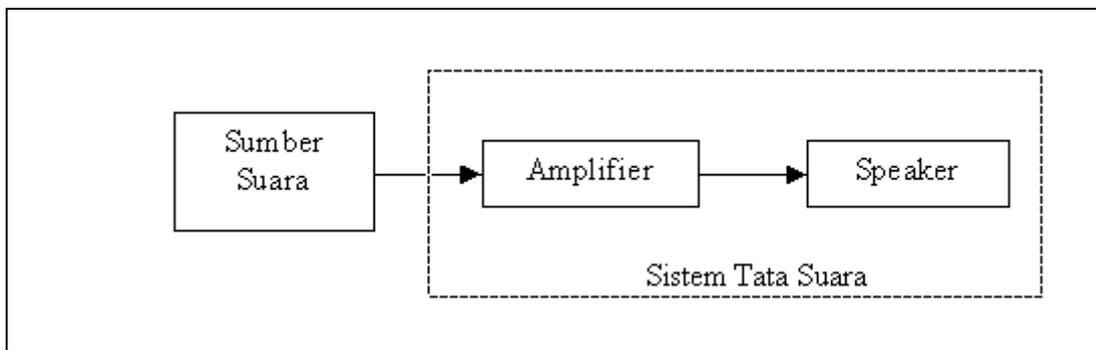


3. PERANCANGAN ALAT

Sistem *audio amplifier* secara umum memiliki kecenderungan menggunakan sistem *sub-woofer* guna menghasilkan sinyal *bass* yang berkualitas. Sistem *audio amplifier* dengan *sub-woofer* memiliki banyak kelemahan, adapun kelemahan tersebut adalah: Dengan adanya sistem *sub-woofer*, ruang yang diperlukan untuk meletakkan keseluruhan sistem menjadi lebih besar, dan otomatis dengan ruangan yang lebih besar, diperlukan juga *speaker* yang lebih besar pula, sehingga bila ruangan yang tersedia kecil, maka pemiliknya harus mengorbankan ruang yang ada untuk diperluas agar penempatan keseluruhan sistem dapat lebih leluasa, dan performa dari sistem yang digunakan bisa lebih maksimal.

Untuk mengatasi kelemahan-kelemahan itu dan untuk menjaga agar sinyal *bass* yang dihasilkan dapat sebagus bila menggunakan sistem *sub-woofer*, maka dibuatlah suatu sistem yang menggunakan penggabungan dua macam sistem umpan balik, yaitu sistem umpan balik negatif, dan sistem umpan balik secara akustik. Bagan sistem penguatan audio secara umum adalah:



Gambar 3.1. Diagram Sistem Secara Umum

Dalam sistem secara umum, musik dapat dihasilkan dari alat-alat musik, dan media-media penyimpan sinyal musik seperti kaset, *compact disk*, dan media lainnya, ataupun dapat langsung dari suara manusia. Apabila sinyal dihasilkan oleh suara manusia, maka sinyal suara tersebut harus dirubah menjadi sinyal listrik melalui berbagai macam alat *transducer*, salah satunya dikenal sebagai

microphone, yang berfungsi untuk merubah sinyal suara menjadi sinyal listrik. Sinyal musik itu kemudian perlu diolah ke dalam sistem *amplifier* karena sinyal musik yang dihasilkan, baik dalam media penyimpanan musik, ataupun suara sebenarnya tidak cukup kuat untuk disebarkan dalam suatu ruangan.

Fungsi *amplifier* secara umum adalah untuk menguatkan segala bentuk sinyal yang diberikan kepadanya. Selain untuk menguatkan sinyal, didalam *amplifier* juga terdapat beberapa fungsi lain, diantaranya untuk memperbaiki kualitas sinyal yang dihasilkan, sehingga sinyal yang dihasilkan dapat sebaik sinyal aslinya, bahkan mungkin dapat lebih baik daripada sinyal masukan.

Speaker adalah suatu alat elektronika yang mempunyai fungsi sebagai pengubah sinyal listrik menjadi sinyal suara, sehingga melalui *speaker* inilah kita dapat mendengarkan secara langsung sinyal musik yang dimasukkan.

Untuk memperoleh umpan balik akustiknya, dipergunakan *microphone* kondensor sebagai sensor yang mempunyai sifat kapasitansi. Rangkaian umpan balik ini terdiri atas beberapa bagian yang berfungsi untuk mengolah hasil dari sensor. Apabila hasil dari sensor tidak dimasukkan ke dalam rangkaian umpan balik dan langsung dimasukkan ke dalam *amplifier*, maka akan dihasilkan suara yang sangat mengganggu, yang biasa disebut sebagai dengung. Bagian-bagian dari rangkaian umpan balik ini akan dijelaskan pada sub bab berikut.

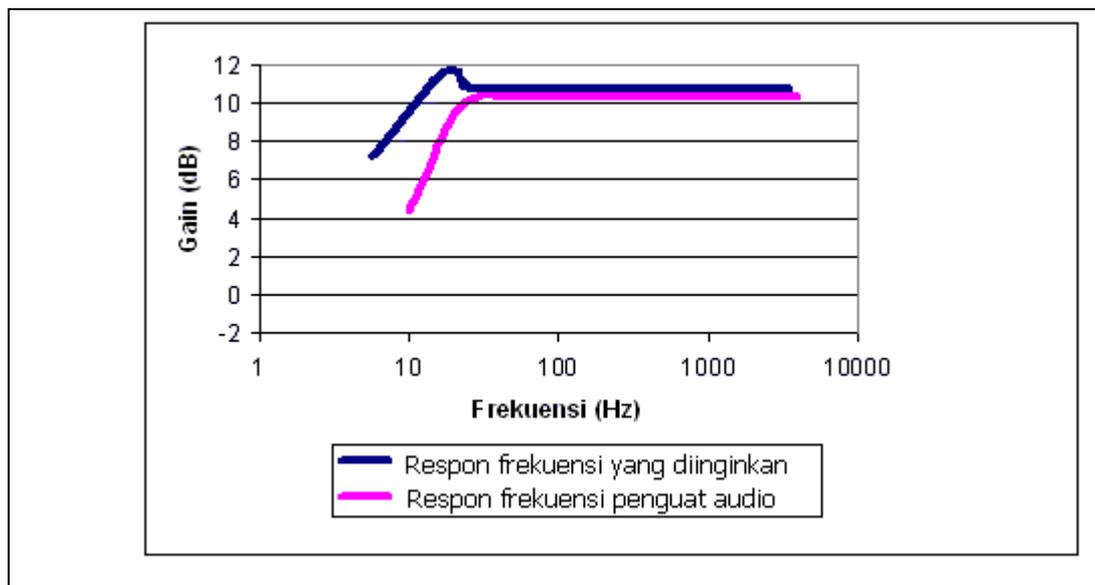
Hasil dari pengolahan rangkaian umpan balik itulah yang sebenarnya merupakan hasil akhir dari sistem *amplifier* dengan umpan balik akustik dan umpan balik negatif ini. Hasil akhir ini berupa sinyal musik yang hampir menyerupai hasil akhir bila sinyal musik atau sinyal suara tersebut dimasukkan ke dalam sistem dengan *sub-woofer*.

Perancangan sistem ini dikerjakan secara hardware, dengan bagian-bagiannya sebagai berikut:

- *Pre-Amp*. Koreksi, yang berfungsi untuk menyaring sinyal yang masuk agar sinyal musik yang masuk hanya terdiri atas sinyal dengan frekuensi rendah.
- Rangkaian Umpan Balik Negatif, yang berfungsi untuk mengolah hasil dari sensor akustik agar tidak timbul dengung, dan agar

sinyal yang ditangkap oleh sensor dapat menghasilkan sinyal sesuai dengan yang diinginkan.

Diharapkan nantinya sinyal keluaran dari *feedback* akustik mengalami penguatan pada frekuensi rendah, terutama pada frekuensi dibawah 90 Hz, sampai kira-kira 20 Hz. Sedangkan pada frekuensi tinggi, penguatan yang terjadi cenderung rata, tetapi lebih rendah daripada menggunakan *power amplifier*. Berikut adalah grafik *feedback* akustik yang diharapkan.

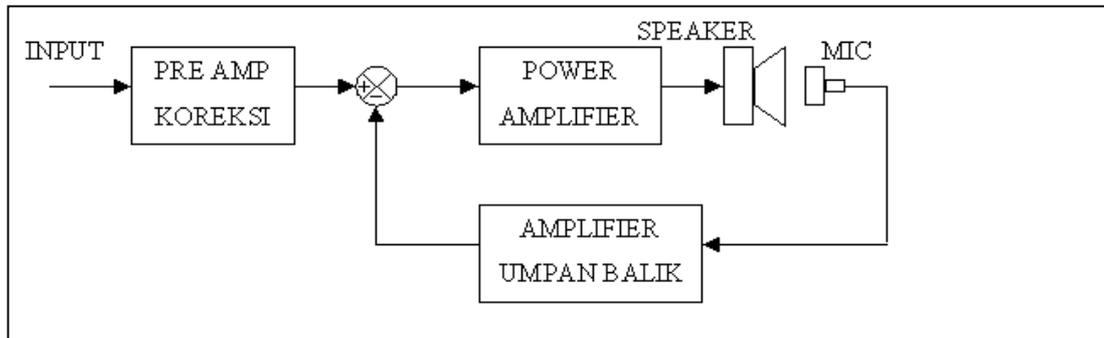


Gambar 3.2. Grafik Respon Frekuensi Yang Diinginkan

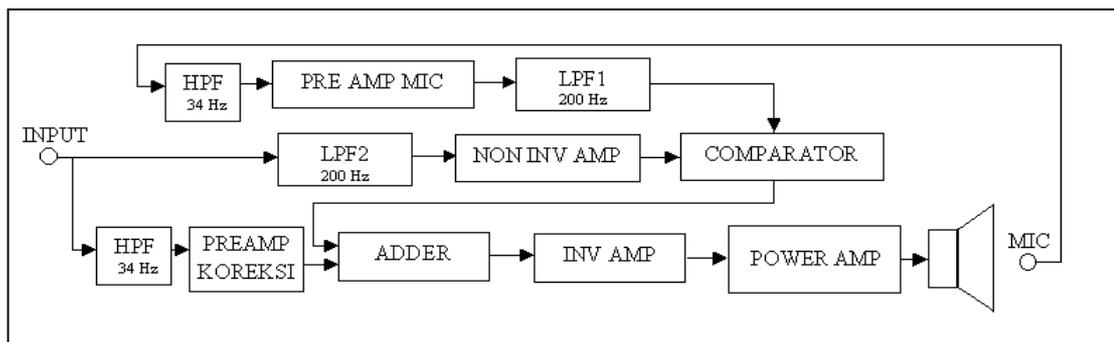
Dari gambar 3.2, pada garis yang di atas (grafik 1) adalah respon frekuensi bila menggunakan *power amplifier* biasa. Sedangkan pada garis yang di bawah (grafik 2) merupakan respon frekuensi bila menggunakan *feedback* akustik.

3.1 Sistem Hardware

Seperti yang telah dijelaskan diatas, sistem hardware yang dibuat disini terdiri atas dua bagian utama yaitu, rangkaian *pre-amp* koreksi, dan rangkaian umpan balik, berikut adalah skematik diagram dari keseluruhan sistem.

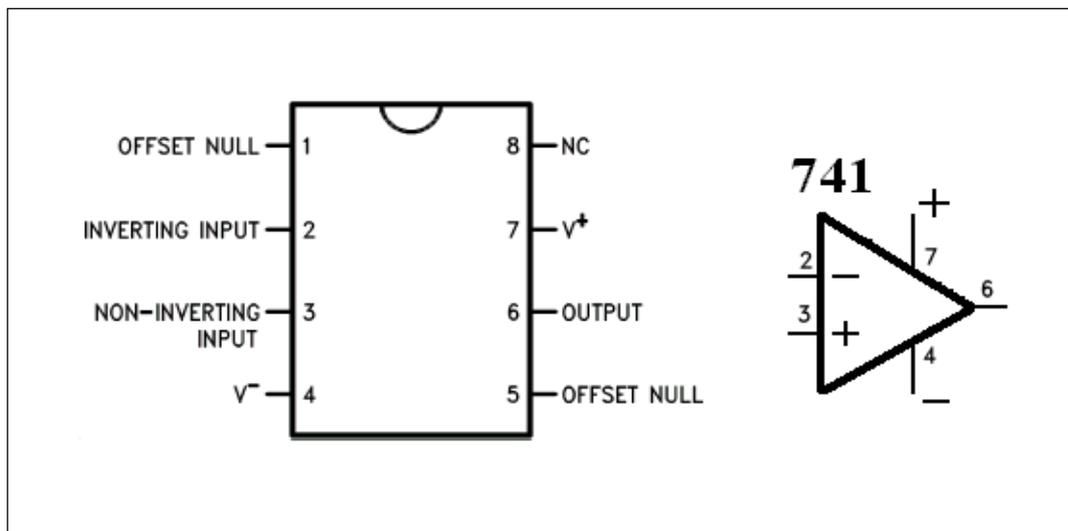


Gambar 3.3. Skematik Diagram Rangkaian



Gambar 3.4. Skematik Diagram Rangkaian Keseluruhan

IC yang digunakan pada keseluruhan rangkaian adalah IC *operational amplifier* dengan tipe LM741, yang cukup banyak terdapat di toko-toko elektronika dan memiliki harga yang cukup murah. Adapun IC ini mempunyai karakteristik dasar sebagai pengolah sinyal gelombang, dan IC ini lebih sering digunakan pada pengolahan sinyal analog.

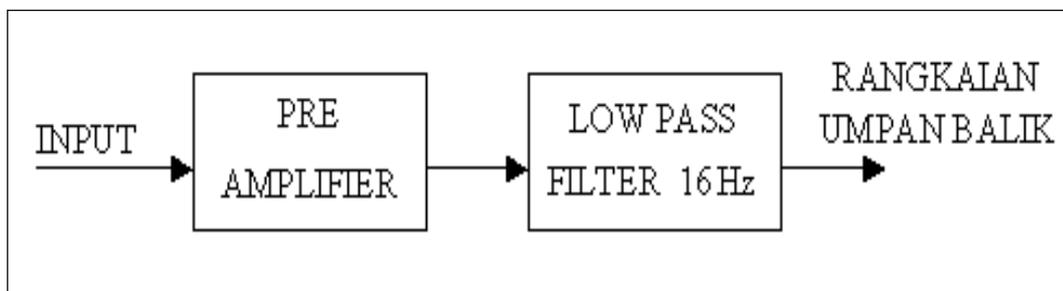


Gambar 3.5. Bentuk Skematik IC LM741

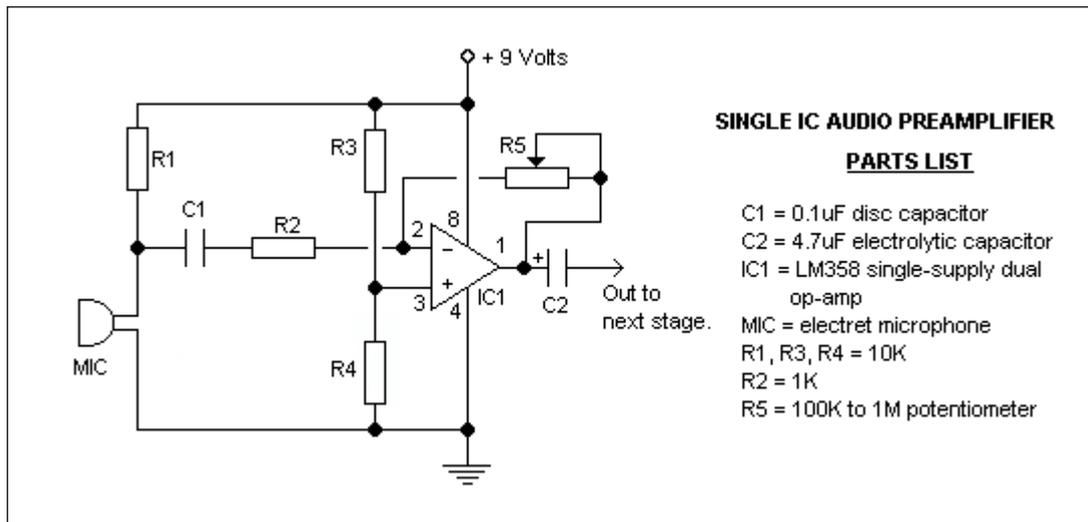
Sumber: National Semiconductor, *LM741 Operational Amplifier IC*, <www.national.com>. (telah diolah kembali)

3.1.1 Sistem *Pre-Amp* Koreksi

Sistem *pre-amp* ini terdiri dari dua rangkaian besar yaitu rangkaian *pre-amp* biasa dengan LM741 yang keluarannya dimasukkan kedalam rangkaian *low pass filter* orde satu, dengan penguatan -40 dB, karena *low pass filter* dengan penguatan -40 dB memiliki respon frekuensi yang lebih pendek dalam masa transisinya. Gambar skematik dari keseluruhan rangkaian *pre-amp* koreksi ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6. Skematik Rangkaian *Pre-Amp* Koreksi



Gambar 3.7. Rangkaian *Pre-Amp*

(Sumber: www.reconnsworld.com/audio_singleicpreamp.html).

Di bawah ini adalah penjelasan perhitungan dari rangkaian pada gambar 3.7. yang merupakan sumber rangkaian dari internet. Perhitungan dari rangkaian ini dihasilkan berdasarkan analisa pada gambar rangkaian.

Pada gambar 3.5 diatas terlihat bahwa IC yang digunakan adalah IC *op-amp* dengan tipe LM358, kapasitor C1 harganya adalah 0,1 μF , dan pada rangkaian *pre-amp* tersebut digunakan masukan berupa *microphone condenser*. Harga kapasitor C1 ditentukan sebesar 0,1 μF , dan harga R1 ditentukan 10 K Ω untuk menghasilkan *high pass filter* dengan frekuensi *cutoff* sebesar 160 Hz, frekuensi *cutoff* itu didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots(2.55)$$

$$f_c = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 10 \times 10^3 \times 10^{-7}}$$

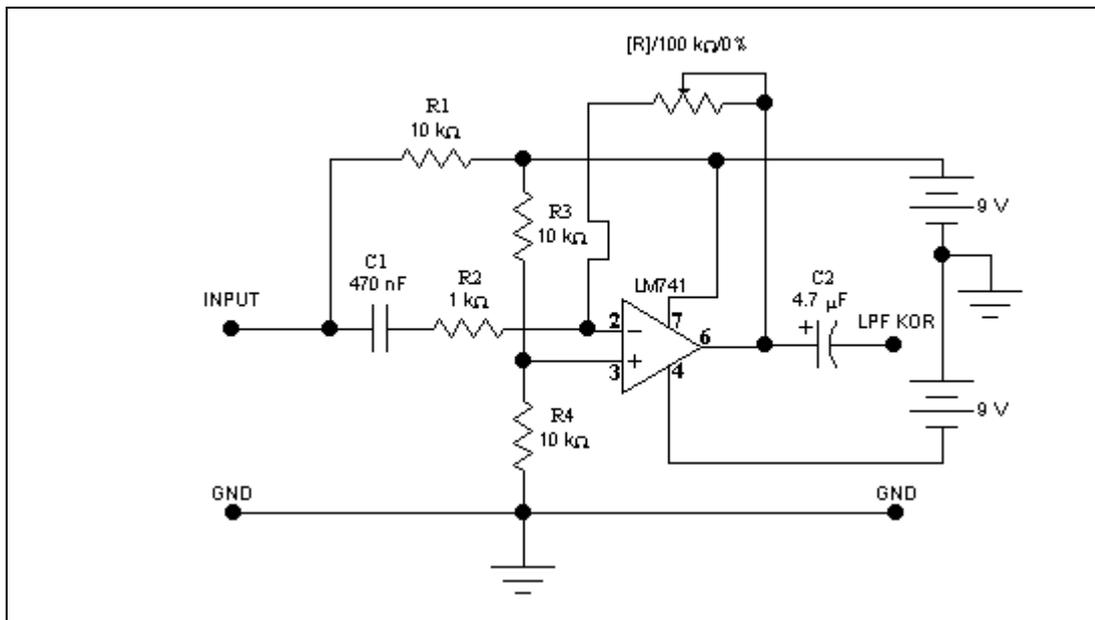
$$f_c = \frac{1}{6,28 \times 10^{-3}}$$

$$f_c = \frac{10^3}{6,28} = 159,236 \text{ Hz} \approx 160 \text{ Hz}$$

Dengan frekuensi *cutoff* sebesar 160 Hz, maka pada *high pass filter* diatas, frekuensi dibawah 160 Hz tidak akan dilewatkan, hanya frekuensi diatas 160 Hz yang dilewatkan, sehingga pada rangkaian dari gambar 3.7, respon terhadap frekuensi rendah tidak terlalu baik.

IC yang digunakan pada gambar 3.7. diatas adalah IC tipe LM358, IC dengan tipe ini adalah IC dengan dual *op-amp*, dan menggunakan suplai tunggal, sehingga ditakutkan hasil respon frekuensi dari *op-amp* tidak akan sempurna, karena menggunakan suplai tunggal.

Atas dasar hasil analisa terhadap rangkaian diatas, maka rangkaian tersebut kemudian dirubah untuk menghasilkan *pre-amp* yang memiliki frekuensi *cutoff* lebih rendah dari 160 Hz.



Gambar 3.8. Bagian Rangkaian *Pre-Amp* Dari *Pre-Amp* Koreksi

Sumber: <www.reconnsword.com/audio_singleicpreamp.html>. (telah diolah kembali).

Pada gambar 3.7, perubahan yang dilakukan terhadap gambar 3.8. adalah mengganti kapasitor C1 dari 0,1 μF menjadi 470 nF, dan merubah IC yang digunakan menjadi LM741. Digunakan IC LM741, karena IC ini mudah penggunaannya.

Cara kerja dari rangkaian *pre-amp* pada gambar 3.8. diatas adalah sumber sinyal yang masuk terpecah secara paralel oleh hambatan R1 sebesar 10 K Ω dan oleh kapasitor C1 sebesar 470 nF. Rangkaian kapasitor C1 sebesar 470 nF ini adalah rangkaian *high pass filter* dengan frekuensi *cutoff* sebesar 34 Hz. Hasil dari *high pass filter* kemudian masuk pada rangkaian pembagi tegangan antara R3 dan R4 yang membuat amplitudo masukan menjadi berkurang setengahnya. Harga 470 nF ini diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots(2.55)$$

$$34 = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 10^4 \times C}$$

$$C = \frac{1}{6,28 \times 34 \times 10^4}$$

$$C = \frac{1}{21,35 \times 10^5} = 468,34 \times 10^{-9} \text{ F}$$

Karena tidak didaptkannya nilai kapasitor sebesar 468 nF ataupun 465 nF, maka dicari harga yang mendekati, dan didapat harga 470 nF. Pemilihan harga ini menyebabkan perhitungan frekuensi *cutoff* harus dilakukan lagi agar didapat seberapa besar pergeseran frekuensi dari yang diharapkan. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots(2.55)$$

$$f_c = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 10^4 \times 470 \times 10^{-9}}$$

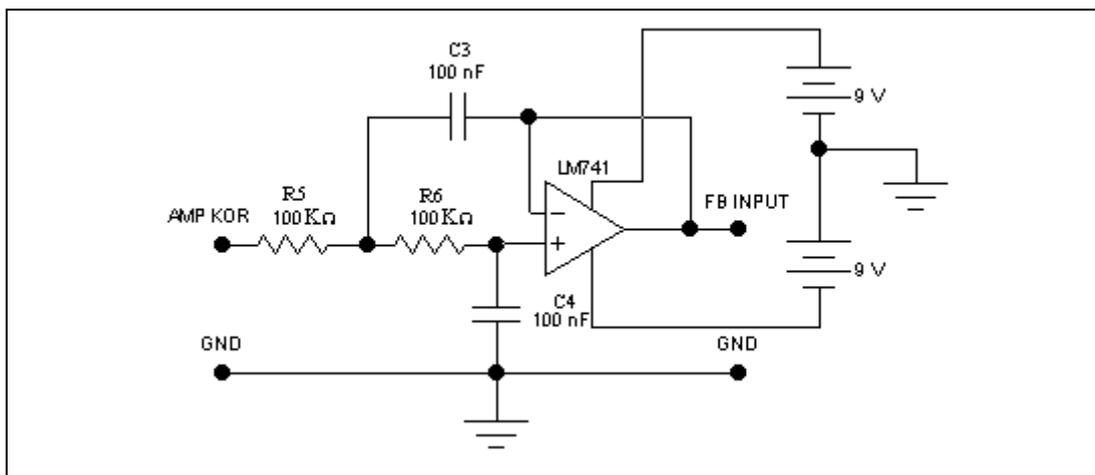
$$f_c = \frac{1}{6,28 \times 47 \times 10^{-4}}$$

$$f_c = \frac{10^4}{295,16} = 33,880 \text{ Hz.}$$

Setelah melalui kapasitor 470 nF, sumber sinyal kemudian diperkuat melalui rangkaian penguat *amplifier* dengan penguatan maksimal sebesar:

$$A = \left(-\frac{R_f}{R_i} \right) = \left(-\frac{R}{R1} \right) = \left(-\frac{100 \times 10^3}{1 \times 10^3} \right) = (-100) \times$$

Pada gambar 3.8. terlihat bahwa sumber sinyal yang masuk pada hambatan R3 sebesar 10 K Ω diparalel terhadap kaki *non inverting* dari *op-amp*, dan terhadap R4, sehingga rangkaian ini berfungsi sebagai pembagi tegangan, sehingga antara sinyal murni dari *input* pada kaki *inverting*, dan sinyal dari kaki *non-inverting* dapat diperbandingkan. Setelah diperbandingkan, sinyal kemudian diperkuat oleh penguatan *op-amp* yang diatur oleh potensio R sebesar 100 K Ω , sehingga penguatan dari *op-amp* dapat dirubah-ubah. Hasil dari penguatan kemudian diterima oleh kapasitor polar C2 pada gambar 3.6. sebesar 4,7 μ F yang berfungsi untuk mencegah sinyal DC masuk dari penguatan *op-amp*. Sumber sinyal yang sudah dikuatkan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam rangkaian *low pass filter* dengan frekuensi *cutoff* sebesar 16 Hz.



Gambar 3.9. Rangkaian *Low Pass Filter* -40 dB

Berikut adalah perhitungan untuk mencari besarnya harga hambatan-hambatan dari rangkaian *low pass filter* ini dengan menggunakan frekuensi *cutoff* sebesar 16 Hz, dan dengan menentukan harga kapasitor sebesar 100 nF.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots(2.55)$$

$$R_{5,6} = \frac{1}{2\pi f_c C_{3,4}}$$

$$R_{5,6} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 16 \times 100 \times 10^{-9}}$$

$$R_{5,6} = \frac{1}{6,28 \times 16 \times 10^{-7}}$$

$$R_{5,6} = \frac{1}{100,48 \times 10^{-7}}$$

$$R_{5,6} = \frac{10^7}{100,48} = 99522,292 \approx 99.500 \Omega$$

$$R_{5,6} \approx 100 \text{ K}\Omega$$

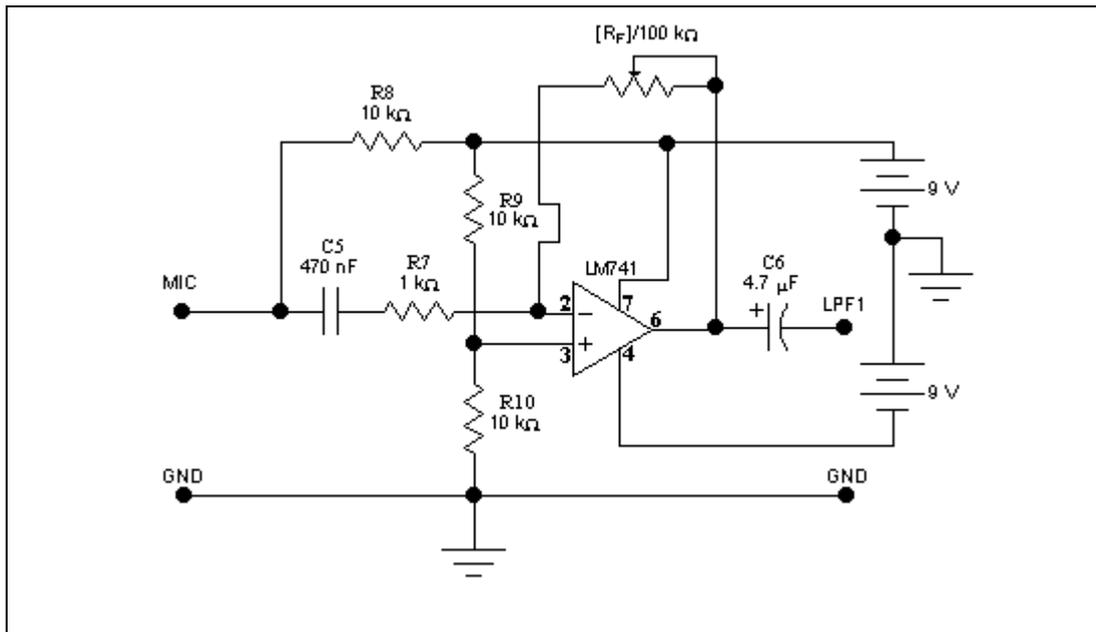
Kedua rangkaian ini kemudian digabung untuk menghasilkan penguatan suara dimana suara yang dikuatkan itu hanya diambil frekuensi rendahnya. Besarnya frekuensi yang diambil dari sumber dari 1 Hz sampai 16 Hz. Setelah dikuatkan dan disaring oleh rangkaian *low pass filter*, hasil yang didapat kemudian dimasukkan ke dalam blok rangkaian umpan balik.

3.1.2 Rangkaian Umpan Balik

Rangkaian umpan balik ini terdiri atas tujuh rangkaian utama, yaitu:

- Rangkaian *pre-amp microphone*
- Dua buah rangkaian *low pass filter* orde satu
- Rangkaian penjumlah
- Rangkaian pengurang
- Rangkaian *inverting amplifier*
- Rangkaian *non inverting amplifier*

Seperti yang terlihat pada blok diagram pada gambar 3.4, masukan rangkaian umpan balik akustik dimulai pada rangkaian *pre-amplifier* dari *microphone* yang berfungsi sebagai sensor untuk media umpan balik akustik.



Gambar 3.10. Rangkaian *Pre-Amp Microphone*

Rangkaian ini sebenarnya hanya merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menguatkan sinyal yang ditangkap dari *transducer*, dimana *transducer* yang ada memiliki daya yang kecil. *Transducer* yang dipakai adalah *microphone condenser* yang memiliki impedansi sebesar $\pm 2 \text{ K}\Omega$. Sinyal yang diterima oleh *microphone condenser* kemudian diparalel oleh hambatan R8 sebesar $10 \text{ K}\Omega$ dan oleh kapasitor C5 sebesar 470 nF . Kapasitor C5 berfungsi sebagai rangkaian *high pass filter*, sedangkan hambatan R9 dan R10 membentuk rangkaian pembagi tegangan terhadap kaki *non inverting* yang membuat amplitudo masukan menjadi berkurang setengahnya. Kapasitor 470 nF ini berfungsi sebagai *high pass filter* dengan frekuensi *cutoff* 33 Hz . Adapun perhitungan harga kapasitor sama dengan perhitungan pada rangkaian *pre-amp* koreksi.

Penguatan maksimal:

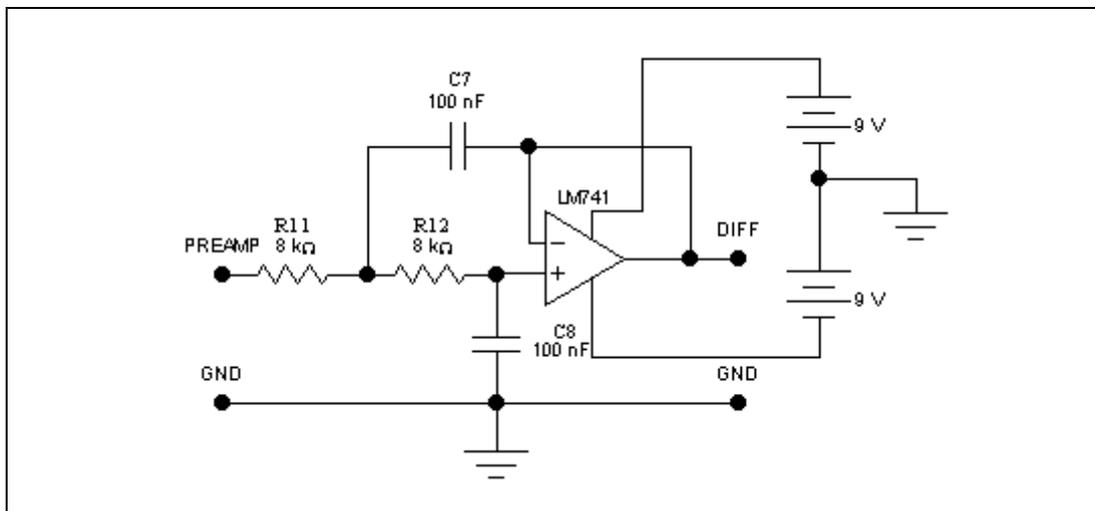
$$A = \left(-\frac{R_f}{R_i} \right) = \left(-\frac{100 \times 10^3}{1 \times 10^3} \right) = (-100) \times$$

Penguatan minimal:

$$A = \left(-\frac{R_f}{R_i} \right) = \left(-\frac{1 \times 10^3}{1 \times 10^3} \right) = (-1) \times$$

Cara kerja dari rangkaian ini sama dengan rangkaian *pre-amp* pada bagian *pre-amp* koreksi sehingga tidak akan dijelaskan lagi pada bagian ini. Perbedaannya hanya terletak pada penggunaannya.

Setelah masuk ke dalam rangkaian *pre-amp*, keluaran dari *pre-amp* dimasukkan ke dalam rangkaian *low pass filter* untuk menangkap frekuensi dengan batas 1 Hz sampai 200 Hz. Sebenarnya harga yang ingin digunakan sebagai frekuensi *cutoff* adalah sebesar 100 Hz, tetapi kemudian digunakan harga 200 Hz, agar respon frekuensi rendah yang ditangkap sedikit lebih lebar. Gambar rangkaian *low pass filter* ini dapat dilihat pada gambar 3.11. berikut.



Gambar 3.11. Rangkaian *Low Pass Filter* 200 Hz Pertama

Rangkaian *low pass filter* ini merupakan rangkaian *low pass filter* orde satu, dan didapat dengan perhitungan sebagai berikut, diasumsikan pada kapasitor C7 dan C8, harga yang dipakai sebesar 100 nF, dan frekuensi *cutoff* yang dipakai sebesar 200 Hz, maka dengan dasar rumus rangkaian *low pass filter* didapat:

$$C_{7,8} = 100 \text{ nF}$$

$$f_{cutoff} = 200 \text{ Hz}$$

$$f_{cutoff} = \frac{1}{2 \times \pi \times C \times R} \dots\dots\dots(2.55)$$

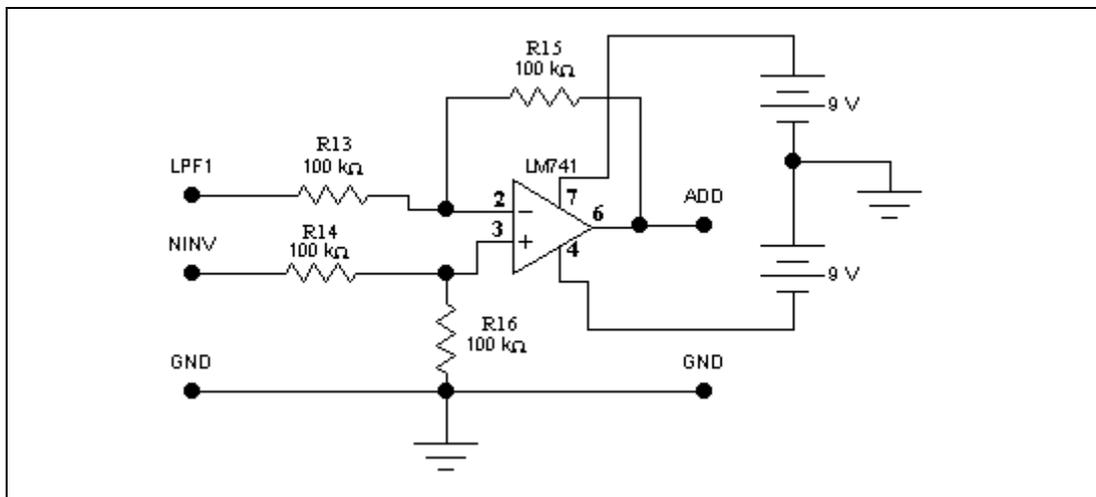
$$200 = \frac{1}{2 \times 3,14 \times (100 \times 10^{-9}) \times R_{11,12}}$$

$$R_{11,12} = \frac{1}{6,28 \times 10^{-7} \times 200}$$

$$R_{11,12} = \frac{1}{12,56 \times 10^{-5}} = 7961,783 \Omega \approx 8 \text{ K}\Omega$$

Dari hasil perhitungan didapat bahwa dengan menggunakan kapasitor sebesar 100 nF dan untuk menghasilkan frekuensi *cutoff* sebesar 200 Hz diperlukan resistor sebesar 8 K Ω .

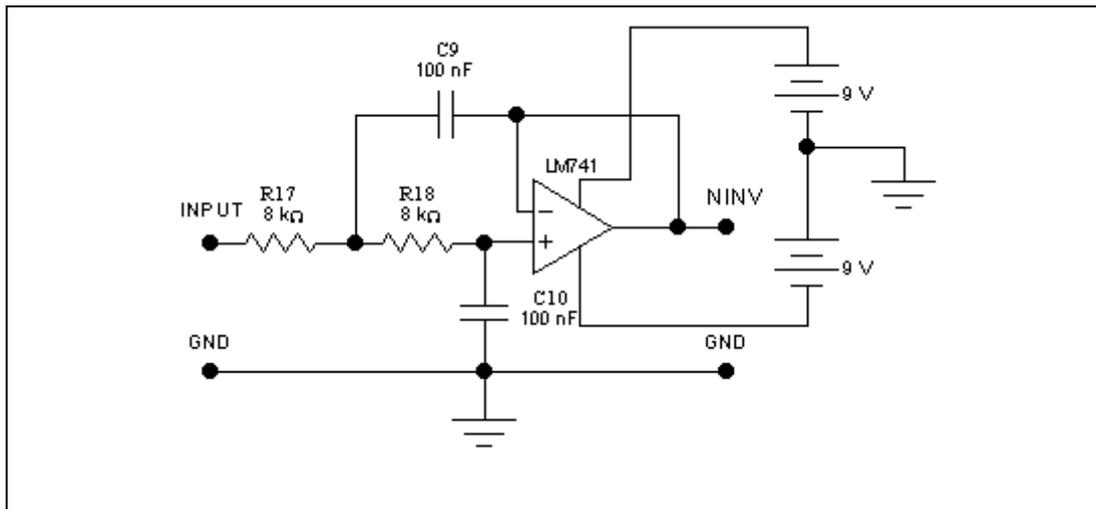
Setelah diterima oleh rangkaian *low pass filter* yang pertama, hasilnya kemudian dimasukkan ke dalam rangkaian *differential amplifier*.



Gambar 3.12. Rangkaian *Differential Amplifier*

Rangkaian pengurang (*differential amplifier*) ini bekerja dengan jalan membandingkan antara sinyal dari rangkaian *low pass filter* yang pertama dengan sinyal dari rangkaian *non inverting amplifier*, sinyal yang ada pada kaki ke-2 diperbandingkan dengan sinyal dari kaki ke-3, dimana sebelum masuk pada kaki ke-3 sinyal dari *non inverting* dikurangi separuh dari dayanya oleh rangkaian pembagi tegangan antara R14 dan R16, kemudian hasilnya diperkuat oleh penguatan 1 kali oleh *op-amp*. Penguatan dilakukan oleh perbandingan R15 dibagi oleh R13.

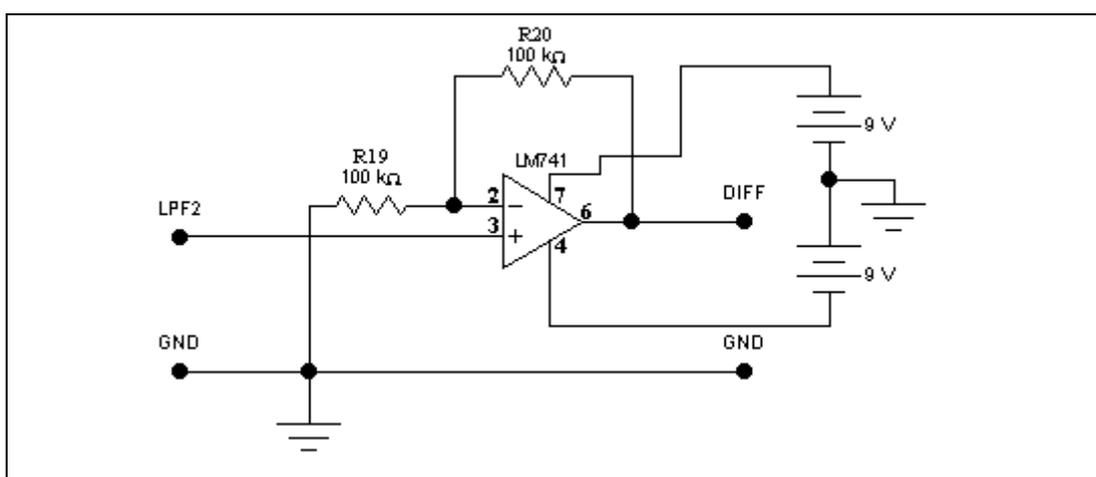
Pada skema rangkaian umpan balik terlihat bahwa masukan utama yang berasal dari *pre-amplifier* koreksi dipecah menjadi dua secara paralel ke dalam rangkaian *adder* dan rangkaian *low pass filter* yang kedua.



Gambar 3.13. Rangkaian *Low Pass Filter* 200 Hz Kedua

Dari gambar 3.13. diatas dapat dilihat bahwa frekuensi *cutoff* yang dipergunakan juga sama yaitu sebesar 200 Hz, dan besar kapasitor yang digunakan juga sama sebesar 100 nF, maka harga resistor yang dipergunakan otomatis juga menjadi sama dengan harga resistor dari *low pass filter* sebelumnya, yaitu sebesar 8 K Ω .

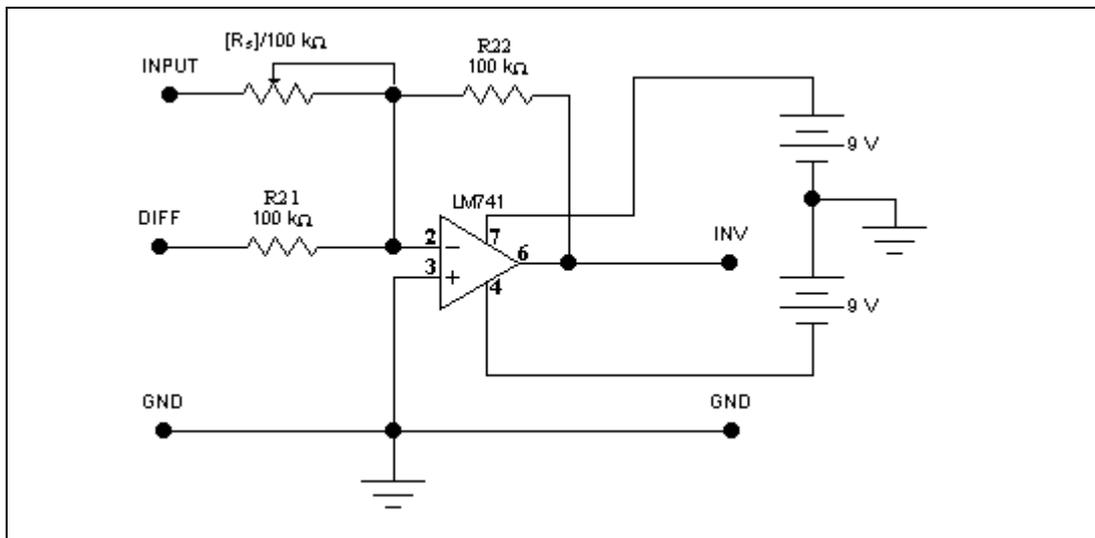
Hasil dari rangkaian *low pass filter* ini kemudian dimasukkan ke dalam rangkaian *non inverting amplifier* pada IC *op-amp*, seperti yang terlihat pada gambar 3.14. berikut.



Gambar 3.14. Rangkaian *Non Inverting Amplifier*

Tujuan dari rangkaian *non inverting amplifier* ini adalah untuk lebih memperkuat sinyal masukan dari rangkaian *low pass filter* sebelum masuk pada rangkaian pengurang tanpa merubah fasa sinyal. Pada rangkaian *non inverting amplifier* ini dipergunakan penguatan sebesar 1x.

Keluaran dari rangkaian *non inverting amplifier* ini kemudian diperbandingkan dengan hasil dari rangkaian *low pass filter* yang pertama, pada rangkaian *differential amplifier* yang telah dijelaskan diatas. Pada rangkaian *differential amplifier*, hasil keluaran dari rangkaian ini kemudian ditambahkan dengan masukan utama dari *pre-amp* koreksi pada rangkaian penjumlah, seperti yang terlihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15. Rangkaian Penjumlah

Akibat digunakannya potensio R_s pada masukan *input*, mengakibatkan tegangan yang terdapat di dalam potensio dapat dirubah-ubah, perbedaan tegangan pada R_{21} dan potensio R_s mengakibatkan arus yang mengalir pada potensio R_s dan arus pada hambatan R_{21} juga berbeda, menurut *Kirchoff Current Law*, jumlah arus yang masuk adalah sama dengan jumlah dari arus yang keluar, sehingga:

$$V_o = -(I_{R_s} + I_{R_{21}})R_{22}$$

$$V_o = -\left(\frac{V_{R_s}}{R_s} + \frac{V_{R_{21}}}{R_{21}}\right)R_{22}$$

Karena harga maksimum R_s , dan harga R_{21} sama dengan harga R_{22} , maka:

$$V_o = -\left(\frac{V_{R_s}}{R_{22}} + \frac{V_{R_{21}}}{R_{22}}\right)R_{22} = -(V_{R_s} + V_{R_{21}})$$