

Perancangan Pengatur Nada Rendah dan Nada Tinggi Berbasis Komponen Pasif

Budihardja Murtianta

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer,
Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga
budihardja.murtianta@uksw.edu

Abstrak

Pada penelitian ini dirancang pengatur nada rendah dan nada tinggi berdasarkan teori-teori dan perhitungan-perhitungan elektronika. Untai pengatur nada rendah dan nada tinggi ini hanya menggunakan komponen elektronika pasif yaitu komponen yang tidak memerlukan catu daya dan tidak mempunyai penguatan daya. Pengatur nada rendah dapat mengatur penguatan dan pelemahan frekuensi rendah. Pengatur nada tinggi dapat mengatur penguatan dan pelemahan frekuensi tinggi. Pemisahan antara nada rendah dan nada tinggi pada titik frekuensi pusat 1 kHz. Penguatan dan pelemahan pengatur nada rendah dan nada tinggi masing-masing adalah ± 20 dB. Untai ini menggunakan prinsip tapis pelewat frekuensi rendah dan tapis pelewat frekuensi tinggi orde 1. Hasil perancangan diukur dengan menggunakan Circuit Maker. Hasil simulasi menunjukkan pemisahan antara pengatur nada rendah dan nada tinggi menyimpang 2,7% dari 1 kHz dan pengaturan nada rendah +18,9 dB hingga -16 dB serta pengaturan nada tinggi +17,4 dB hingga -12,7 dB.

Kata kunci: frekuensi pusat, orde 1, nada rendah, nada tinggi

Abstract

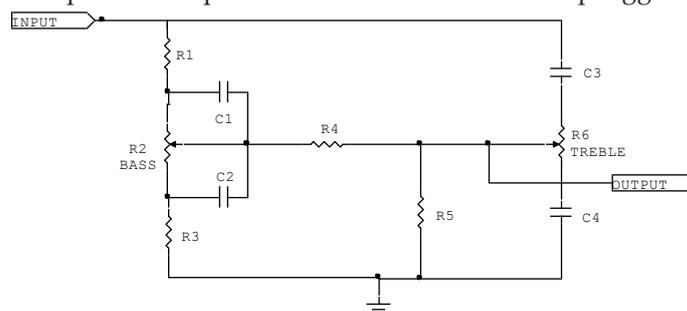
In this study, the low and high tone control was designed based on electronic theories and calculations. The low and high tone control circuit uses only passive electronic components, that is, the components do not require a power supply and have no power gain. The low tone control can adjust the gain and attenuation of low frequencies. The high-tone control can adjust the gain and attenuation of high frequencies. The separation between low and high tone at a center frequency of 1 kHz. The gain and attenuation of the low and high tone control are ± 20 dB respectively. This circuits use the principle of a first-order low-pass filter and a first-order high-pass filter. The design results are measured using a Circuit Maker. The simulation results show that the separation between the low and high tone control deviates 2.7% from 1 kHz and the low tone control range is +18.9 dB to -16 dB and the high tone control range is +17.4 dB to -12.7 dB.

Keywords: center frequency, first-order, low tone, high tone

1. Pendahuluan

Pengaturan nada rendah (*bass*) dan nada tinggi (*treble*) yang saling bebas pada amplifier audio hifi (*high fidelity*) biasanya dilakukan dengan menggunakan rangkaian

pengatur nada yang dirancang khusus. Jenis pengatur nada ini adalah pasif karena hanya menggunakan komponen pasif. Komponen elektronika pasif adalah jenis komponen elektronika yang tidak memerlukan sumber arus listrik eksternal untuk pengoperasiannya [1]. Pengatur nada ini mengacu pada rangkaian pengatur nada pasif Baxandall yang ditunjukkan pada Gambar 1 [2]. Pengaturan nada rendah dan nada tinggi dapat ditambah atau dipotong sebesar 20 dB. Pada prinsipnya perancangan pengatur nada adalah menggunakan teori tapis dan perhitungan-perhitungan untuk menentukan nilai komponen-komponen serta titik-titik frekuensi penggal tapis.



Gambar 1. Pengatur nada pasif

Pada penelitian ini dirancang rangkaian pengatur nada pasif Baxandall serta diadakan pengukuran dari hasil rancangannya. Rangkaian Baxandall memiliki dua kapasitor pada tiap potensiometranya, tetapi dimungkinkan untuk menggunakan hanya satu pada potensiometer nada rendah atau nada tinggi, atau keduanya [3]. Rangkaian Baxandall diaplikasikan dalam peralatan audio *hi-fi* dan pada penguat (*amplifier*) serta efek untuk alat musik [4].

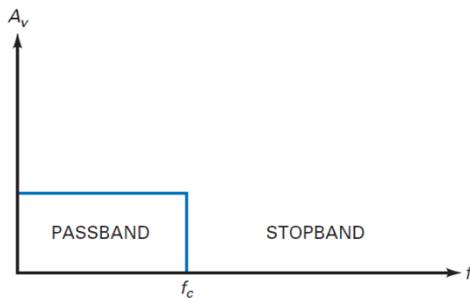
2. Metode Penelitian

Sebagian besar sistem komunikasi menggunakan tapis-tapis. Tapis akan melewatkan pita frekuensi tertentu yang diinginkan dan menolak pita frekuensi lain yang tidak diinginkan. Tapis dapat berupa tapis pasif atau aktif. Tapis pasif terdiri dari komponen-komponen pasif seperti resistor, kapasitor dan induktor. Tapis pasif tidak mempunyai penguatan daya pada sinyal yang dilewatkan tapis. Sedang tapis aktif terdiri dari komponen-komponen aktif seperti transistor, penguat operasi dan sebagainya selain komponen-komponen pasif [5]. Tapis aktif mempunyai penguatan daya pada sinyal yang dilewatkan tapis. Tapis dapat memisahkan frekuensi sinyal-sinyal yang diinginkan dari frekuensi sinyal-sinyal yang tidak diinginkan. Tanggapan frekuensi dari suatu tapis merupakan grafik perolehan tegangan terhadap frekuensi. Jenis-jenis tapis berdasarkan frekuensi sinyal yang dilewatkan yaitu: *low pass*, *high pass*, *passband*, *bandstop* dan *allpass* [6]. Pengatur nada rendah dan nada tinggi menggunakan metode penapisan frekuensi dengan tapis tipe Butterworth orde satu dan pada perancangan ini menggunakan tapis pelewat frekuensi rendah (*low pass filter*) dan tapis pelewat frekuensi tinggi (*high pass filter*). Tapis-tapis tersebut ditentukan titik frekuensi penggal sesuai dengan frekuensi nada yang dikehendaki. Hasil rancangan akan dilakukan pengukuran dengan Simulator Circuit Maker.

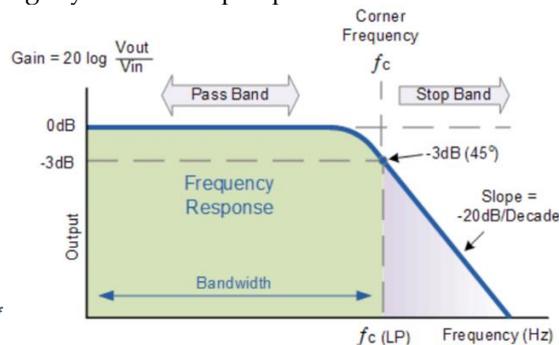
2.1. Tapis Pelewat Frekuensi Rendah

Gambar 2a menunjukkan tanggapan frekuensi ideal dari tapis pelewat frekuensi rendah. Tapis pelewat frekuensi rendah melewatkan semua frekuensi dari nol sampai

frekuensi penggal dan memblok semua frekuensi di atas frekuensi penggal. Frekuensi antara nol dan frekuensi penggal disebut *passband* dan frekuensi di atas frekuensi penggal disebut *stopband*. Tapis pelewat frekuensi rendah mempunyai pergeseran fase nol untuk semua frekuensi pada *passband*. Tapis pelewat frekuensi rendah ideal mempunyai atenuasi nol pada *passband* dan tak terhingga pada *stopband*. Gambar 2b menunjukkan tanggapan frekuensi yang nyata dari tapis pelewat frekuensi rendah.



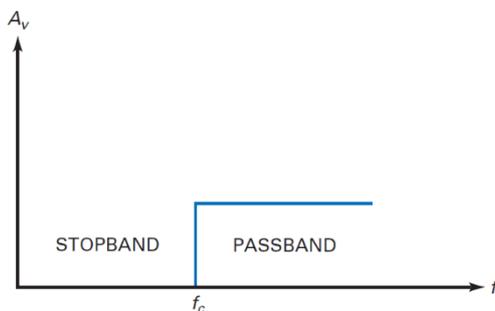
Gambar 2a. Tanggapan frekuensi tapis pelewat frekuensi rendah ideal [6]



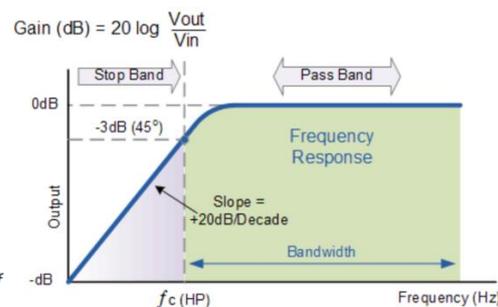
Gambar 2b. Tanggapan frekuensi tapis pelewat frekuensi rendah tak ideal [7]

2.2. Tapis Pelewat Frekuensi Tinggi

Gambar 3a menunjukkan tanggapan frekuensi ideal dari tapis pelewat frekuensi tinggi. Tapis pelewat frekuensi tinggi memblok semua frekuensi dari nol sampai frekuensi penggal dan melewatkan semua frekuensi di atas frekuensi penggal. Frekuensi antara nol dan frekuensi penggal disebut *stopband* dan frekuensi di atas frekuensi penggal disebut *passband*. Gambar 3b menunjukkan tanggapan frekuensi yang nyata dari tapis pelewat frekuensi tinggi.



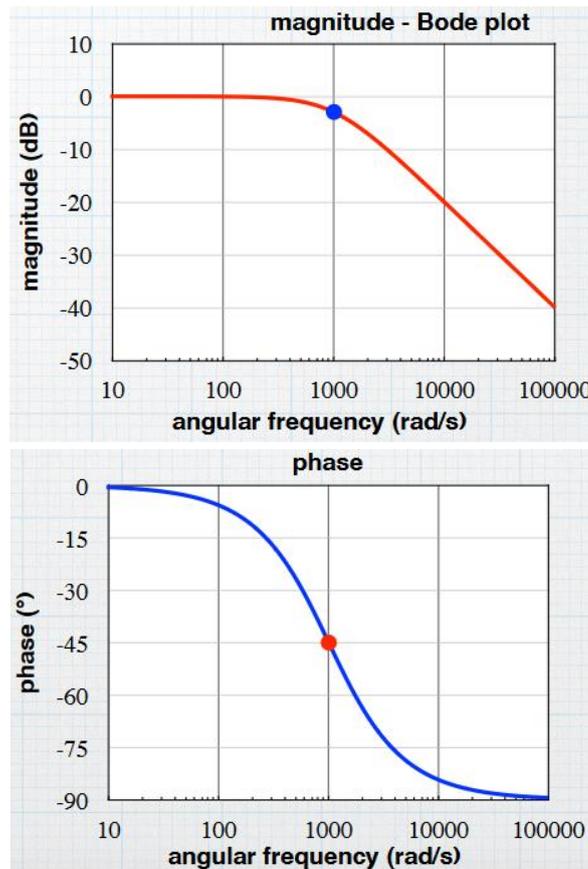
Gambar 3a. Tanggapan frekuensi tapis pelewat frekuensi tinggi ideal [6]



Gambar 3b. Tanggapan frekuensi tapis pelewat frekuensi tinggi tak ideal [8]

2.3. Tapis Tipe Butterworth

Penaksiran Butterworth kadang-kadang disebut penaksiran datar secara maksimal karena atenuasi *passband* adalah nol yang melewatkan sebagian besar *passband* dan menurunkan perolehan (*gain*) secara berangsur pada tepi *passband*. Di atas tepi *passband*, tanggapan akan menurun pada nilai kira-kira 20 dB tiap dekade untuk orde satu. Gambar 4 berikut menunjukkan tanggapan frekuensi tapis pelewat frekuensi rendah tipe Butterworth orde 1 dengan frekuensi penggal 1 kHz. Tipe-tipe tapis selain Butterworth adalah: Chebyshev, Bessel dan Eliptik. Pada perancangan ini hanya dipergunakan tapis tipe Butterworth.



Gambar 4. Tanggapan frekuensi tapis pelewat frekuensi rendah Butterworth orde 1 [9]

2.4. Kutub (Pole) dan Nol (Zero)

Fungsi alih domain-s selalu merupakan fungsi polinomial rasional dari bentuk [10]:

$$T(s) = \frac{(a_m \cdot s^m + a_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + a_0)}{(s^n + b_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + b_0)} \quad (1)$$

Pada persamaan 1 polinomial dalam pembilang dan penyebut difaktorkan untuk memperoleh kutub dan nol, ini adalah nilai s yang membuat pembilang atau penyebutnya nol. Jika kita menulis nol sebagai $z_1, z_2, z_3 \dots$ dst., dan dengan cara yang sama menulis kutub sebagai $p_1, p_2, p_3 \dots$, maka $T(s)$ dapat ditulis dalam bentuk faktor sebagai [10]:

$$T(s) = \frac{a^m (s-z_1)(s-z_2) \dots (s-z_m)}{(s-p_1)(s-p_2) \dots (s-p_n)} \quad (2)$$

Lokasi kutub dan nol bisa nyata atau kompleks. Jika akar-akarnya real disebut kutub sederhana atau nol sederhana. Ketika akarnya kompleks, mereka selalu muncul berpasangan yaitu dalam bentuk konjugasi kompleks satu sama lain. Berikut kutub sederhana dengan mempertimbangkan fungsi alih dari rangkaian orde pertama dengan kutub sederhana di $s = -1$. Respons frekuensi keadaan tunak ditentukan dengan membiarkan $s \rightarrow j\omega$ [11].

$$H(s) = \frac{1}{s+1} \text{ atau } H(j\omega) = \frac{1}{j\omega+1} \quad (3)$$

Besarnya fungsi alih diberikan oleh:

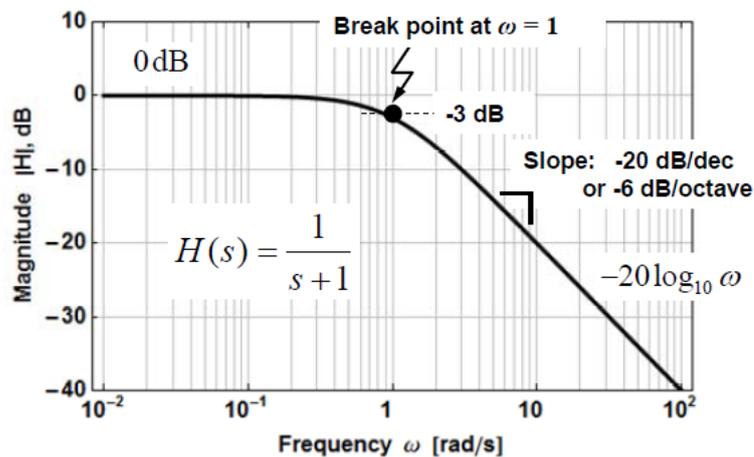
$$|H(j\omega)| = [\omega^2 + 1]^{-1/2} \quad (4)$$

Fungsi ini diplot pada Gambar 5 untuk frekuensi dua orde di atas dan di bawah $\omega = 1$ yang mempunyai tanggapan sangat berbeda di kedua sisi tersebut. Perilaku asimtotik untuk $\omega \ll 1$ dan $\omega \gg 1$ dapat dicari dari persamaan (5) sebagai:

$$|H(j\omega)|_{dB} = \begin{cases} 0 \text{ dB} & \omega \ll 1 \\ -20 \log \omega \text{ dB} & \omega \gg 1 \end{cases} \quad (5)$$

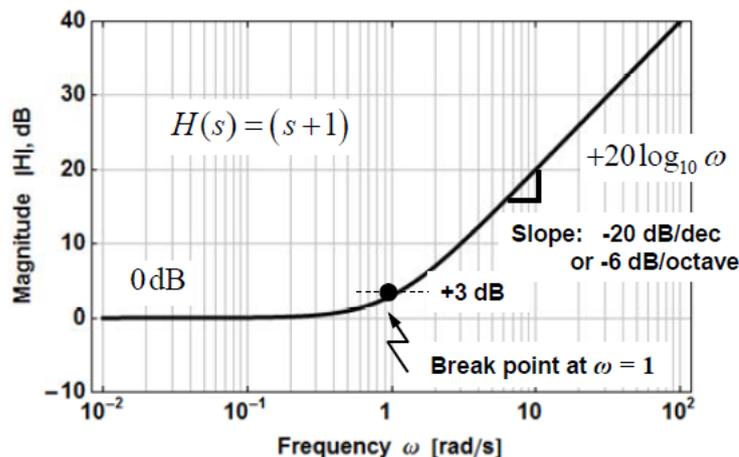
Asimtot ini berupa garis-garis lurus pada grafik dB vs log ω . Untuk $\omega \ll 1$ fungsinya adalah konstan, yaitu $|H| = 1$ atau 0 dB. Pada bagian ekstrim lainnya di mana $\omega \gg 1$, fungsi alih berkurang sebagai $-20 \log \omega$ dalam dB, pada skala log frekuensi ini berupa garis lurus dengan kemiringan -20 dB/dekade , yaitu fungsi alih berkurang 20 dB untuk setiap kelipatan sepuluh dari kenaikan frekuensi. Kemiringan ini setara dengan -6 dB/oktaf [12]. Dua garis lurus asimtot bertemu di titik frekuensi yang sesuai dengan letak kutub. Titik ini juga disebut dengan titik frekuensi penggal. Pada titik ini fungsi alih memiliki besar:

$$|H(j1)| = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ atau } -3 \text{ dB} \quad (6)$$



Gambar 5. Tanggapan frekuensi kutub (*pole*) sederhana pada $s = -1$ [11]

Fungsi alih nol sederhana berperilaku serupa, seperti ditunjukkan pada Gambar 6, kecuali bahwa fungsi alih mulai naik di titik frekuensi penggal dan bukannya turun. Laju perubahannya adalah sama 20 dB per dekade di atas titik frekuensi penggal.



Gambar 6. Tanggapan frekuensi nol (*zero*) sederhana pada $s = -1$ [11]

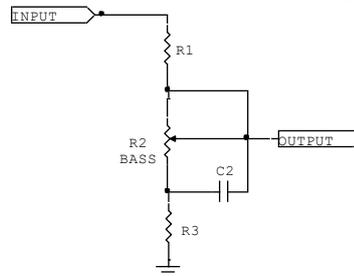
3. Perhitungan Nilai Komponen

Perhitungan nilai komponen pengatur nada rendah dan tinggi dilakukan agar hasilnya sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Perhitungan terpenting dilakukan pada keadaan atau posisi ekstrim yaitu:

- saat pengatur nada rendah (*bass*) pada keadaan mempunyai penguatan maksimum yang disebut *bass-boost* dan saat pengatur nada rendah (*bass*) pada keadaan mempunyai pelemahan maksimum yang disebut *bass-cut*.
- saat pengatur nada tinggi (*treble*) pada keadaan mempunyai penguatan maksimum yang disebut *treble-boost* dan saat pengatur nada tinggi (*treble*) pada keadaan mempunyai pelemahan maksimum yang disebut *treble-cut*.

3.1. Bass Boost

Untuk frekuensi rendah kapasitor pengatur nada pasif pada Gambar 1, C3 dan C4 akan bersifat hubung buka atau mempunyai nilai impedansi yang sangat besar. Nilai reaktansi kapasitif berbanding terbalik dengan frekuensi [13]. Pada keadaan penguatan nada rendah maksimum maka kapasitor C1 akan hubung singkat karena potensiometer R2 pada posisi teratas. Untai setara *bass boost* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Bass boost

$$V_o = V_i \frac{R_3 + R_2 // X_{C2}}{R_1 + R_3 + R_2 // X_{C2}} \quad (7)$$

$$V_o = V_i \frac{R_3 + \frac{R_2}{sR_2C_2 + 1}}{R_1 + R_3 + \frac{R_2}{sR_2C_2 + 1}} \quad (8)$$

Persamaan tersebut mempunyai nol (*zero*):

$$s_{01} = \frac{1 + R_2/R_3}{R_2C_2} \quad (9)$$

$$s_{p2} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_3}}{R_2C_2} \quad (10)$$

Notasi *s* mengandung besaran frekuensi yaitu $s = j\omega$ dimana $\omega = 2\pi f$ [12].

Penguatan untuk *bass-boost* frekuensi tinggi adalah:

$$Av1 = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \quad (11)$$

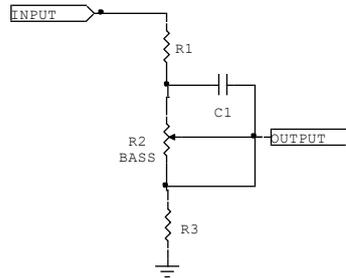
Penguatan untuk *bass-boost* frekuensi rendah adalah:

$$Av2 = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (12)$$

3.2. Bass Cut

Untuk frekuensi rendah kapasitor pada pengatur nada tinggi C3 dan C4 akan bersifat hubung buka atau mempunyai nilai impedansi yang sangat besar. Pada keadaan

pelemahan nada rendah maksimum maka kapasitor C2 akan hubung singkat karena potensiometer R2 pada posisi terbawah.



Gambar 8. *Bass cut*

$$V_o = V_i \frac{R_3}{R_1 + R_3 + R_2 // X_{c1}} \quad (13)$$

$$V_o = V_i \frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot \frac{sR_2C_1 + 1}{sR_2C_1 + 1 + \frac{R_2}{R_1 + R_3}} \quad (14)$$

Persamaan tersebut mempunyai nol (zero):

$$s_{03} = -\frac{1}{R_2C_1} \quad (15)$$

dan kutub (*pole*):

$$s_{p4} = -\frac{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_3}}{R_2C_1} \quad (16)$$

Penguatan untuk *bass-cut* frekuensi tinggi adalah:

$$A_{v3} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \quad (17)$$

Penguatan untuk *bass-cut* frekuensi rendah adalah:

$$A_{v4} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (18)$$

Ratio pada frekuensi rendah dari pengatur nada rendah:

$$\frac{A_{v2}}{A_{v4}} = 1 + \frac{R_2}{R_3} \quad (19)$$

Untuk rentang pengaturan 40 dB, maka:

$$1 + \frac{R_2}{R_3} = 100 \quad (20)$$

sehingga diperoleh:

$$R_2 = 99R_3 \approx 100R_3 \quad (21)$$

Rasio penguatan tegangan untuk frekuensi rendah dan tinggi saat penguatan nada rendah maksimum (*bass-boost*) adalah:

$$\frac{A_{v2}}{A_{v1}} = \frac{R_1 + R_3}{R_3} \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (22)$$

Dengan memasukkan persamaan (21) ke persamaan (22), maka diperoleh

$$\frac{A_{v2}}{A_{v1}} = \frac{100(R_1 + R_3)}{R_1 + 100R_3} \quad (23)$$

Pada penguatan nada rendah (*bass-boost*) 20 dB:

$$\frac{A_{v2}}{A_{v1}} = \frac{100(R_1 + R_3)}{R_1 + 100R_3} = 10 \quad (24)$$

$$R_1 = 10R_3 \quad (25)$$

Dengan menggunakan persamaan (17), (18), (21) dan (24) pada pelemahan nada rendah (*bass-cut*) 20 dB:

$$\frac{Av3}{Av4} = \frac{R3}{R1+R3} \cdot \frac{R1+R2+R3}{R3} \quad (26)$$

Akan diperoleh $Av3/Av4 = 10$

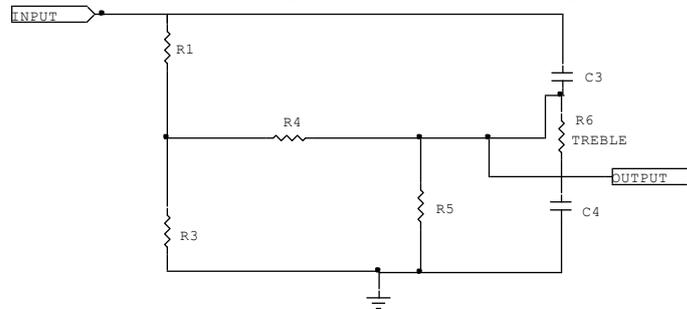
Artinya, rasio penguatan frekuensi tinggi dan frekuensi rendah pada pelemahan nada rendah (*bass-cut*) juga 20 dB. Untuk memperoleh tanggapan frekuensi yang simetri kita harus memilih $s01 = sp4$.

Dari persamaan (9), (16), (21) dan (25) diperoleh:

$$C2 = 10C1 \quad (27)$$

3.3. Treble Boost

Untuk frekuensi tinggi kapasitor pada pengatur nada rendah C1 dan C2 akan bersifat hubung singkat atau mempunyai nilai impedansi yang sangat kecil. Pada keadaan penguatan nada tinggi maksimum maka potensiometer R6 pada posisi teratas .



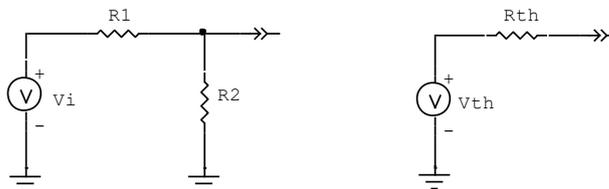
Gambar 9. Treble boost

Untuk melakukan perhitungan perlu dicari untai setara Thevenin untuk V_{in} , R1 dan R3. Untai setara thevenin terdiri dari satu sumber tegangan thevenin dan satu hambatan thevenin dimana besarnya tegangan thevenin adalah sama dengan tegangan terminal keluaran saat hubung buka dan besarnya hambatan thevenin adalah sama dengan besarnya hambatan pada terminal keluaran tanpa beban [14]. Dalam Gambar 9, hambatan Thevenin $R_{th} = R1//R2$ dan sumber tegangan Thevenin V_{th} diberikan oleh:

$$V_{th} = V_i \frac{R3}{R1+R3} \quad (28)$$

Berdasar persamaan (25) diperoleh:

$$V_{th} = \frac{V_i}{11} \quad (29)$$



Gambar 10. Untai setara thevenin

Dengan asumsi arus yang melalui resistor R6 jauh lebih kecil daripada yang mengalir melalui R4, maka

$$\frac{V_{th}-V_o}{R_{th}+R4} = (V_o - V_i)sC3 \quad (30)$$

Jika $R5 \gg R4$.

Substitusi persamaan (29) untuk V_i :

$$\frac{V_i - V_o}{\frac{11}{R_{th} + R4}} = (V_o - V_i) s C3 \quad (31)$$

Berdasarkan persamaan tersebut akan diperoleh:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{1}{11} + s C3 (R_{th} + R4)}{1 + s C3 (R_{th} + R4)} \quad (32)$$

Penguatan untuk *treble-boost* frekuensi rendah adalah:

$$Av5 = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{11} \quad (33)$$

Penguatan tersebut dalam dB setara dengan $20 \log(1/11) = -20,8$ dB.

Penguatan untuk *treble-boost* frekuensi tinggi adalah:

$$Av6 = \frac{V_o}{V_i} = 1 \quad (34)$$

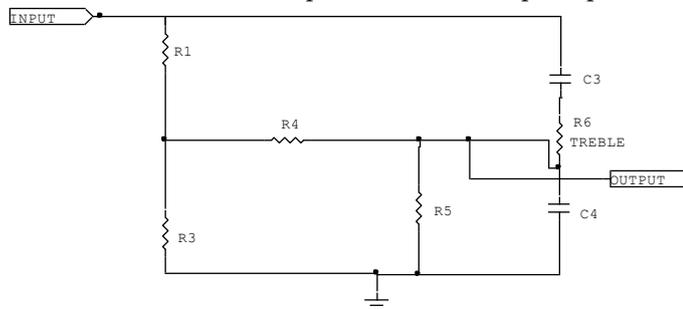
Penguatan $Av6$ tersebut dalam dB setara dengan $20 \log(1) = 0$ dB. Persamaan (30) memiliki nol (*zero*) yang diberikan oleh:

$$s05 = -\frac{1}{11(R_{th} + R4)C3} \quad (35)$$

$$sp6 = -\frac{1}{(R_{th} + R4)C3} \quad (36)$$

3.3. Treble Cut

Untuk frekuensi tinggi kapasitor pada pengatur nada rendah $C1$ dan $C2$ akan bersifat hubung singkat atau mempunyai nilai impedansi yang sangat kecil. Pada keadaan penguatan nada rendah minimum maka potensiometer $R6$ pada posisi terbawah .



Gambar 11. Treble cut

$$\frac{V_{th} - V_o}{R_{th} + R4} = s C4 V_o \quad (37)$$

$$\frac{V_o}{V_{th}} = \frac{1}{1 + s(R_{th} + R4)C4} \quad (38)$$

Dengan memasukkan persamaan (29) ke persamaan (38) maka:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{11[1 + s(R_{th} + R4)C4]} \quad (39)$$

Penguatan untuk *treble-cut* frekuensi rendah adalah:

$$Av7 = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{11} \quad (40)$$

Penguatan tersebut dalam dB setara dengan $20 \log(1/11) = -20,8$ dB.

Penguatan untuk *treble-cut* frekuensi tinggi adalah:

$$Av8 = \frac{Vo}{Vi} \approx 0 \tag{41}$$

Persamaan (37) mempunyai kutub (*pole*) yang diberikan sebagai:

$$sp7 = -\frac{1}{(Rth+R4)C4} \tag{42}$$

Agar diperoleh tanggapan frekuensi yang simetri harus harus dipilih $sp7 = s05$:

$$\frac{1}{(Rth+R4)C4} = \frac{1}{11(Rth+R4)C3}$$

Diperoleh:

$$C4 = 11C3 \tag{43}$$

Perhitungan nilai R6 dengan asumsi bahwa arus yang melalui R6 sangat kecil dibandingkan dengan yang mengalir melalui R4 ($IR6 \ll IR4$).

Besarnya arus yang mengalir melalui R4:

$$IR4 = \frac{\frac{Vi}{11} - Vo}{Rth + R4} \tag{44}$$

Besarnya arus yang mengakir melalui R6:

$$IR6 = \frac{Vi - Vo}{R6 + \frac{1}{sC3}} \tag{45}$$

Karena $IR4 \ll IR6$ maka dari persamaan (42) dan (43) untuk frekuensi cukup tinggi diperoleh:

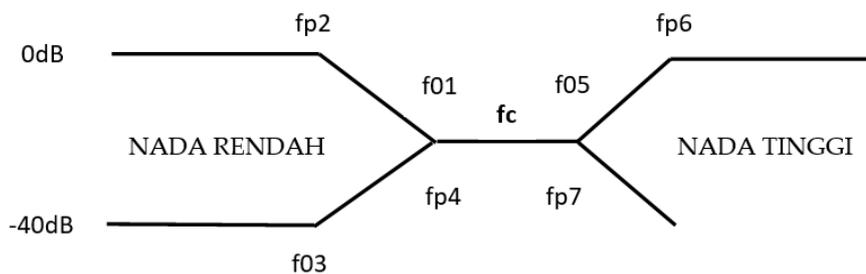
$$\frac{\frac{Vi}{11} - Vo}{Vi - Vo} \gg \frac{Rth + R4}{R6} \tag{46}$$

$$\frac{\frac{1}{11} \frac{Vi}{Vo}}{1 - \frac{Vo}{Vi}} \gg \frac{Rth + R4}{R6} \tag{47}$$

Berdasar persamaan (39) di mana $Vo/Vi \approx 0$, maka diperoleh:

$$R6 \gg 11(Rth + R4) \tag{48}$$

Letak kutub (*pole*) dan nol (*zero*) digambarkan secara idealnya pada gambar berikut:



Gambar 12. Letak kutub (*pole*) dan nol (*zero*)

Frekuensi pusat fc adalah rerata geometri dari dua buah frekuensi penggal $f01$ dan $f05$ dan hubungannya adalah sebagai:

$$fc = \sqrt{f01 \cdot f05} \tag{49}$$

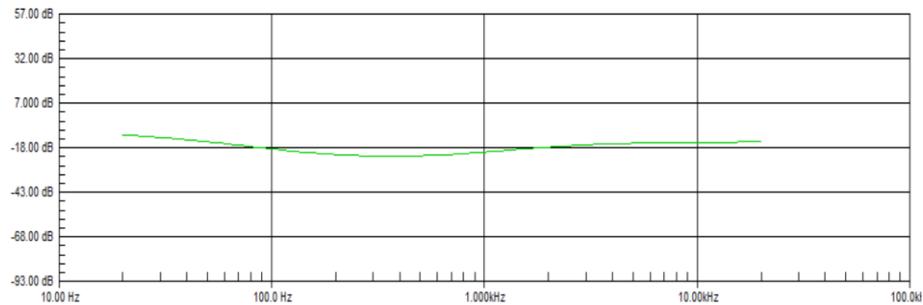
3.4. Nilai Komponen

Pertama kali ditentukan nilai peubah $R2 = 100K$. Sesuai persamaan (21) dan (25) diperoleh nilai $R1 = 10K$ dan $R3 = 1 K$. Dengan menetapkan frekuensi tengah $fc = 1 kHz$, maka nilai $f01$, $fp4$, $f05$, $fp7$ dipilih mendekati frekuensi tengah. Dengan menggunakan

persamaan (9), (15) dan (16) diperoleh nilai $C2 = 200 \text{ nF}$ dan nilai $f01 = fp4 = 795,7 \text{ Hz}$ dan $fp2 = 79,6 \text{ Hz}$. Sesuai persamaan (27) diperoleh nilai $C1 = 20 \text{ nF}$. $R4$ ditetapkan sebesar 10 K . Dengan menggunakan persamaan (35), (36) dan (42) diperoleh nilai $C3 = 1 \text{ nF}$ dan nilai $f05 = fp7 = 1.326,3 \text{ Hz}$ dan $fp6 = 14.589,3 \text{ Hz}$. Sesuai persamaan (43) diperoleh nilai $C4 = 11 \text{ nF}$. Dengan persamaan (48) diperoleh nilai $R6 = 100 \text{ K}$ dan dengan persamaan (49) diperoleh nilai frekuensi pusat $fc = 1027,4 \text{ Hz}$.

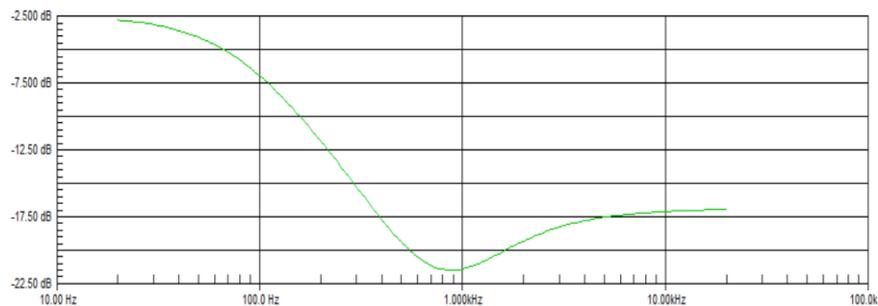
4. Hasil Pengukuran

Pada pengukuran untai pengatur nada rendah dan nada tinggi dipergunakan nilai komponen-komponen sesuai hasil perhitungan. Keluaran untai ini umumnya dihubungkan dengan untai penguat yang mempunyai impedansi masukan tinggi seperti halnya penguat operasi mempunyai hambatan masukan lebih besar dari 1 M ohm [14]. Pada pengukuran ini keluaran untai diberi beban $R5 = 100 \text{ K}$. Pengukuran dilakukan dengan posisi pengatur nada rendah dan nada tinggi bervariasi pada keadaan netral, maksimum dan minimum dan hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 13 sampai dengan Gambar 19.



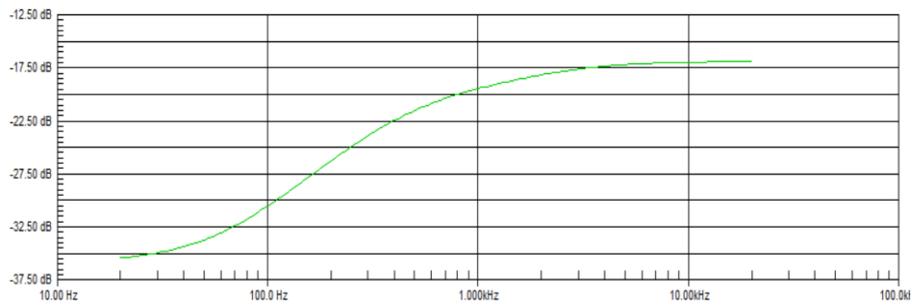
Gambar 13. Posisi pengatur nada rendah dan pengatur nada tinggi netral

Acuan rata-rata pada frekuensi 20 kHz = -20 dB.



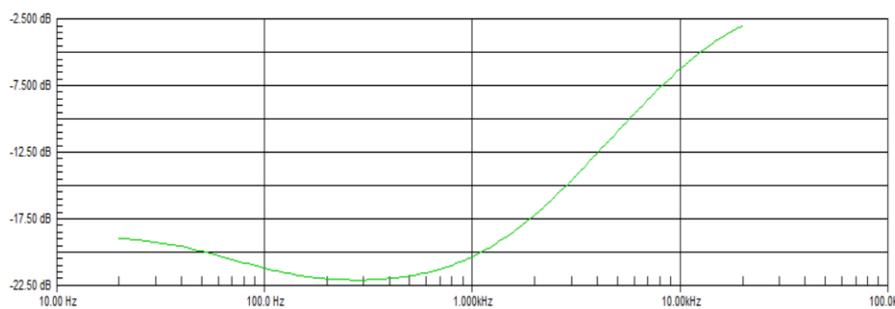
Gambar 14. Posisi pengatur nada rendah maksimum

Aras maksimum = - 2,5 dB dan aras pada frekuensi 1 kHz = -21,4 dB.



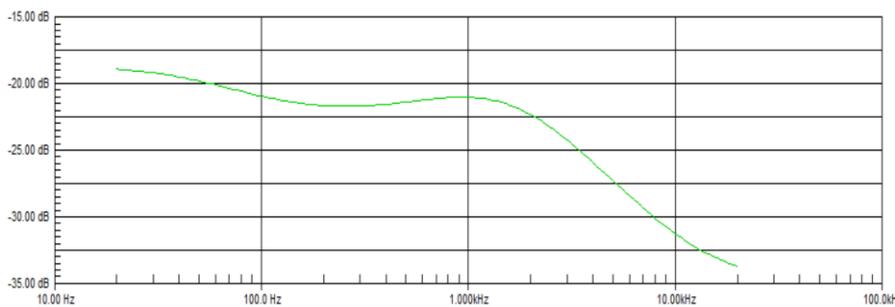
Gambar 15. Posisi pengatur nada rendah minimum

Aras minimum = -35,4 dB dan aras pada frekuensi 1 kHz = -19,4 dB.



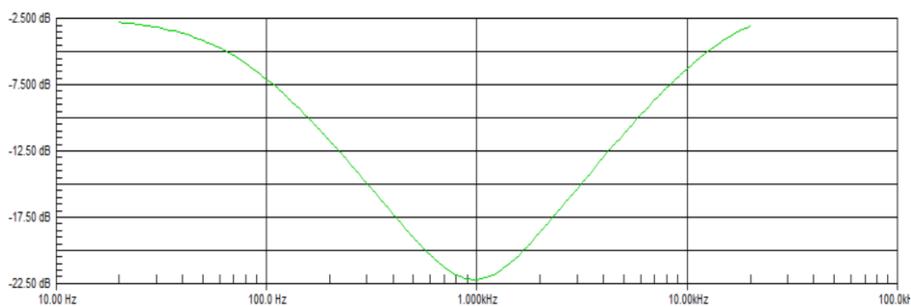
Gambar 16. Posisi pengatur nada tinggi maksimum

Aras maksimum = -3 dB dan aras pada frekuensi 1 kHz = -20,4 dB.



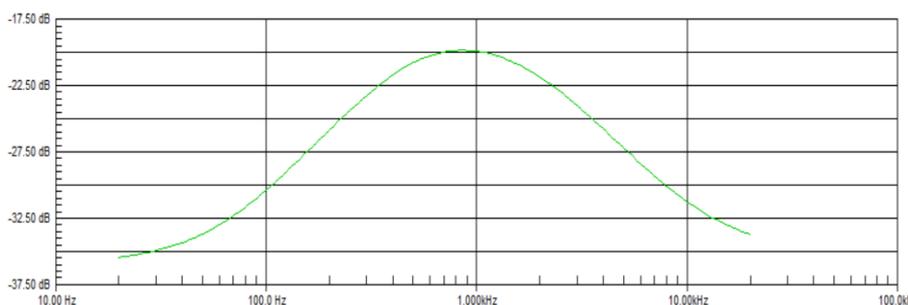
Gambar 17. Posisi pengatur nada tinggi minimum

Aras minimum = -33,7 dB dan aras pada frekuensi 1 kHz = -21 dB.



Gambar 18. Posisi pengatur nada rendah dan pengatur nada tinggi maksimum

Aras maksimum = -2,6 dB dan aras pada frekuensi 1 kHz = -22 dB.



Gambar 19. Posisi pengatur nada rendah dan pengatur nada tinggi minimum

Aras minimum = -36 dB & 33,5 dB dan aras pada frekuensi 1 kHz = -19 dB.

5. Kesimpulan

Pengaturan nada rendah maksimum belum mencapai +20 dB karena pada hasil pengukuran = +18,9 dB dan pengaturan nada rendah minimum belum mencapai -20 dB karena pada hasil pengukuran = -16 dB. Pengaturan nada tinggi maksimum belum mencapai +20 dB karena pada hasil pengukuran = +17,4 dB dan pengaturan nada rendah minimum belum mencapai -20 dB karena pada hasil pengukuran = -12,7 dB. Pengaturan nada rendah dan nada tinggi maksimum menunjukkan frekuensi penggal nada rendah mendekati 75 Hz dan frekuensi penggal nada tinggi mendekati 11,6 kHz serta frekuensi pusat mendekati 1 kHz. Hasil pengukuran tersebut menyimpang 5,8% dari hasil perhitungan frekuensi penggal bawah = 79,6 Hz dan menyimpang 20,5% dari hasil perhitungan frekuensi penggal atas = 14.589,3 Hz serta menyimpang 2,7% dari hasil perhitungan frekuensi pusat = 1027,4 Hz.

Daftar Pustaka

- [1] Pengertian Komponen Elektronika Aktif dan Komponen Elektronika Pasif [Online], <https://teknikelektronika.com/pengertian-komponen-elektronika-aktif-komponen-elektronika-pasif/>, diakses tanggal 1 Juni 2021.
- [2] Amplifier Control [Online], <https://learnabout-electronics.org/Amplifiers/amplifiers42.php>, diakses tanggal 19 Januari 2021.
- [3] Self, Douglas, " ", Focal Press, 1st edition, h. 259-268, 2010.
- [4] J. Denton Daile, "Electronics for Guitarists", Springer, ISBN 9781441995353. h. 47-49, 2011.
- [5] Electronics Component [Online], https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_component#Classification, diakses pada 5 Juni 2021.
- [6] Albert Malvino, David J. Bates, "Electronic principles", McGraw-Hill Education, 8th edition, h. 790-791, 2016.
- [7] Passive Low Pass Filter [Online], https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter_2.html, diakses pada 10 Juni 2021.
- [8] Passive High Pass Filter [Online], https://www.electronicstutorials.ws/filter/filter_3.html, diakses pada 10 Juni 2021
- [9] EE 230 Electronic Circuits & Systems Spring 2020, "First Order Filters" [Online], http://tuttle.merc.iastate.edu/ee230/topics/filters/first_order.pdf, diakses pada 23 September 2021.

- [10] Adel S. Sedra and Kenneth C. Smith, "Microelectronic circuits", Oxford University Press, 7th edition, 2015.
- [11] Bob York, "Frequency Response and Bode Plots" [Online], https://web.njit.edu/~levkov/classes_files/ECE232/Handouts/Frequency%20Response.pdf, diakses pada 10 Agustus 2021.
- [12] William H. Hayt, Jr., Jack E. Kemmerly and Steven M. Durbin, "Engineering Circuit Analysis, , McGraw-Hill Companies, Inc., 8th edition, h. 541 & 650, 2012.
- [13] Allan H. Robbins and Wilhelm C. Miller, "Circuit Analysis: Theory and Practice", Delmar Cengage Learning, 5th edition, h. 554-558, 2012
- [14] James A. Svoboda and Richard C. Dorf, "Introduction to Electric Circuits", John Wiley & Sons, Inc., 9th edition, 2014.