

Abdorrhakman Gintings¹, Indriarto Yuniartoro², Sipahutar Harlan³

¹⁾ Universitas Islam Nusantara, ^{2),3)} Universitas Kebangsaan

E-mail: agintings@yahoo.com, indy_singnet@yahoo.com, sipahutar.harlan@gmail.com

Abstract: *This paper is intended to present a practical set of tone controllers in an audio amplifier using the LM 741 Operating Amplifier (Op.Amp.) Type and is easily obtainable on the market. The discussion is supplemented by the calculation used to determine the value of the resistor filter component R and the capacitor (C) according to the desired cutoff frequency (fc). For practical purposes, drawing a connection pattern on Printed Circuit Board (PCB) is also presented. Since the discussion is still theoretical, it is suggested that once the circuit is built, test the frequency response of the circuit by feeding the audio signal from the AF Generator and draw the Bode diagram to show the frequency response.*

Keyword: Op.Amp LM741, RC circuit, the frequency response.

Abstrak: Makalah ini ditujukan untuk menyajikan perangkat pengatur nada yang praktis dalam penguat audio menggunakan Penguat Operasional LM 741 (Op.Amp.) yang mudah didapat di pasaran. Pembahasan dilengkapi dengan perhitungan untuk menentukan nilai komponen filter, resistor (R) dan kapasitor (C) sesuai dengan frekuensi cutoff (fc) yang diinginkan. Untuk keperluan praktis, gambar pola koneksi pada papan sirkuit tercetak atau Printed Circuit Board (PCB) juga ditampilkan. Karena pembahasannya masih bersifat teoritis, disarankan agar setelah rangkaian dibangun, lakukan uji tanggapan frekuensi rangkaian dengan memberi isinyal audio yang bervariasi dari Generator AF dan menggambar diagram Bode dari tanggapan frekuensinya.

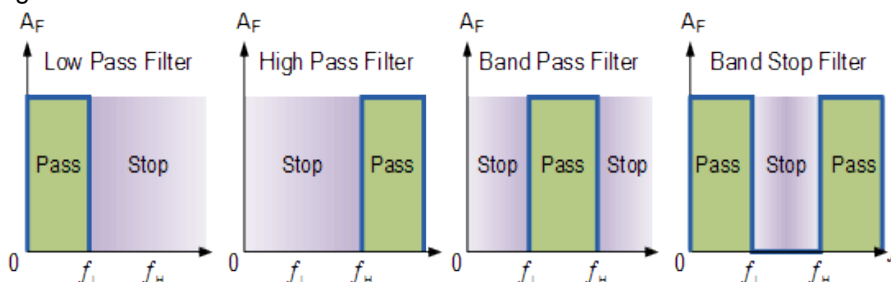
Kata Kunci: Op.Amp LM741, rangkaian RC, respon frekuensi.

PENDAHULUAN

Makalah ini ditujukan untuk menyajikan perangkat pengatur nada yang praktis dalam penguat audio menggunakan filter pasif rangkaian RC dan filter aktif Penguat Operasional LM 741 (Op.Amp.) yang mudah didapat di pasaran. Pembahasan dilengkapi dengan perhitungan untuk menentukan nilai komponen filter, resistor (R) dan kapasitor (C) sesuai dengan frekuensi *cutoff* (fc) yang diinginkan. Untuk keperluan praktis, gambar pola koneksi pada papan sirkuit tercetak atau *Printed Circuit Board* (PCB) juga ditampilkan. Karena pembahasannya masih bersifat teoritis, disarankan agar setelah rangkaian dibangun, lakukan uji respon frekuensi rangkaian dengan memberi isinyal audio yang bervariasi dari Generator AF dan menggambarkan diagram Bode dari respon frekuensinya

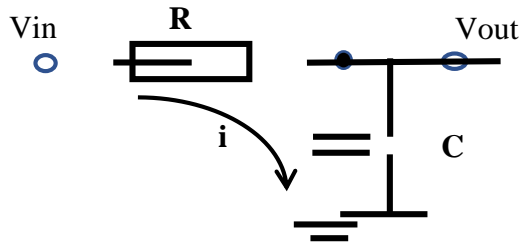
TINJAUAN TEORITIS

Filter pasif adalah rangkaian listrik yang tersusun dari kombinasi sebuah resistor (R) dengan sebuah komponen pasif lainnya yaitu kapasitor (C) maupun induktor (L). Dalam frekuensi rendah rangkaian penguat audio, filter pasif digunakan untuk menapis sinyal dengan cara menahan (*block*) interval frekuensi sinyal tertentu dan melewatkan (*pass*) interval frekuensi sinyal lainnya. Secara matematis rangkaian yang terdiri dari komponen RC dan RL menghasilkan persamaan diferensial tingkat satu dan disebut rangkaian filter orde pertama atau *first order filter*. Sedangkan dalam frekuensi tinggi rangkaian penguat audio, digunakan rangkaian komponen pasif kombinasi RLC menghasilkan persamaan diferensial tingkat dua dan disebut rangkaian filter orde kedua atau *second order filter*. Rangkaian filter orde kedua dapat juga dibangun dengan menggunakan dua tingkat rangkaian filter orde pertama. Untuk rangkaian filter orde pertama ada 4 (empat) macam filter sebagai hasil kombinasi komponen RC yaitu *low-pass filter* (LPF), *high-pass filter* (HPF), *band-pass filter*, dan *band-stop filter* dengan respon frekuensi ideal seperti gambar 1 berikut ini.



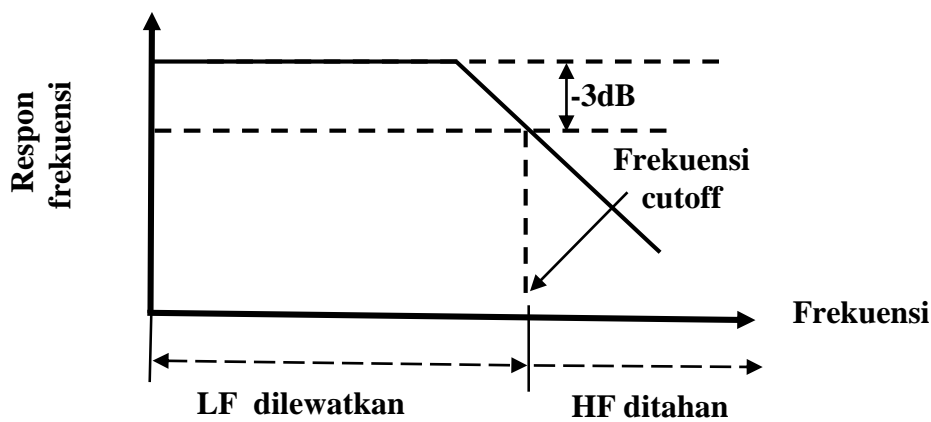
Gambar 1: Respon frekuensi ideal rangkaian filter orde pertama

Dalam pengatur nada suatu penguat audio, LPF digunakan untuk melewatkan nada-nada rendah (bass) sedangkan HPF digunakan untuk melewatkan nada-nada tinggi (treble). Rangkaian LPF dengan komponen RC terlihat pada gambar 2. Prinsip kerja rangkaian tersebut secara sederhana dapat dijelaskan dengan merujuk kepada sifat dari kedua komponen pasif R dan C yang membentuknya ketika dilalui arus bolak balik atau AC. R atau resistor adalah komponen yang besar tahanan atau perlawanannya tetap sama sekalipun frekuensi arus listrik yang mengalirinya berubah. Itu sebabnya, nilai tahanan resistor ketika diberi tegangan arus searah (DC) dan tegangan arus bolak-balik (AC) tidak berbeda.



Gambar 2. Rangkaian filter pasif RC *lowpass filter* (LPF).

Berbeda dengan resistor (R) maka kapasitor (C) bergantung pada tingginya frekuensi dari arus listriknya. Reaktansi kapasitif dari suatu kapasitor (C) yang besarnya dihitung dengan rumus; $X_c = (\frac{1}{2\pi fC})$. Artinya, semakin besar frekuensi semakin kecil X_c , sebaliknya semakin rendah frekuensinya semakin besar pula X_c . Sehingga besarnya V_{out} berbanding terbalik dengan tingginya frekuensi sinyal yang masuk, semakin tinggi frekuensi semakin kecil V_{out} dan sebaliknya semakin rendah frekuensi, semakin tinggi V_{out} . Dapat difahami jika rangkaian RC dengan C dipasang seri berfungsi sebagai penapis frekuensi rendah atau *Low Pass Filter* (LPF) yang melewatkan sinyal dengan frekuensi rendah dan menahan sinyal dengan frekuensi tinggi sebagaimana dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Respon frekuensi *lowpass filter* (LPF).

Besarnya frekuensi *cut-off* (f_c) pada proses filterisasi (penapisan) dapat ditentukan dengan syarat harga resistor (R) sama dengan besar reaktansi kapasitif yang di haikkan oleh kapasitor (C), dengan kata lain $R = X_c$. Sehingga dengan memasukkan harga ³⁾

$$R = X_c = (\frac{1}{2\pi fC}) \tag{1}$$

maka diperoleh frekuensi *cut-off* (f_c) sebagai berikut $f_c = (\frac{1}{2\pi RC})$. Yang juga perlu diperhatikan adalah *Gain* atau penguatan tegangan yang terjadi pada frekuensi f_c yang dapat dianalisis sebagai berikut ini.

Gain atau $A_v = (\frac{V_{out}}{V_{in}})$ dimana diketahui $V_{in} = i(R+X_c)$ dan bahwa $(R + X_c) = Z$ adalah impedansi yang merupakan resultante vektor R dan vektor X_c maka $V_{in} = iZ$ dan $V_{out} = iX_c$ sehingga *gain* atau A_v berharga

$$A_v = X_c/Z \tag{2}$$

Sekalipun pada f_c : besar $R = X_c$ tetapi tidak bisa dikatakan bahwa $Z = 2X_c$ karena keduanya dalam bentuk vektor. Yang benar pada f_c vektor R sama besar dengan vektor X_c dan besarnya $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$. Selanjutnya untuk

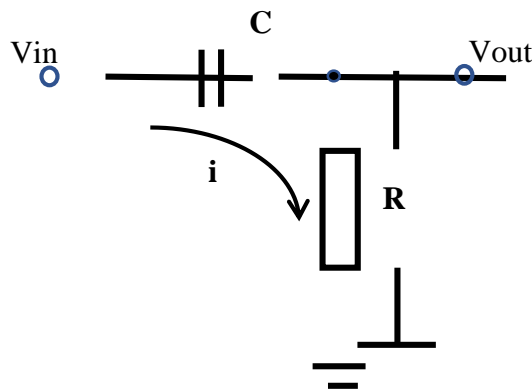
menentukan *Gain* pada frekuensi *cut-off* (f_c) ditentukan dengan menghitung $A_v = X_c / \sqrt{R^2 + X_c^2}$. Karena harga $R = X_c$, maka $A_v = X_c / \sqrt{X_c^2 + X_c^2} = X_c / \sqrt{2X_c^2} = 1/\sqrt{2} = 0,707$. Dengan demikian pada f_c diperoleh:

$$\begin{aligned} V_{out} &= A_v \cdot V_{in} \\ &= 0,707 V_{in} \end{aligned} \tag{3}$$

Ini dapat dilihat bahwa pada diagram Bode yang memperlihatkan respon frekuensi LPF, tegangan keluaran V_{out} menurun menjadi $0,707 V_{in}$ pada titik f_c . Karena penguatan lazimnya dinyatakan dalam satuan desibell atau dB, maka:

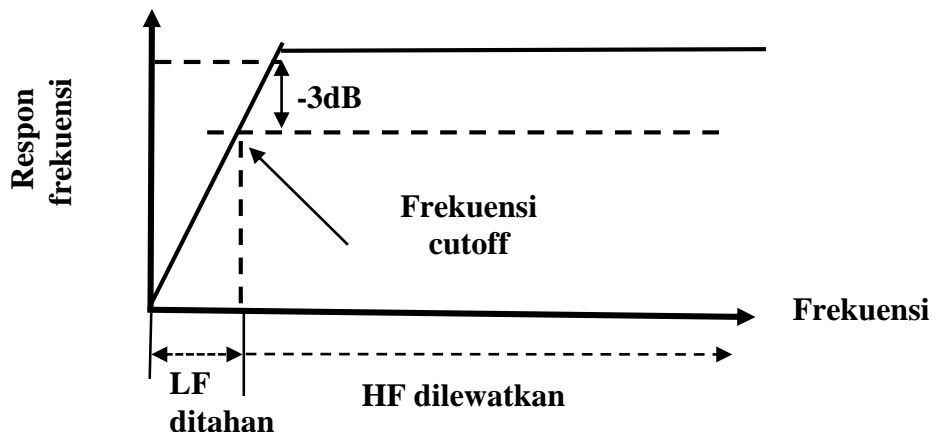
$$\begin{aligned} A_v \text{ (dB)} &= 20 \log A_v \\ &= 20 \log 0,707 \\ &= -3 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Untuk bahasan tentang rangkaian *highpass filter* (HPF) seperti terlihat dalam gambar 4 yang dibangun dengan merangkai seri RC di depan R, kebalikan dari posisi keduanya pada rangkaian LPF. Prinsip kerja rangkaian secara sederhana dapat dijelaskan dengan merujuk kepada sifat dari kedua komponen pasif R dan C yang membentuknya ketika dilalui arus bolak balik (AC).



Gambar 4. Rangkaian filter pasif RC *highpass filter* (HPF).

Pada frekuensi rendah, reaktansi X_c menjadi semakin tinggi dan tegangan jatuh (V_c) menjadi tinggi pula. Karena $V_{out} = V_R = V_{total} - V_c$, maka tegangan V_{out} adalah rendah pada saat frekuensi sinyal rendah. Sebaliknya, ketika frekuensi sinyal input tinggi, besarnya X_c kecil dan tegangan jatuh (V_c) rendah, sebaliknya tegangan pada resistor V_R yang juga adalah V_{out} besar. Mudah difahami jika rangkaian RC dengan R dipasang seri setelah C akan berfungsi sebagai penapis frekuensi tinggi atau *High Pass Filter* (HPF) terhadap sinyal dengan frekuensi tinggi dan menahan sinyal dengan frekuensi rendah sebagaimana dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Respon frekuensi *High Pass Filter* (HPF).

Pada rangkaian LPF diperoleh bahwa pada frekuensi *cut-off* (f_c) sebesar $V_{out} = 0,707 V_{in}$ *gain* tegangan dalam dB atau $A_v \text{ (dB)} = -3\text{dB}$. Ini berarti terdapat perbedaan sebesar 3dB antara tegangan pada f_c dengan tegangan maksimum pada saat sinyal dilewatkan. Dengan demikian tegangan luaran (V_{out}) selalu lebih kecil dari tegangan input (V_{in}) karena terjadinya kehilangan tegangan akibat pembebanan pada rangkaian filternya sendiri.

Untuk filter aktif diperlukan komponen rangkaian terpadu atau *integrated circuit* (IC) yang difungsikan sebagai penguat tegangan. Rangkaian filter aktif kerugian tegangan akibat pembebanan dapat diatasi karena tegangan input (V_{in}) terlebih dahulu dikuatkan sebelum dilalukan sebagai tegangan luaran (V_{out}). Penggunaan rangkaian aktif juga dapat menaikkan impedansi input (Z_{in}) sehingga kehilangan tegangan dapat ditekan seminimal mungkin. Keuntungan lain menggunakan filter aktif yaitu *slope* atau penurunan tegangan atau kenaikan tegangan setelah frekuensi *cut-off*nya bisa dibuat curam. Dengan demikian penahanan sinyal pada frekuensi yang tidak diinginkan dapat dilakukan secara efektif. Pada penggunaan filter aktif diperlukannya catu daya untuk mengaktifkan komponen aktifnya. Selain itu, filter aktif membutuhkan komponen yang lebih banyak terutama digunakannya komponen aktif selain komponen aktifnya.

Pengatur nada dalam sistem penguat audio tipe LM 741⁴⁾.

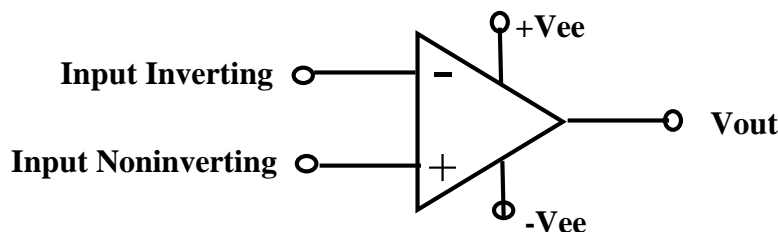
Untuk memahami fungsi pengatur nada dalam sistem penguat audio dapat dilihat pada gambar 6. Gelombang akustik yang merupakan gelombang listrik diumpankan ke rangkaian penguat depan atau *Pre Amplifier* untuk dua tujuan utama yaitu pertama menyelaraskan impedansi antara *transducer* dengan rangkaian berikutnya dan kedua untuk menyesuaikan level tegangan gelombang listrik dengan batas tegangan input minimal yang dapat diproses oleh rangkaian penguat daya.



Gambar 6: Diagram blok penempatan pengatur nada dalam sistem penguat audio.

Akan tetapi, jika suara yang diperkuat adalah bunyi musik atau lagu yang didengarkan penyanyi, maka tentu saja pendengar ingin menikmati suara yang jelas dan merdu. Jika kejelasan ditentukan oleh amplitudo yang akan diperkuat oleh *Power Amplifier* atau penguat daya, kemerduan ditentukan oleh kejelasan nada. Oleh sebab itu, diperlukan pengatur nada disamping pengatur volume suara. Setelah dilakukan pengaturan nada, selanjutnya sinyal diberikan kepada penguat daya yang akan menguatkan amplitudonya. Kemudian gelombang listrik yang telah diperkuat dayanya diteruskan ke *Loud Speaker* (LS) yang akan mengubah gelombang listrik menjadi gelombang akustik agar dapat didengar manusia dengan menggunakan telinga yang bekerja dengan getaran akustik.

Penguat Operasional atau Op.Amp. adalah rangkaian terpadu atau *integrated circuit* (IC) linier yang berisi sejumlah komponen aktif transistor dan dioda serta komponen pasif resistor dan kapasitor yang disambungkan sehingga membentuk rangkaian penguat dengan penguatan atau *gain* yang tinggi pada interval frekuensi yang lebar. Simbol Op. Amp yang digunakan dalam rangkaian elektronika diperlihatkan dalam gambar 7.



Gambar 7: Simbol penguat operasional (Op. Amp).

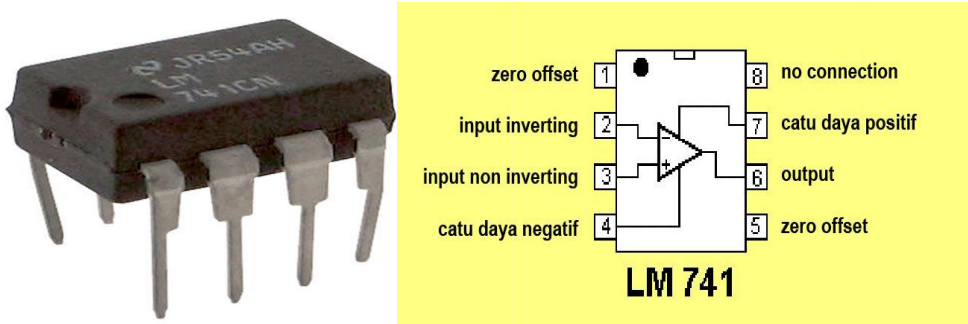
Penguat operasional Op. Amp. memiliki dua terminal input, *inverting* dan *noninverting*. Apabila sinyal *input* diumpankan ke Op. Amp. melalui terminal *input inverting*, maka *output*nya selain diperkuat tegangannya juga akan berbeda fasa 180° dengan *input*nya. Sebaliknya jika diumpankan melalui terminal *noninverting input* maka tegangan input diperkuat tanpa perbedaan fasa antara ouput dengan inputnya. Fungsi yang ditampilkan oleh Op. Amp. ditentukan oleh rangkaian komponen pasif yang tersambung secara eksternal. Jika dirangkai sebagai penguat, besarnya *Gain* atau penguatan yang dihasilkan oleh Op. Amp. ditentukan oleh nilai resistor eksternal yang tersambung dengannya. Ketika komponen RC yang dirangkai sebagai filter pasif dihubungkan kepada Op.

Amp. Maka akan menghasilkan filter aktif. Pada penguat operasional, Op. Amp. dibutuhkan dua tegangan catu, +V_{ee} dan -V_{ee}. Oleh sebab itu untuk membuat rangkaian elektronika menggunakan Op. Amp. memerlukan catu daya dengan output kembar yaitu +V_{ee} dan -V_{ee} yang sama besar tetapi berbeda 180° polaritasnya.

Salah satu penguat Op. Amp. yang dijual di pasaran adalah tipe LM 741 yang diproduksi oleh Texas Instrument. Beberapa karakteristik utama IC LM 741 sebagaimana dicantumkan dalam katalog adalah sebagai berikut:

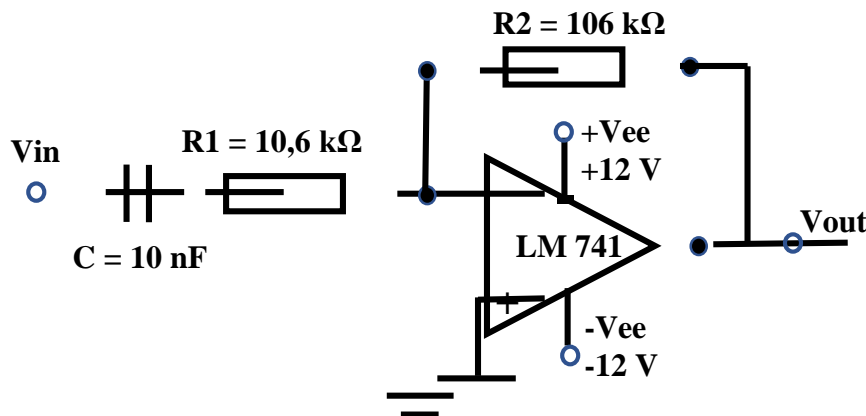
- Jajaran tegangan Input yang besar
- Penguatan yang tinggi
- Proteksi dari konsleting
- Tidak ada kompensasi frekuensi
- Konsumsi daya pada tegangan catu V_S = ±15 V, T_A = 25°C, adalah 50 s.d. 85 mW
- Arus catu pada T_A = 25°C adalah 1.7 s.d. 2.8 mA.

Op. Amp. diproduksi dalam 2 (dua) bentuk kemasan, silinder dan kotak tetapi bentuk kotak lebih populer. Pada gambar 8 memperlihatkan kemasan bentuk kotak dan susunan pin atau kaki-kaki Op. Amp. LM 741 ²¹



Gambar 8: Kemasan bentuk kotak dan susunan pin IC LM 741.

Rangkaian lengkap HPF yang menggunakan Op. Amp. LM 741 yang dirancang sebagai pengatur nada dengan frekuensi *cut-off* 10 Hz adalah seperti diperlihatkan pada gambar 9 berikut ini



Gambar 9: Rangkaian lengkap HPF menggunakan LM 741 untuk $f_c = 10$ Hz

Untuk melakukan perhitungan terhadap parameter utama penguat operasional Op.Amp LM741 dapat dilakukan dengan syarat bats berikut

Tegangan Catu V_{ee}: +/- 12V

Frekuensi *cut-off* $f_c = 15$ KHz

Jika digunakan C = 10nF maka dari persamaan-1 diperoleh besarnya R1 adalah:

$$\begin{aligned}
 R1 &= \left(\frac{1}{2\pi f_c C}\right) \\
 &= 1/(6,28 \times 15 \text{ KHz} \times 10 \text{ nF}) \\
 &= 1/0,0000942 \\
 &= 10615,71 \Omega \\
 &= 10,6 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

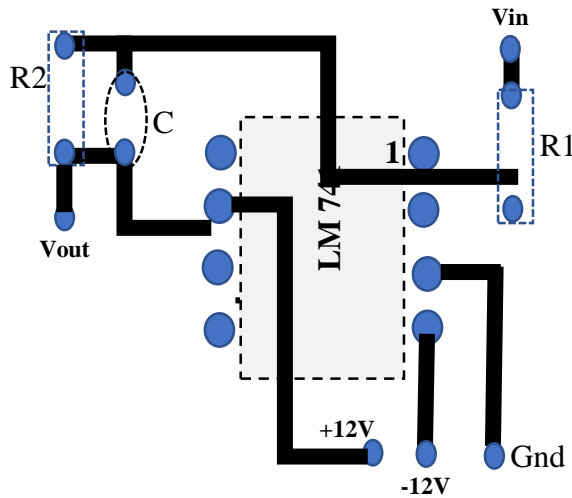
Kemudian dari persamaan-2 jika besarnya *gain* atau penguatan tegangan $A_v = 10x$, maka besarnya R2 adalah:

$$\begin{aligned}
 A_v &= R2/R1 \\
 R2 &= A_v \times R1
 \end{aligned}$$

$$R2 = 10 \times 10,6 \text{ k}\Omega$$

$$= 106 \text{ k}\Omega$$

Sedangkan rangkaian lengkap HPF menggunakan penguat Op. Amp. LM 741 yang dirancang sebagai pengatur nada dengan frekuensi *cut-off* 10 Hz dan pola sambungan pada papan rangkaian tercetak atau *printed circuit board* (PCB)nya seperti pada gambar 10.



Gambar 10: Pola sambungan pada papan rangkaian tercetak *printed circuit board* (PCB).

KESIMPULAN BAHASAN

Secara teoritis, dapat di ketahui uji respon frekuensi dengan memberi isinyal audio yang bervariasi dari Generator AF dan menggambarkan diagram Bode dari respon frekuensi tersebut. Dalam bahasan ini pengatur nada dari suatu rangkaian filter pasif menggunakan rangkaian RC dan filter aktif penguat operasional LM741 (Op.Amp.) telah diuraikan dan menghasilkan *gain* untuk diagram Bode sebesar -3dB. Perhitungan sederhana dilakukan terhadap harga R pada frekuensi *cutoff* (f_c) yang diinginkan. Untuk keperluan praktis, gambar pola koneksi pada papan sirkuit tercetak atau *Printed Circuit Board* (PCB) juga ditampilkan. Selanjutnya disarankan agar rangkaian yang dibangun dapat di implementasikan ke dalam pengujian kondisi riil.

DAFTAR PUSTAKA

- Gibilisco, Stan: *Teach Yourself Electricity and Electronics (Forth Edition)*, New York, McGraw Hill, 2006.
 CatalogTexas Instrument Incorporated: LM 741 Data Book, 2015.
 Gintings, Abdorrahman: *Rangkaian Arus Bolak Balik (Jobsheet)*, Bandung, PPPG, 1983.
 Gintings: Abdorrahman: *Sistem Penguat Audio (Jobsheet)*, Bandung, PPPG Teknologi, 1983.
 Bird, D: *Radio Receiver (Jobsheet)*, Melbourne, Royal Melbourne Institute of Technology, 1982.