

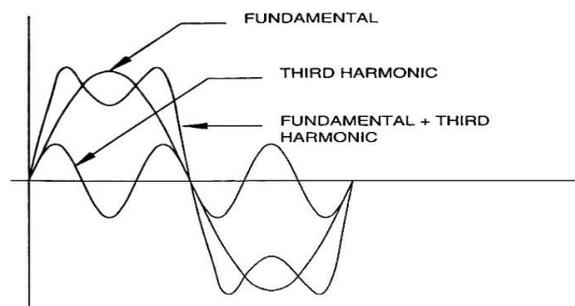
## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Definisi Harmonisa

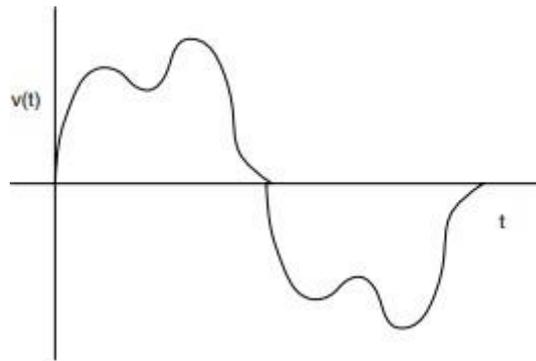
Harmonisa adalah gelombang-gelombang sinus dengan frekuensi kelipatannya (integer) dari frekuensi sumber, yang bila digabungkan dengan gelombang sinus dengan frekuensi sumber akan menghasilkan gelombang yang terdistorsi (non-sinus).

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi timbul karena terdapat distorsi gelombang arus dan tegangan pada sistem tenaga listrik. Distorsi arus dan tegangan tersebut disebabkan oleh timbulnya gelombang gangguan yang bercampur dengan gelombang awal atau gelombang dasar yang menyebabkan perubahan bentuk gelombang yang mengakibatkan gelombang listrik menjadi tidak lagi berbentuk sinusoidal akibatnya amplitudo dan frekuensi menjadi tidak seimbang yang menyebabkan turunnya kualitas daya listrik.

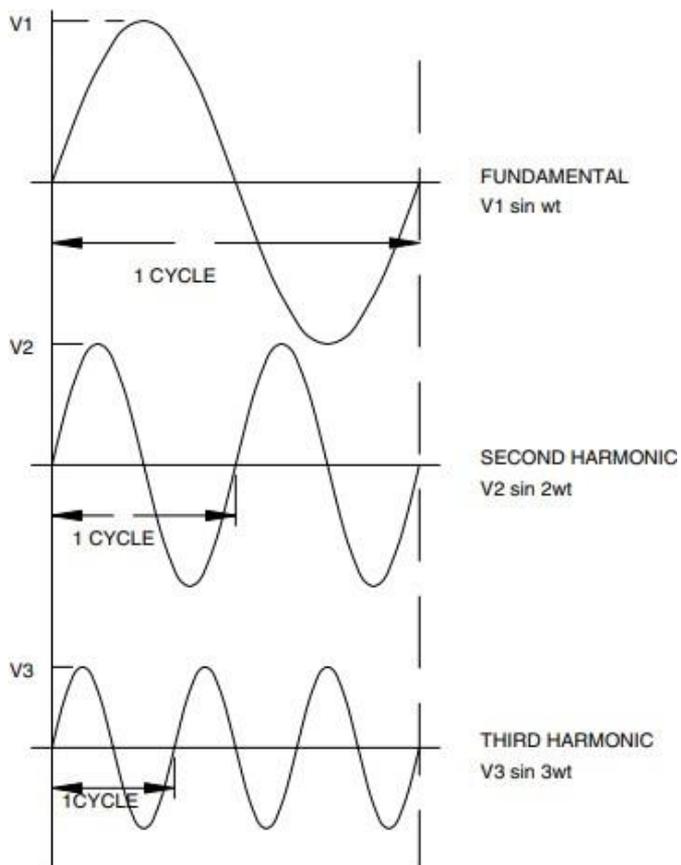


Gambar 2. 1 Gelombang fundamental dan gelombang harmonisa

Harmonisa dalam sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai sinyal atau gelombang gangguan yang ditimbulkan oleh beban nonlinier. Harmonisa menyebabkan distorsi pada gelombang fundamental sehingga gelombang yang harusnya berbentuk sinusoidal berubah menjadi cacat pada gelombang[2].



Gambar 2. 2 Gelombang fundamental yang telah terdistorsi harmonisa

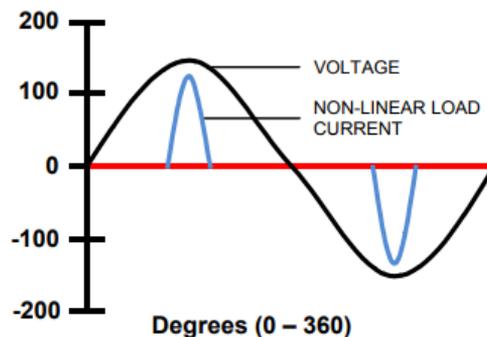


Gambar 2. 3 Gelombang fundamental, harmonisa kedua, harmonisa ketiga

Individual Harmonic Distortion ( IHD ) yaitu rasio antara nilai RMS dari harmonisa individual dan nilai RMS fundamental . Total Harmonic Distortion (THD) yaitu nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari fundamental.

Standar harmonisa berdasarkan standar IEEE 519 2014.terdapat dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa . yaitu terdapat batasan arus dan batasan harmonisa tegangan. Untuk standar harmonisa arus ditentukan oleh rasio  $I_{sc}/I_L$ .  $I_{sc}$  adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC ( Point of Common Coupling ) ,  $I_L$  adalah arus beban fundamental nominal Sedangkan untuk standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai.

Dalam sistem tenaga listrik terdapat dua jenis beban yaitu beban linear dan beban nonlinier. Beban linear adalah beban dengan daya yang mengalir sebanding dengan impedansi dan tegangan yang mengalir sebagai contohnya adalah solder. Sedangkan beban nonlinier adalah beban yang di dalamnya mengandung bahan semikonduktor yang dalam sistem kerjanya sebagai saklar otomatis yang bekerja pada siklus gelombang dari sumber tegangan. Contoh beban nonlinier yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari hari adalah printer, komputer, lampu *fluorescent* yang menggunakan *ballast*.



Gambar 2. 4 Bentuk gelombang arus dan tegangan pada beban non-linier[4].

Harmonisa timbul karena beban nonlinier mengeluarkan gelombang sendiri dan output dari beban nonlinier mengeluarkan gelombang yang akhirnya bercampur pada gelombang pada sistem tenaga sehingga berpengaruh terhadap kualitas energi listrik. Akibatnya frekuensi listrik tidak seimbang yang menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik yang terdapat pada sistem tenaga[4].

Harmonisa merambat ke seluruh jaringan listrik menyebabkan kabel akan menjadi lebih panas, mesin-mesin motor mengalami penurunan kemampuan, trafo

utama menjadi lebih panas. Kasus-kasus seperti ini yang dapat menyebabkan terkelupasnya isolator pada kabel atau meledaknya trafo yang menyebabkan terjadinya kebakaran[2].

## 2.2 Distorsi Harmonisa

Distorsi harmonisa timbul karena penggunaan beban nonlinier yang semakin lama semakin banyak seiring penggunaan bahan semikonduktor yang menjadi bahan yang sangat penting untuk pembuatan peralatan modern seperti alat-alat otomatis yang membutuhkan semikonduktor sebagai bahan utama. Dalam hal ini perlu diperhatikan penggunaan bahan nonlinier agar harmonisa yang timbul tidak terlalu besar[2].

## 2.3 ISTILAH DAN PERSAMAAN HARMONISA

Berikut ini adalah beberapa istilah – istilah dan persamaan pada saat melakukan analisa harmonisa , diantaranya :

### 2.3.1 Orde Harmonik

Yaitu merupakan perbandingan frekuensi harmonic dengan frekuensi dasar, dimana :

$$n = \frac{fn}{f} \quad (2.1)$$

Dengan :

- n = Orde harmonik
- fn = Frekuensi harmonik ke-n
- f = Frekuensi dasar ( fundamental )

sesuai dengan defenisi tersebut maka orde harmonik frekuensi fundamentalnya adalah 1. Artinya orde ke-1 bukan merupakan harmonik, jadi yang dianggap harmonik yaitu orde ke-2 hingga orde ke-n [2].

### 2.3.2 Individual Harmonic Distortion ( IHD )

*Individual Harmonic Distortion* (IHD) adalah perbandingan antara nilai RMS dari harmonisa individual dan nilai RMS dari fundamental (gelombang dasar)[2].

$$IHD = \frac{IHD_h}{I_1} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana:

IHD= IHD orde harmonik ke-h ( h = 2,3,4,5,..)

IHD<sub>h</sub>= Nilai RMS arus atau tegangan harmonik ke-h

I<sub>1</sub>= Nilai RMS arus atau tegangan dasar ( fundamental )

### 2.3.3 Total Harmonic Distortion (THD)

*Total Harmonic Distortion* (THD) adalah besaran yang digunakan untuk ukuran gelombang bukan sinus yang dinyatakan dalam satuan persen (%). Semakin besar prosentase atau nilai THD yang timbul maka menyebabkan semakin besarnya resiko kerusakan peralatan akibat elektronik harmonisa arus ataupun tegangan. Hubungan antara IHD dan THD dapat dilihat dalam persamaan berikut[2]:

$$THD = (IHD_2^2 + IHD_3^2 + IHD_4^2 + IHD_n^2)^{1/2} \quad (2.3)$$

### 2.3.4 Distorsi Harmonisa Arus Total ( THDi)

Rasio penjumlahan nilai RMS seluruh komponen harmonisa arus hingga orde tertentu terhadap nilai RMS komponen arus fundamental[5].

Total Harmonik Distortion Arus

$$THD I = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_1^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.4)$$

### 2.3.5 Distorsi Harmonisa Tegangan Total (THDv)

Rasio penjumlahan nilai RMS seluruh komponen harmonisa tegangan hingga orde tertentu terhadap nilai RMS komponen tegangan fundamental[6].

Total Harmonik Distortion Tegangan

$$THD v = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n V_1^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.5)$$

### 2.3.6 Total Demand Distortion (TDD)

Nilai distorsi arus dapat dilihat pada pengukuran THD arus akan tetapi nilai tersebut bisa saja salah pada saat akan diklarifikasi. Arus yang mengalir kecil bisa saja memiliki nilai THD yang tinggi akan tetapi tidak menjadi masalah serius yang dapat merusak sistem tenaga. Beberapa analisis melihat THD pada arus beban puncak frekuensi dasar dan tidak melihat sampel sesaat pada frekuensi dasar. Hal ini dilakukan untuk menghindari kesulitan pada saat analisis yang disebut dengan *Total Demand Distortion* yang diartikan distorsi permintaan total dan masuk dalam standar IEEE 519-2014, tentang "*Recommended Practices and Requirement for Harmonik Control in Electrical Power Sistem*". Persamaan TDD dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut[7]:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n>1}^{hmax} I_n^2}}{I_1} \quad (2.6)$$

### 2.3.7 Total Harmonik Distortion (THD)

THD adalah ukuran nilai harmonik dari suatu bentuk gelombang yang telah terdistorsi. Indeks ini dapat digunakan untuk menghitung distorsi pada tegangan dan arus[7].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{m>1}^{hmax} M_h^2}}{M_1} \quad (2.7)$$

Persamaan antara rms dan THD adalah sebagai berikut:

$$RMS = \sqrt{\sum_{h=1}^{hmax} M_h^2} = M_1 \sqrt{1 + THD^2} \quad (2.8)$$

### 2.3.8 Daya Aktif

Besar daya nyata yang disalurkan ke beban listrik

$$P = \sqrt{3} \times V \times \cos \phi \quad (2.9)$$

### 2.3.9 Faktor Daya

Besar rasio antara daya aktif (KW ) dan daya total (KVA)

$$PF = \frac{P}{S} \quad (2.10)$$

$$\cos \emptyset = \frac{P_1}{S_1} \quad (2.11)$$

Dimana :

P : Daya Aktif Total

S : Daya Semu Total

P1 : Daya Aktif Fundamental

S1 : Daya Semu Fundamental

## 2.4 Standar Distorsi Harmonisa

Berdasarkan standar IEEE 519 terdapat dua jenis harmonisa yaitu harmonisa arus dan harmonisa tegangan yang masing-masing mempunyai batasan atau standar nilai yang diperbolehkan. Batasan harmonisa yang diperbolehkan tercantum dalam standar IEEE 519 dapat dilihat dalam tabel berikut[3]:

*Tabel 2. IStandar harmonisa arus*

Vn ≤ 69 kV						
ISC/IL	3 ≤ h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h < 50	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100- 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

69 kV < V <sub>n</sub> ≤ 161 kV						
<20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
V <sub>n</sub> > 161 kV						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥50	3.0	1.50	1.15	0.45	0.22	3.75

Standar harmonisa arus : ditentukan oleh rasio  $I_{sc}/I_L$

$I_{sc}$ : Arus hubung singkat yang ada pada PCC (point of commoncoupling)

$I_L$ : Arus beban fundamental nominal.

Nilai arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{sc} = \frac{KVA \times 100}{\sqrt{3} \times Kv \times Z(\%)} \quad (2.12)$$

Dimana :

KVA : Daya terpasang kVA

Z : Impedansi per unit trafo pada daya terpasang

KV : Tegangan nominal

$I_L$  (Arus beban maksimum) dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut :

$$I_L = \frac{KW}{PF \times \sqrt{3} \times KV} \quad (2.13)$$

Dimana :

KW : Daya Aktif

PF : Power Faktor

KV : Tegangan

*Tabel 2. 2 Batas Tegangan Distorsi*

<b>Bus voltage V at PCC</b>	<b>Individual harmonic (%)</b>	<b>Total harmonic distortion THD (%)</b>
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

## 2.5 Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Distribusi Listrik

Pada umumnya harmonisa arus dapat memberikan dampak lebih jika dibandingkan dengan harmonisa tegangan[8]. Pada sistem distribusi listrik ini dampak utama yang ditimbulkannya dari pengaruh harmonisa pada arus dan mengakibatkan bertambahnya nilai RMS fundamentalnya. Setiap komponen pada sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh harmonisa walaupun dengan akibat yang berbeda – beda. Namun bagaimana pun akibat yang ditimbulkan dari adanya harmonisa dapat menyebabkan kerusakan atau penurunan kinerja pada komponen – komponen tersebut. Pada keadaan normal, arus beban setiap fasa dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling mengurangi sehingga arus netralnya menjadi nol . dan begitupun sebaliknya beban tidak linier satu phasa akan menimbulkan harmonic kelipatan 3 ganjil yang biasa disebut triplen harmonic. Dan yang sering disebut dengan zero sequence harmonic (pada tabel 2.3)

*Tabel 2. 3 zero sequence harmonic*

Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Urutan	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Bisa dilihat pada tabel untuk urutan polaritas harmonik yang pertama positif, harmonic kedua urutan polaritasnya negatif , urutan ke tiga harmonic nya nol, dan harmonic keempat adalah positif . begitupun seterusnya.

*Tabel 2. 4 Akibat dari polaritas harmonik*

Urutan	Pengaruh pada motor	Pengaruh pada sistem distribusi
Positif	Menimbulkan medan magnet putar arah maju	Panas
Negatif	Menimbulkan medan magnet putar arah mundur	Panas Arah putaran motor berubah
Nol	Tidak ada	Panas Menimbulkan / menambah arus pada kawat netral

## 2.6 Pengaruh Harmonisa Pada Transformator

Transformator yaitu suatu peralatan kelistrikan yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya tanpa mengubah frekuensi dari system. Adapun prinsip kerja transformator berdasarkan hukum ampere dan hukum faraday, yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan begitupun sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik, merupakan proses konversi energy elektromagnetik. Jika pada salah satu sisi kumparan pada transformator dialiri arus bolak – balik, maka timbul garis gaya magnet yang berubah – ubah sehingga pada kumparan terjadi induksi. Kumparan sekunder yang konstruksinya satu inti dengan kumparan primer akan menerima garis gaya magnet dari primer yang besarnya berubah – ubah. Pengaruh terjadinya harmonisa pada transformator bisa menyebabkan panas berlebih pada kawat netral transformator, serta bisa juga menyebabkan penurunan kapasitas pada transformator itu sendiri. frekuensi harmonisa yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya maka akan mengakibatkan penurunan efisiensi atau bisa menyebabkan kerugian daya[9].

## 2.7 Efek Harmonisa

Efek dari timbulnya harmonisa ini tentu saja merugikan karena bentuk gelombangya tidak lagi berbentuk sinus yang sangat mempengaruhi kinerja

dari peralatan elektronik dalam suatu sistem tenaga listrik. Akibat gelombang listrik tidak lagi sinus maka frekuensi dan amplitudonya berubah atau dapat dikatakan tidak seimbang. Secara umum harmonisa menyebabkan efek diantaranya sebagai berikut:

1. Frekuensi pada sistem mengalami penurunan.
2. Nilai RMS baik arus maupun tegangan mengalami kenaikan.
3. Kenaikan pada puncak arus dan tegangan.

## 2.8 Urutan Fasa Harmonic

Urutan fasa harmonic diidentifikasi menjadi 3 buah kelompok yaitu urutan positif, urutan negative, urutan nol. Bisa dilihat pada tabel Urutan orde [2]:

Tabel 2. 5 Urutan Fasa orde Harmonic

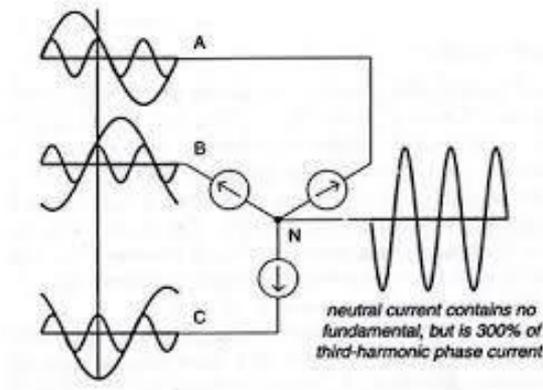
Orde Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Urutan Fasa Harmonik	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	.... .

Jadi secara teratur pola dengan urutan fasa setiap orde harmonic dapat dinyatakan:

- Urutan fasa positif (positive sequence) =  $3h + 1$
- Urutan fasa negative (negative sequence) =  $3h + 1$
- Urutan fasa nol (zero sequence) =  $3h$

## 2.9 Triplen harmonic

Triplen harmonic merupakan kelipatan ganjil dari harmonik ketiga ( $h = 3, 9, 15, 21, \dots$ ) pada sistem 3 fasa 4 kawat seimbang (Gambar 2.5), arus urutan nol dan arus triplen harmonic akan tetap ada dan mengalir melalui kawat netral. Hal ini dikarenakan triplen harmonic memiliki fasa dan waktu yang sama antara ketiga fasa.



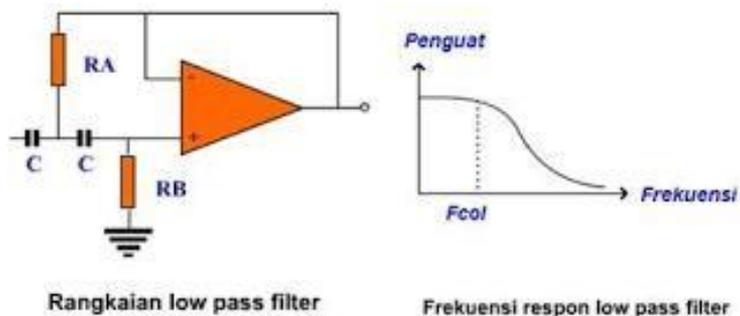
Gambar 2. 5 Triplen Harmonik

## 2.10 Filter Aktif

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

1. untuk frekuensi kurang dari 100 kHz, penggunaan induktor (L) dapat dihindari
2. relatif lebih murah untuk kualitas yang cukup baik, karena komponen pasif yang presisi harganya cukup mahal

Filter aktif sangat handal digunakan pada komunikasi dan sinyal processing, tapi juga sangat baik dan sering digunakan pada rangkaian elektronika seperti radio,



televisi, telepon ,radar, satelit ruang angkasa dan peralatan biomedik. Umumnya filter aktif digolongkan menjadi :

1. Low Pass Filter (LPF)

2. High Pass Filter (HPF)
3. Band Pass Filter (BPF)
4. Band Reject Filter (BPF)

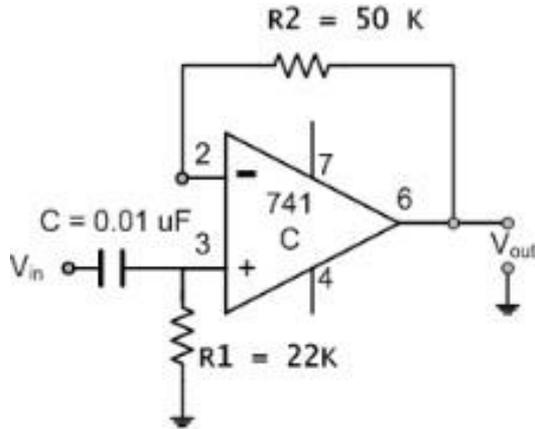
Pada masing masing filter aktif menggunakan op-amp sebagai elemen aktifnya dan resistor, kapasitor sebagai elemen pasifnya. Biasanya dan pada umumnya IC 741 cukup baik untuk rangkaian filter aktif, namun op-amp dengan high speed seperti LM301, LM318 dan lain lainnya dapat juga digunakan pada rangkaian filter aktif untuk mendapatkan slew rate yang cepat dan penguatan serta bandwidth bidang kerja lebih baik.

Beberapa macam filter yang termasuk ke dalam filter aktif adalah :

### 2.10.1 Filter Lolos Bawah (Low Pass Filter)

Tapis pelewat rendah atau tapis lolos rendah (*low-pass filter*) digunakan untuk meneruskan sinyal berfrekuensi rendah dan meredam sinyal berfrekuensi tinggi. Sinyal dapat berupa sinyal listrik seperti perubahan tegangan maupun data-data digital seperti citra dan suara. Untuk sinyal listrik, low-pass filter direalisasikan dengan meletakkan kumparan secara seri dengan sumber sinyal atau dengan meletakkan kapasitor secara paralel dengan sumber sinyal. Contoh penggunaan filter ini adalah pada aplikasi audio, yaitu pada peredaman frekuensi tinggi (yang biasa digunakan pada tweeter) sebelum masuk speaker bass atau *subwoofer* (frekuensi rendah). Kumparan yang diletakkan secara seri dengan sumber tegangan akan meredam frekuensi tinggi dan meneruskan frekuensi rendah, sedangkan sebaliknya kapasitor yang diletakkan seri akan meredam frekuensi rendah dan meneruskan frekuensi tinggi. Suatu filter lolos bawah orde satu dapat dibuat dari satu tahanan dan satu kapasitor. Filter orde satu ini mempunyai pita transisi dengan kemiringan - 20 dB/dekade atau -6 dB/oktav. Penguatan tegangan untuk frekuensi lebih rendah dari frekuensi cut off adalah:  $A_v = - R_2 / R_1$  sementara besarnya frekuensi cut off didapat dari:  $f_c = 1 / (2 \cdot R_2 C_1)$

### 2.10.2 Filter Lolos Atas (High Pass Filter)

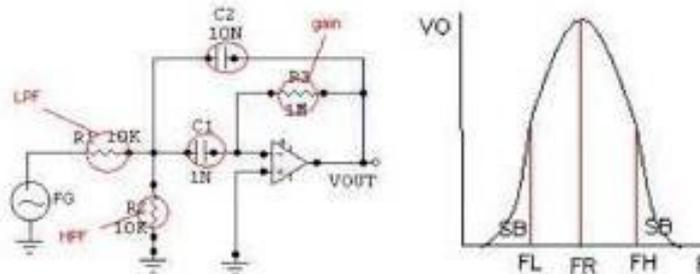


Gambar 2. 6 Rangkaian High Pass Filter

**High pass filter** adalah jenis filter yang melewatkan frekuensi tinggi, tetapi mengurangi amplitudo frekuensi yang lebih rendah daripada frekuensi cutoff. Nilai-nilai pengurangan untuk frekuensi berbeda-beda untuk tiap-tiap filter ini. Terkadang filter ini disebut **low cut filter**, **bass cut filter** atau **rumble filter** yang juga sering digunakan dalam aplikasi audio. High pass filter adalah lawan dari low pass filter, dan **band pass filter** adalah kombinasi dari high pass filter dan low pass filter. Filter ini sangat berguna sebagai filter yang dapat memblokir component frekuensi rendah yang tidak diinginkan dari sebuah sinyal kompleks saat melewati frekuensi tertinggi.

High pass filter yang paling simple terdiri dari kapasitor yang terhubung secara paralel dengan resistor, dimana resistansi dikali dengan kapasitor (RXC) adalah time constant ( $\tau$ ). Suatu filter lolos bawah orde satu dapat dibuat dari satu tahanan dan satu kapasitor. Filter orde satu ini mempunyai pita transisi dengan kemiringan 20 dB/dekade atau 6 dB/oktav. Penguatan tegangan untuk frekuensi lebih tinggi dari frekuensi cut off adalah:  $A_v = - R_2 / R_1$  sementara besarnya frekuensi cut off didapat dari:  $f_c = 1 / (2 \cdot R_1 C_1)$

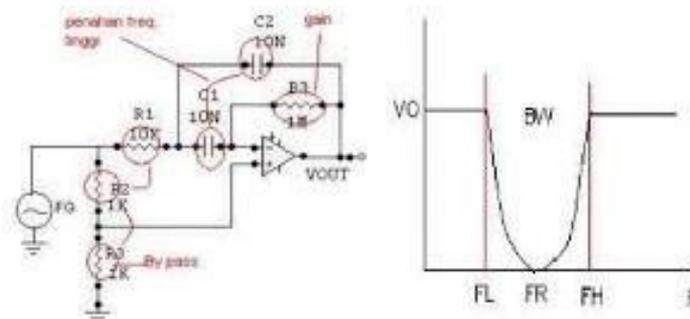
### 2.10.3 Filter Lolos Pita (Band Pass Filter)



Gambar 2. 7 Rangkaian Band Pass Filter Dan Respon

Sebuah band-passfilter merupakan perangkat yang melewati frekuensi dalam kisaran tertentu dan menolak (*attenuates*) frekuensi di luar kisaran tersebut. Contoh dari analog elektronik band pass filter adalah sirkuit RLC (resistor-induktor-kapasitor). Filter ini juga dapat dibuat dengan menggabungkan -pass filter rendah dengan -pass filter tinggi .Band pass filter digunakan terutama di nirkabel pemancar dan penerima. Fungsi utama filter seperti di pemancar adalah untuk membatasi bandwidth sinyal output minimum yang diperlukan untuk menyampaikan data pada kecepatan yang diinginkan dan dalam bentuk yang diinginkan. Pada *receiver* Sebuah band pass filter memungkinkan sinyal dalam rentang frekuensi yang dipilih untuk didengarkan, sementara mencegah sinyal pada frekuensi yang tidak diinginkan. Penguatan tegangan untuk pita lolos adalah:  $A_v = (-R_2 / R_1) (-R_4 / R_3)$  Besarnya frekuensi cut off atas didapat dari:  $f_{CH} = 1 / (2.R_1C_1)$  Besarnya frekuensi cut off bawah didapat dari:  $f_{CL} = 1 / (2.R_4C_2)$ .

### 2.10.4 Filter Tolak Rendah (Band Stop Filter)



## Gambar 2. 8 Band Stop Filter dan Respon

Dalam pemrosesan sinyal, filter band-stop atau band-penolakan filter adalah filter yang melewati frekuensi paling tidak berubah, tetapi attenuates mereka dalam rentang tertentu ke tingkat yang sangat rendah. Ini adalah kebalikan dari filter band-pass. Sebuah filter takik adalah filter band-stop dengan stopband sempit (tinggi faktor Q). Notch filter digunakan dalam reproduksi suara hidup (Public Address sistem, juga dikenal sebagai sistem PA) dan instrumen penguat (terutama amplifier atau preamplifiers untuk instrumen akustik seperti gitar akustik, mandolin, bass instrumen amplifier, dll) untuk mengurangi atau mencegah umpan balik, sedangkan yang berpengaruh nyata kecil di seluruh spektrum frekuensi. band filter membatasi 'nama lain termasuk', 'Filter T-takik', 'band-eliminasi filter', dan 'menolak band-filter'. Biasanya, lebar stopband kurang dari 1-2 dekade (yaitu, frekuensi tertinggi dilemahkan kurang dari 10 sampai 100 kali frekuensi terendah dilemahkan). Dalam pita suara, filter takik menggunakan frekuensi tinggi dan rendah yang mungkin hanya semitone terpisah.

Filter aktif mempunyai keuntungan dibandingkan filter pasif yaitu :

- a) Penguatan dan frekuensinya mudah diatur, selama op-amp masih memberikan penguatan dan sinyal input tidak sekaku seperti pada filter pasif. Pada dasarnya filter aktif lebih gampang diatur.
- b) Tidak ada masalah beban, karena tahanan inputtinggi dan tahanan output rendah. Filter aktif tidak membebani sumber input.<sup>20</sup>
- c) Harga, umumnya filter aktif lebih ekonomis dari pada filter pasif, karena pemilihan variasai dari op-amp yang murah dan tanpa induktor yang biasanya harganya mahal.

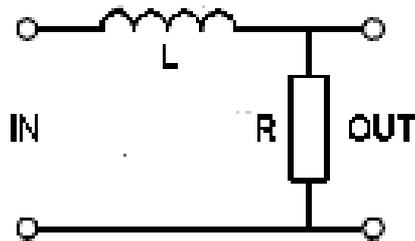
### 2.11 Filter Pasif.

Filter banyak digunakan untuk memberikan sirkuit seperti amplifier, osilator dan sirkuit power supply karakteristik frekuensi yang diperlukan. Beberapa contoh diberikan di bawah ini. Mereka menggunakan kombinasi dari R, L dan C. Induktor dan Kapasitor bereaksi terhadap perubahan frekuensi dengan cara yang berlawanan. Melihat sirkuit untuk filter lolos rendah, baik LR dan kombinasi CR menunjukkan telah efek yang sama, tapi perhatikan bagaimana posisi L dan C tempat perubahan dibandingkan dengan R untuk mencapai hasil yang sama. Umumnya penggolongan filter pasif sama dengan filter aktif, hanya saja komponen penyusunnya dari jenis filter ini yang berbeda dengan filter aktif. Berikut adalah penggolongan dari filter pasif yaitu [10]:

1. Low Pass Filter (LPF)
2. High Pass Filter (HPF)
3. Band Pass Filter (BPF)
4. Band Reject Filter (BPF)

Berikut penjelasan dari masing- masing jenis dari filter pasif ini.

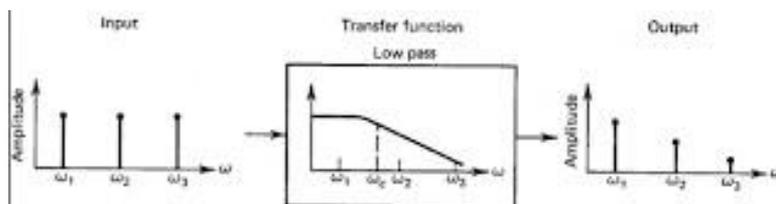
### 2.11.1 Low pass filter.



Gambar 2. 9 Rangkaian RC

Rangkaian RC seri ini mirip dengan rangkaian pembagi tegangan dari dua buah hambatan seri, sehingga tegangan out putnya adalah:

$$V_{out} = \frac{1/j\omega C}{1/j\omega C + R} V_{in} \quad (2.14)$$

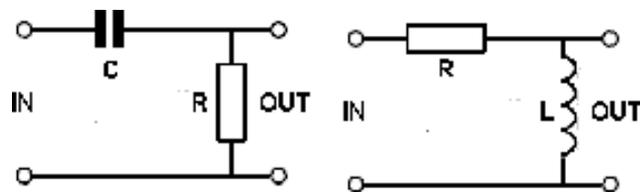


Gambar 2. 10 Proses dari Low Pass Filter

Filter lolos rendah digunakan untuk menghapus atau menipiskan frekuensi yang lebih tinggi di sirkuit seperti amplifier audio; mereka memberikan respon frekuensi yang diperlukan untuk rangkaian penguat. Frekuensi di mana filter low pass mulai mengurangi amplitudo sinyal dapat dibuat disesuaikan. Teknik ini dapat digunakan

dalam penguat audio sebagai "TONE" atau "TREBLE CUT" kontrol. LR filter low pass filter dan high pass CR juga digunakan dalam sistem speaker untuk band rute yang sesuai frekuensi untuk desain yang berbeda dari speaker (yaitu 'woofer' untuk frekuensi rendah, dan 'Tweeters' untuk reproduksi frekuensi tinggi). Pada aplikasi ini kombinasi pass filter tinggi dan rendah disebut "crossover filter". Kedua filter CR dan LC lulus rendah yang menghilangkan hampir SEMUA frekuensi di atas hanya beberapa Hz digunakan dalam rangkaian power supply, di mana hanya DC (nol Hz) diperlukan pada output.

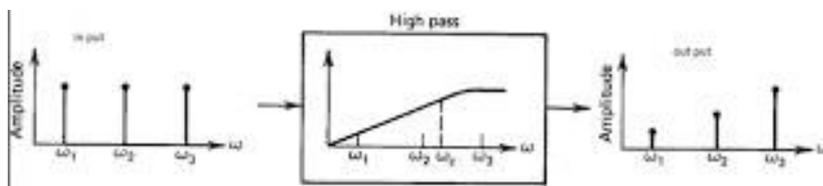
### 2.11.2 High pass filter.



Gambar 2. 11 Rangkaian High Pass Filter

Dengan memanfaatkan rangkaian pembagi tegangan maka dapatlah outputnya yaitu :

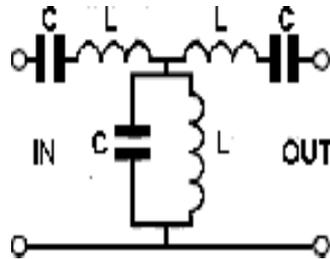
$$V_{out} = \frac{R}{1 + j\omega C R} V_{in} \quad (2.15)$$



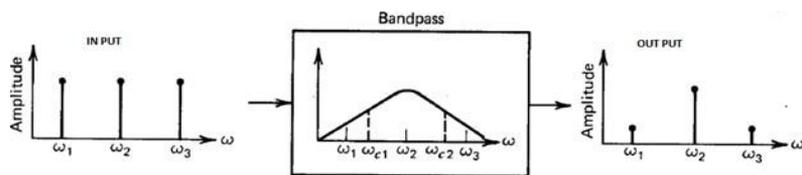
Gambar 2. 12 proses Rangkaian High Pass Filter

Pass filter tinggi digunakan untuk menghilangkan atau meredam frekuensi yang lebih rendah di amplifier, terutama audio amplifier mana ia dapat disebut "BASS CUT" sirkuit. Dalam beberapa kasus ini juga dapat dilakukan disesuaikan.

### 2.11.3 Band pass filter.



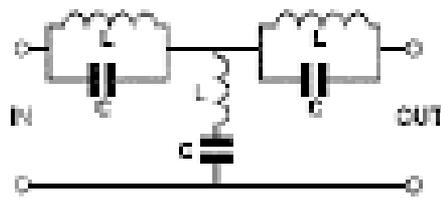
Gambar 2. 13 Rangkaian Band Pass Filter



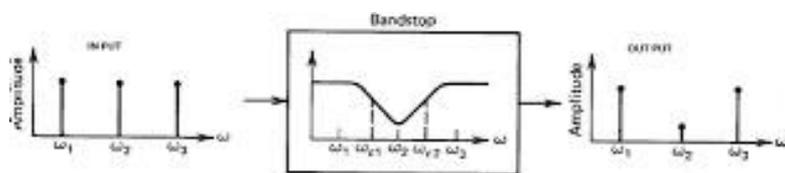
Gambar 2. 14 Proses pada Band Pass Filter

Band pass filter mengizinkan hanya sebuah band frekuensi yang diperlukan untuk lulus, dan menolak sinyal di semua frekuensi di atas dan di bawah band ini. Desain tertentu disebut filter T karena cara komponen digambar dalam diagram skematik. Filter T terdiri dari tiga unsur, dua seri terhubung LC sirkuit antara input dan output, yang membentuk jalan impedansi rendah untuk sinyal dari frekuensi yang diperlukan, namun memiliki impedansi tinggi untuk semua frekuensi lainnya. Selain itu, LC paralel sirkuit terhubung antara jalur sinyal (di persimpangan dari dua sirkuit seri) dan tanah untuk membentuk impedansi tinggi pada frekuensi yang diperlukan, dan impedansi rendah pada semua orang lain. Karena ini desain dasar membentuk hanya satu tahap penyaringan ia juga disebut filter 'urutan pertama'. Meskipun dapat memiliki sebuah band lulus cukup sempit, jika dipotong lebih tajam dari yang diperlukan, filter kedua dapat ditambahkan pada output filter pertama, untuk membentuk filter 'tingkat dua'.

### 2.11.4 Stop band filter.



Gambar 2. 15 Rangkaian Stop Band Filter



Gambar 2. 16 Proses Pada Stop Band Filter

Filter ini memiliki efek sebaliknya untuk filter band pass, ada dua paralel LC sirkuit di jalur sinyal untuk membentuk impedansi tinggi pada frekuensi sinyal yang tidak diinginkan, dan rangkaian seri membentuk jalur impedansi rendah ke tanah pada frekuensi yang sama, untuk menambahkan untuk penolakan.

### 2.11.5 Perancangan Filter

Cara menentukan nilai kapasitansi kapasitor sesuai kebutuhan kompensasi faktor daya[1].

$$Q_c = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (2.16)$$

Dimana :

P adalah Daya beban nonlinier

$\theta_1$  adalah faktor daya pada sistem

$\theta_2$  adalah faktor daya normal

$Q_c$  adalah perbaikan faktor daya

Menentukan nilai kapasitor

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (2.17)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (2.18)$$

Dimana :

C adalah nilai kapasitor

V adalah tegangan pada saluran (kV)

QC adalah perbaikan faktor daya

XC adalah nilai kapasitor pada simulasi

f adalah frekuensi fundamental (Hz)

Nilai induktor dicari berdasarkan prinsip resonansi

$$L = \frac{1}{(C)(2\pi fn)^2} \quad (2.19)$$

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.20)$$

Dimana :

L adalah Nilai Induktor

C adalah Nilai kapasitor

n adalah Nilai orde harmonisa yang akan dieliminasi

XL adalah Nilai induktor pada simulasi

Menentukan nilai resistor

$$R = \frac{n \times X_L}{Q} \quad (2.21)$$

Dimana :

Q adalah Ukuran ketajaman filter

R adalah Nilai resistor

XL adalah Nilai induktor pada simulasi

n adalah Nilai orde harmonisa yang akan dieliminasi