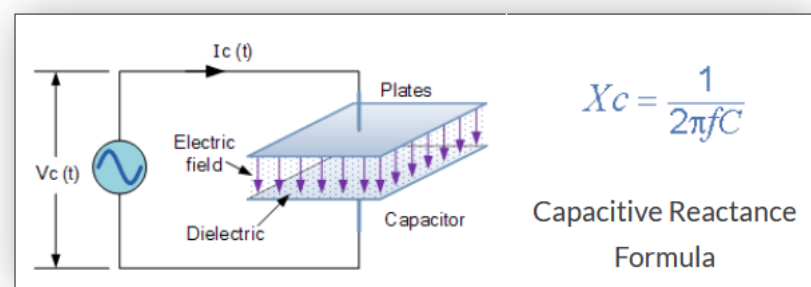
Tidak seperti resistansi yang memiliki nilai tetap, misalnya 100Ω, 1kΩ, 10kΩ dll, (ini karena resistansi mematuhi Hukum Ohm), reaktansi kapasitif

bervariasi dengan frekuensi yang diterapkan sehingga setiap variasi frekuensi pasokan akan berdampak besar pada kapasitor. nilai "reaktansi kapasitif".

Ketika frekuensi yang diterapkan pada kapasitor meningkat, efeknya adalah menurunkan reaktansinya (diukur dalam ohm). Demikian juga ketika frekuensi melintasi kapasitor menurun, nilai reaktansinya meningkat. Variasi ini disebut impedansi kompleks kapasitor.

Impedansi kompleks ada karena elektron dalam bentuk muatan listrik pada pelat kapasitor, tampaknya berpindah dari satu pelat ke pelat lainnya dengan lebih cepat sehubungan dengan frekuensi yang bervariasi. Dengan meningkatnya frekuensi, kapasitor melewati lebih banyak muatan melintasi pelat dalam waktu tertentu yang menghasilkan aliran arus yang lebih besar melalui kapasitor yang tampak seolah-olah impedansi internal kapasitor telah menurun. Oleh karena itu, kapasitor yang terhubung ke rangkaian yang berubah pada rentang frekuensi tertentu dapat dikatakan sebagai "*Frequency Dependant*". Reaktansi Kapasitif memiliki simbol kelistrikan " X_C " dan memiliki satuan yang diukur dalam Ohm sama dengan resistansi, (R).

Itu dihitung menggunakan rumus berikut:



Gambar 2.5 Rumus Reaktansi Kapasitif

Di mana:

X_c = Reaktansi Kapasitif dalam Ohm, (Ω)

π (pi) = 3,142 (desimal) atau sebagai $22 \div 7$ (pecahan)

f = Frekuensi dalam Hertz, (Hz)

C = Kapasitansi dalam Farad, (F)

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \dots\dots\dots(13)$$

2.9 Impedansi

Oposisi terhadap aliran arus dalam rangkaian AC disebut impedansi, simbol Z dan untuk rangkaian seri yang terdiri dari resistor tunggal secara seri dengan kapasitor tunggal[5].

Impedansi rangkaian dihitung sebagai:

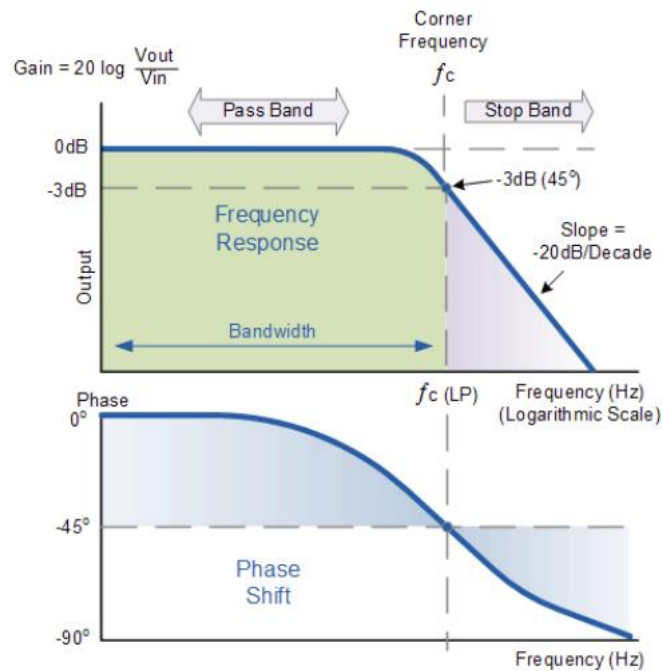
$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} \dots\dots\dots(14)$$

2.10 Voltage Gain RC Pasif Low Pass Filter

menggunakan persamaan pembagi potensial dari dua resistor secara seri dan mengganti impedansi, kita dapat menghitung tegangan keluaran filter untuk frekuensi tertentu.

$$V_{out} = V_{in} * \frac{X_c}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} = V_{in} \frac{X_c}{Z} \dots\dots\dots(15)$$

2.11 Respons Frekuensi



Gambar 2.6 Kurva Respons Frekuensi

Bode Plot menunjukkan Respons Frekuensi dari filter hampir rata untuk frekuensi rendah dan semua sinyal input diteruskan langsung ke output, menghasilkan penguatan hampir 1, disebut satu, hingga mencapai titik Frekuensi Cut-off. (f_c). Ini karena reaktansi kapasitor tinggi pada frekuensi rendah dan menghalangi aliran arus apa pun melalui kapasitor.

Setelah titik frekuensi cut-off ini, respons rangkaian berkurang menjadi nol pada kemiringan -20dB/ Dekade atau (-6dB/Oktaf) "roll-off". Perhatikan bahwa sudut kemiringan, roll-off -20dB/ Dekade ini akan selalu sama untuk setiap kombinasi RC.

Sinyal frekuensi tinggi apa pun yang diterapkan pada rangkaian filter low pass di atas titik frekuensi cut-off ini akan menjadi sangat dilemahkan, yaitu berkurang dengan cepat. Hal ini terjadi karena pada frekuensi yang sangat tinggi

reaktansi kapasitor menjadi sangat rendah sehingga memberikan efek kondisi hubung singkat pada terminal keluaran sehingga menghasilkan keluaran nol.

2.12 *Cut-off Frequency dan Phase Shift*

Pada filter ada yang disebut frekuensi *cut off*, dimana frekuensi ini adalah frekuensi yang menjadi batas untuk melewatkan atau menghalangi sinyal masukan yang mempunyai frekuensi yang lebih tinggi maupun frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cutoff. Contoh pada *Low Pass Filter* jika diketahui bahwa frekuensi cut off adalah 1000Hz maka filter ini hanya melewatkan frekuensi dari 0 Hz hingga 1000 Hz, untuk frekuensi diatas 1000 Hz akan disaring/tidak dilewatkan.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots(16)$$

$$\text{Phase Shift } \varphi = -\arctan(2\pi fRC) \dots\dots\dots(17)$$

2.13 **Respons (dB)**

Rentang frekuensi "di bawah" titik potong ini f_c umumnya dikenal sebagai *Pass Band* karena input sinyal diizinkan untuk melewati filter. Rentang frekuensi "di atas" titik batas ini umumnya dikenal sebagai *Stop Band* karena input sinyal diblokir atau dilarang untuk melewatinya. Filter *low pass* orde 1 sederhana dapat dibuat menggunakan resistor tunggal secara seri dengan menampilkan non-terpolarisasi tunggal (atau komponen reaktif tunggal apa pun) menjebak sinyal input V_{in} , sedangkan sinyal output V_{out} diambil dari penangkapan[6].

Frekuensi cut-off atau -3dB titik, dapat ditemukan dengan menggunakan rumus standar, $f_c = 1/(2\pi RC)$. Sudut sinyal keluaran sinyal pada f_c dan -45o untuk *Low Pass Filter*. *Gain filter* atau filter apa pun dalam hal ini, umumnya dinyatakan

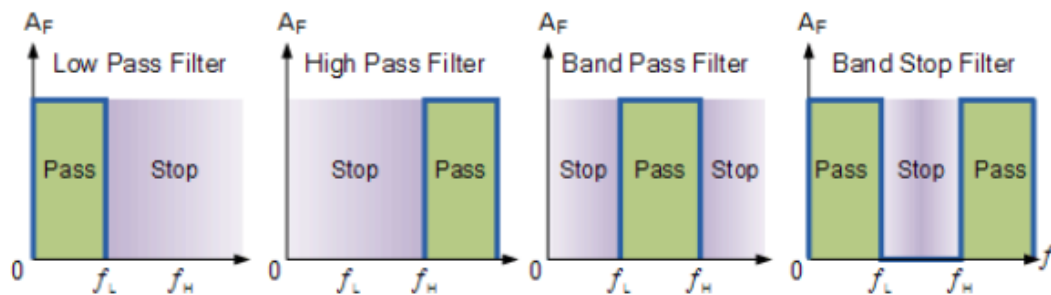
dalam Desibel dan merupakan fungsi dari nilai output dibagi dengan nilai input yang sesuai dan diberikan sebagai:

$$Gain \text{ in dB} = 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} \dots\dots\dots(18)$$

2.14 Respons ideal Filter

Filter pasif orde-1 sederhana (urutan ke-1) dapat dibuat dengan menghubungkan resistor tunggal dan kapasitor tunggal secara seri melintasi sinyal input, (V_{IN}) dengan output filter, (V_{OUT}) yang diambil dari persimpangan keduanya komponen.

Bergantung pada arah mana kita menghubungkan resistor dan kapasitor sehubungan dengan sinyal keluaran menentukan jenis konstruksi filter yang menghasilkan Filter Akses Rendah atau Filter Akses Tinggi. Karena fungsi dari filter apa pun adalah untuk memungkinkan sinyal dari pita frekuensi tertentu untuk lewat tanpa diubah sambil melemahkan atau melemahkan semua yang tidak diinginkan, kita dapat menentukan karakteristik respons amplitudo dari filter ideal dengan menggunakan kurva respons frekuensi ideal dari empat jenis filter dasar seperti yang ditunjukkan [7].



Gambar 2.7 Respons Ideal Filter

2.15 *Low Pass Filter*

Low Pass Filter adalah filter yang hanya memungkinkan sinyal frekuensi rendah dari 0Hz ke frekuensi cut-offnya, titik f_c untuk dilewati sambil memblokir sinyal yang lebih tinggi [8].