

OPTIMASI NILAI BEBAN RESISTIF MENGGUNAKAN FAKTOR PENGALI PADA FILTER RC FREKUENSI TINGGI ORDE PERTAMA

Winarno¹⁾, Ari Santoso²⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya
Jl. Sutorejo No 59, Surabaya 60113, Jawa Timur, Indonesia

²⁾ Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur, Indonesia

E-mail : ¹⁾winarno@ft.um-surabaya.ac.id, ²⁾santoso@ee.its.ac.id

ABSTRAK

Beban resistif yang dipasang pada sisi output filter RC frekuensi tinggi orde pertama mempengaruhi respon frekuensi ideal circuit. Respon frekuensi ideal berarti *frequency*, *magnitude*, *phase* dan *slope* ketika filter dibebani dengan beban resistif tertentu nilainya sama dengan kondisi tidak dibebani. Paper ini menyajikan perhitungan nilai beban resistif pada filter RC frekuensi tinggi orde pertama menggunakan model matematika sederhana dengan faktor pengali. Tujuannya untuk mendapatkan nilai optimum sehingga pengaruh pembebanan minimum dapat dicapai. *Zero* dan *pole* hadir di fungsi transfer sehingga ada dua nilai resistansi. Simulasi menunjukkan pada n sama dengan 3 dan n sama dengan -3 respon frekuensi mendekati respon frekuensi ideal. Nilai resistansi yang diperoleh sebesar 1.592 M Ω dan 1.592 Ω . Nilai resistansi 1.592 M Ω adalah ideal untuk mengurangi pengaruh pembebanan.

Kata kunci: beban resistif, HPF, respon frekuensi, frekuensi, magnitudo, fasa, slope, orde pertama

ABSTRACT

Resistive load at the output side of first order high pass passive RC filter affects frequency response of circuit. Ideal frequency response means when first order high pass passive RC filter the value of frequency, magnitude, phase, slope are equal to no load condition. Paper presents calculation using simple method to achieve optimum resistive load value for first order high pass passive RC filter. We use multiplier for achieving optimum value so lower loading effect of filter. Zero and pole present in transfer function so we get two resistances. Simulation shows an ideal frequency response achieved at the multiplier of 3 and -3. Resistance values of 1.592 M Ω and 1.592 Ω are proportional to those multiplier. Resistance value of 1.592 M Ω is ideal for decreasing the loading effect.

Keywords: resistive load, HPF, frequency response, frequency, magnitude, phase, slope, first order.

1. PENDAHULUAN

Filter RC frekuensi tinggi orde pertama difungsikan untuk menguatkan sinyal frekuensi tinggi sementara sinyal frekuensi rendah

dilemahkan atau ditolak. Model filter ini ditunjukkan di [1]. Model menunjukkan filter ini termasuk filter konvensional yang hanya disusun dari komponen elektronik pasif resistor dan kapasitor. Filter ini termasuk filter tipe pasif orde

pertama karena hanya satu kapasitor yang digunakan. Kapasitor dicircuit filter ini digunakan sebagai komponen input sementara resistor digunakan sebagai komponen output. Tegangan output adalah tegangan pada resistor. Besar tegangan input sama dengan tegangan pada kapasitor ditambah tegangan pada resistor. Kapasitor mempunyai komponen parasitic *esr* (*equivalent series resistance*) dan *esl* (*equivalent series inductance*) yang terletak di dalam strukturnya. *Esr* dan *esl* ada secara alami karena material yang digunakan untuk membuat kapasitor. Nilai *esr* mempengaruhi karakteristik circuit jika frekuensi yang digunakan sangat tinggi [2]. *Spike* akan hadir pada frekuensi *cut off*. Di paper ini nilai *esr* dan *esl* diabaikan. Model kapasitor di [3] dapat digunakan untuk melakukan analisis statis dan dinamis berbagai circuit filter. Model menunjukkan komponen *esr* dihubung seri dengan nilai kapasitansi kapasitor. Faktor - faktor yang mempengaruhi nilai *esr* mencakup; material yang digunakan, panjang *foil*, ketebalan layer oksida aluminum, nilai *ohmic* dll [4]. Ada dua jenis filter yang umum digunakan yaitu filter pasif dan aktif. Seperti dinyatakan sebelumnya filter yang menggunakan kombinasi komponen resistor, induktor, kapasitor termasuk filter pasif. Untuk menjadikan filter aktif maka komponen penguat harus digunakan, umumnya komponen semikonduktor. Filter *butterworth* adalah salah satu contoh filter aktif. Filter ini menggunakan *operational amplifier* sebagai komponen penguat sinyal input [5]. Klasifikasi filter ditunjukkan di [6]. Filter menemukan aplikasinya di [7]. Respon frekuensi filter RC orde pertama ditunjukkan di [6]. Ini adalah respon frekuensi ideal dimana beban resistif tidak dipasang pada sisi output filter. Jadi pengaruh pembebanan pada karakteristik filter tidak dimasukkan dalam perhitungan. Grafik menunjukkan respon frekuensi yang berbeda antara filter RC frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Ada dua grafik hadir di respon frekuensi yaitu *gain* dan *phase*. Pada filter RC frekuensi rendah orde pertama; *flat* sebesar 0 dB di *pass band* dan melemah di *stop band* dengan *slope* sebesar $-20 \text{ dB per decade}$. Pada frekuensi *cut off* terjadi penurunan *gain*

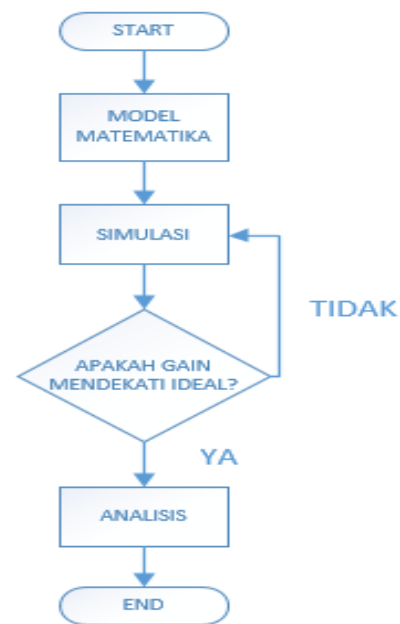
sebesar -3 dB dengan *phase shift* sebesar -45° . *Phase* start dari 0° dan frekuensi *cut off* terjadi pada -45° . Pada filter RC frekuensi tinggi orde pertama; *flat* sebesar 0 dB di *pass band* dan menguat di *stop band* dengan *slope* sebesar 20 dB per decade . Pada frekuensi *cut off* terjadi penurunan *gain* sebesar -3 dB dengan *phase shift* sebesar 45° . *Phase* start dari 90° dan frekuensi *cut off* terjadi pada 45° . Implementasi memristor (*memory resistor*) di circuit filter RC frekuensi tinggi orde pertama telah dianalisis di [8]. Pengaruh pembebanan masih terjadi dimana *slope* masih berbeda antara hasil simulasi dan *experimental*.

Implementasi beban resistif di circuit filter RC frekuensi rendah orde pertama telah dianalisis di [9]. Nilai beban resistif dicircuit dapat ditentukan menggunakan faktor pengali untuk mendapatkan penurunan *gain* terendah pada frekuensi *cut off*. Menggunakan nilai beban resistif sebesar 1000 kali nilai resistansi input diperoleh penurunan *gain* terendah. Nilai *slope* masih ideal. Ada satu *pole* dan satu *zero* hadir di fungsi transfer filter RC frekuensi tinggi orde pertama sementara filter RC frekuensi rendah orde pertama hanya ada satu *pole* tidak ada *zero*. Kita melakukan analisis dengan adanya *zero* di fungsi transfer filter RC frekuensi tinggi orde pertama menggunakan faktor pengali untuk validasi pengaruh pembebanan. Efektifitas faktor pengali dibuktikan di paper ini. Di [6] nilai kapasitor dan induktor ditentukan menggunakan faktor skala dalam merancang filter *butterworth* frekuensi tinggi. Nilai impedansi beban dan impedansi sumber dibuat sama. Paper ini menyajikan optimasi nilai beban resistif yang dipasang pada filter RC frekuensi tinggi orde pertama menggunakan model matematika sederhana. Tujuannya adalah untuk mengusulkan persamaan matematika sederhana yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai optimum beban resistif sehingga karakteristiknya mendekati karakteristik filter tanpa beban resistif. Jadi pengaruh pembebanan pada filter dapat diminimalkan. Paper disusun sebagai berikut. Bagian pertama, pendahuluan. Bagian kedua, metode penelitian. Bagian ketiga, hasil dan

diskusi. Bagian terakhir adalah kesimpulan dan saran.

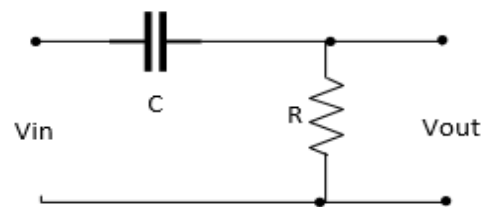
2. METODE PENELITIAN

Tahapan di penelitian ini dilakukan sebagai berikut. Pertama, kita menentukan parameter yang digunakan. Di tahap ini nilai resistansi resistor, kapasitansi kapasitor dan frekuensi yang digunakan ditentukan menggunakan rumus dasar. Frekuensi *cut off* diperoleh ditahap ini. Kedua, kita menentukan model filter RC frekuensi tinggi orde pertama. Model diperoleh dengan cara merujuk ke paper sebagai referensi. Model yang dipilih adalah tipe filter pasif. Ketiga, kita menentukan *transfer function* atau fungsi transfer dari model. Di tahap ini diperoleh *transfer function* untuk model tanpa beban resistif dan dengan beban resistif. Model matematika sederhana juga diusulkan ditahap ini. Fungsi transfer adalah rasio atau perbandingan antara tegangan output terhadap tegangan input $\frac{V_{out}}{V_{in}}$. Berikutnya beberapa nilai beban resistif diperoleh yang digunakan untuk melakukan analisis statis dan dinamis. Keempat, kita melakukan analisis statis dan dinamis. Analisis statis digunakan untuk mendapatkan nilai *gain* terendah dan penggeseran fasa dengan masing – masing nilai beban resistif. Analisis dinamis digunakan untuk mendapatkan penurunan amplitudo tegangan. Gambar 1 menunjukkan *flowchart* tahapan penelitian.

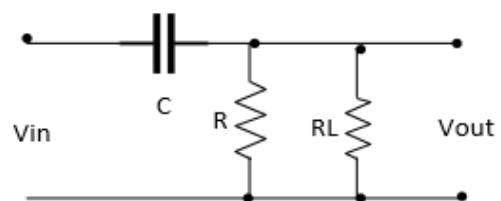


Gambar 1 *flowchart* penelitian

Gambar 2 menunjukkan model filter RC frekuensi tinggi orde pertama. Beban resistif R_L dipasang paralel dengan R yang membentuk *loop* tertutup pada sisi output filter.



(a)



(b)

Gambar 2 (a) model tanpa beban resistif

(b) model dengan beban resistif

Konversi dalam bentuk Laplace untuk rangkaian di gambar 2 kita dapatkan

resistor R menjadi

$$R = R \dots \dots \dots (1)$$

kapasitor C menjadi

$$C = \frac{1}{sC} \dots \dots \dots (2)$$

beban resistif R_L menjadi

$$R_L = R_L \dots \dots \dots (3)$$

Menggunakan hukum II Kirchoff, gambar 2 (a), kita dapatkan

$$V_{in(s)} = V_{C(s)} + V_{R(s)} \dots \dots \dots (4)$$

dimana

$$V_{in(s)} = \text{tegangan input satuan volt}$$

$$V_{C(s)} = \text{tegangan kapasitor satuan volt}$$

$$V_{R(s)} = \text{tegangan resistor satuan volt}$$

Substitusi (1) dan (2) ke (4) kita dapatkan

$$V_{in(s)} = I_{(s)} \frac{1}{sC} + I_{(s)} R \dots \dots \dots (5)$$

atau

$$V_{in(s)} = I_{(s)} \left(\frac{1}{sC} + R \right)$$

dan

$$V_{out(s)} = I_{(s)} R \dots \dots \dots (6)$$

atau

$$I_{(s)} = \frac{V_{out(s)}}{R}$$

Substitusi (6) ke (5) kita dapatkan

$$V_{in(s)} = V_{out(s)} + \frac{V_{out(s)}}{sCR}$$

dan rasio tegangan output $V_{out(s)}$ terhadap tegangan input $V_{in(s)}$ kita dapatkan

$$V_{in(s)} = V_{out(s)} \left(1 + \frac{1}{sCR} \right)$$

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{sCR}{sCR + 1} \dots \dots \dots (7)$$

Persamaan (7) adalah *transfer function* atau fungsi transfer tegangan input ke tegangan output untuk model tanpa beban resistif. Fungsi transfer ini dijadikan sebagai referensi. Berikutnya kita menentukan fungsi transfer untuk model dengan beban resistif R_L .

Merujuk ke gambar 2 (b) kita dapatkan

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_P} &= \frac{1}{R} + \frac{1}{R_L} \\ &= \frac{R_L + R}{RR_L} \\ R_P &= \frac{RR_L}{R_L + R} \end{aligned}$$

dimana R_P adalah resistansi paralel antara beban resistif dan resistansi output dalam satuan Ohm.

Menggunakan hukum II Kirchoff kita dapatkan

$$V_{in(s)} = V_{C(s)} + V_{RP(s)} \dots \dots \dots (8)$$

atau

$$V_{in(s)} = I_{(s)} \frac{1}{sC} + I_{(s)} R_P$$

dimana

$$\begin{aligned} V_{RP(s)} &= V_{out(s)} = I_{(s)} R_P \\ &= I_{(s)} \frac{RR_L}{R_L + R} \end{aligned}$$

atau

$$I_{(s)} = V_{out(s)} \frac{R_L + R}{RR_L} \dots \dots \dots (9)$$

Substitusi (9) ke (8) kita dapatkan

$$\begin{aligned} V_{in(s)} &= V_{out(s)} \frac{R_L + R}{RR_L} \frac{1}{sC} + V_{out(s)} \\ &= V_{out(s)} \left(\frac{R_L + R}{sCRR_L} + 1 \right) \end{aligned}$$

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{sCRR_L}{sCRR_L + R + R_L} \dots \dots \dots (10)$$

Persamaan (10) adalah *transfer function* atau fungsi transfer tegangan input ke tegangan output untuk model dengan beban resistif R_L . Optimasi nilai beban resistif R_L untuk transfer optimum kita mengemukakan persamaan rasio R terhadap R_L .

$$r = \frac{R}{R_L} \dots \dots \dots (11)$$

dan

$$r = \frac{1}{10^n} \dots \dots \dots (12)$$

dimana

n adalah faktor pengali . n boleh bernilai negatif atau positif dan merupakan variabel bebas.

Substitusi (12) ke (11) kita dapatkan

$$R_L = R \cdot 10^n \dots \dots \dots (13)$$

Meskipun banyaknya faktor pengali adalah variabel bebas, di penelitian ini kita hanya menggunakan 6 faktor pengali dengan nilai positif dan negatif. Untuk nilai positif kita gunakan $n = 1, 2, 3$ sementara untuk nilai negatif kita gunakan $n = -1, -2, -3$. Pemilihan nilai positif dan negatif karena ada satu *zero* dan satu *pole* pada bidang s atau s -plane. *Pole* bernilai negatif dan terletak pada sumbu X negatif sementara *zero* terletak tepat di titik asal.

Parameter yang digunakan dipenelitian ini ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1 parameter yang digunakan

Parameter	Nilai	Satuan
Resistor	1,592	K Ω
Kapasitor	100	pikoFarad
Frekuensi	1	MHz

Resistor dengan nilai resistansi sebesar 1,592 K Ω sulit didapatkan di pasaran. Pendekatan logis adalah resistansi sebesar 1600 Ω . Penggunaan

nilai resistansi karena pembulatan berpengaruh pada respon frekuensi filter. Perhitungan ulang nilai kapasitor sangat diperlukan untuk mendapatkan karakteristik filter mendekati karakteristik ideal. Selain itu pemilihan parameter diatas harus divalidasi dengan eksperimen.

3. HASIL DAN DISKUSI

Merujuk ke persamaan (13) dan tabel 1 berikutnya kita menghitung nilai beban resistif menggunakan 6 faktor pengali. Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan nilai beban resistif.

Tabel 2 nilai beban resistif

Faktor pengali n	Nilai beban resistif R_L	Satuan
1	15,92	K Ω
2	159,2	K Ω
3	1,592	M Ω
-1	159,2	Ω
-2	15,92	Ω
-3	1,592	Ω

Tabel 2 menunjukkan untuk n positif diperoleh nilai beban resistif mulai dari 15.92 K Ω hingga 1.592 M Ω sementara untuk n negatif didapat nilai beban resistif mulai dari 1.592 Ω hingga 159.2 Ω . Dua catatan penting hadir disini. Pada n sama dengan 3 nilai R_L sangat besar dibanding nilai R sementara pada n sama dengan -3 nilai R_L sangat kecil dibanding nilai R . Karena kedua komponen ini dipararel maka nilai resistansi pararel nilainya dikisaran nilai resistansi terkecil. Ini berarti nilai resistansi terkecil lebih dominan. Berikutnya kita menentukan fungsi transfer menggunakan parameter di tabel (1) dan tabel (2). Merujuk ke persamaan (7) kita dapatkan fungsi transfer tanpa beban resistif

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{s}{s + 6,281 \cdot 10^6}$$

Respon frekuensi menggunakan fungsi transfer tanpa beban resistif adalah respon frekuensi ideal. Berikutnya kita menentukan fungsi transfer dengan beban resistif dengan merujuk ke persamaan (10)

Untuk $R_L = 15,92 \text{ K}\Omega$ kita dapatkan

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{s}{s + 6,9096 \cdot 10^6}$$

Untuk $R_L = 159,2 \text{ K}\Omega$ kita dapatkan

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{s}{s + 6,3442 \cdot 10^6}$$

Untuk $R_L = 1,592 \text{ M}\Omega$ kita dapatkan

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{s}{s + 6,2877 \cdot 10^6}$$

Untuk $R_L = 159,2 \text{ }\Omega$ kita dapatkan

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{s}{s + 69,095 \cdot 10^6}$$

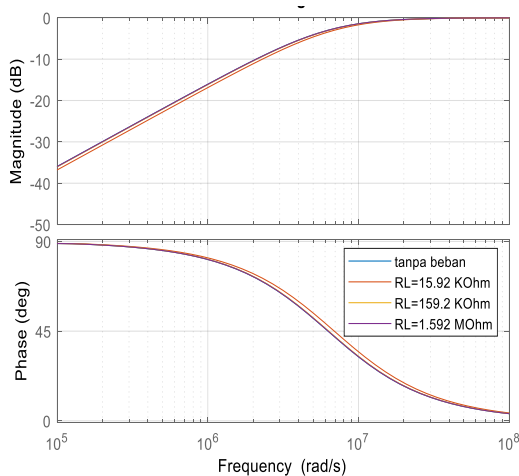
Untuk $R_L = 15,92 \text{ }\Omega$ kita dapatkan

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{s}{s + 634,422 \cdot 10^6}$$

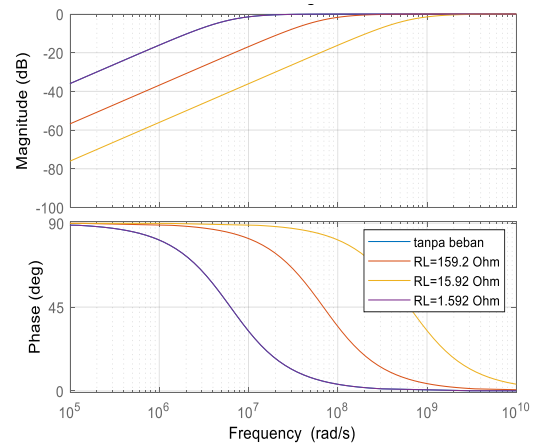
Untuk $R_L = 1,592 \text{ }\Omega$ kita dapatkan

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{s}{s + 6,288 \cdot 10^6}$$

Berikutnya kita melakukan analisis statis menggunakan *bode plot*. Ke tujuh *transfer function* atau fungsi transfer yang diperoleh digunakan dalam simulasi. Ada satu *pole* dan satu *zero* hadir di setiap fungsi transfer yang didapat. Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi



(a)



(b)

Gambar 3 (a) karakteristik untuk n positif
 (b) karakteristik untuk n negatif

Berdasar hasil simulasi yang ditunjukkan oleh gambar 3 kita mendapatkan seperti yang ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3 karakteristik filter

Beban ($K\Omega$)	Magnitudo (dB)	Frekuensi (rad/sec)	Fasa (0)	Slope ($dB/decade$)
Tanpa beban	-3.01	$6,28 \cdot 10^6$	45	19.9
15.92	-3.01	$6.92 \cdot 10^6$	45	19.9
159.2	-3.02	$6.33 \cdot 10^6$	45	19.9
1592	-3.02	$6.28 \cdot 10^6$	45	20
0.1592	-3.02	$69 \cdot 10^6$	45	19.9
0.01592	-3.01	$635 \cdot 10^6$	45	19.9
0.001592	-3.01	$6.28 \cdot 10^6$	45	20

Merujuk ke tabel 3 kita dapatkan penggunaan resistor sebesar $1.592 \text{ M}\Omega$ atau $1.592 \text{ }\Omega$ pada filter sebagai beban resistif berkontribusi menghasilkan respon frekuensi mendekati ideal. Nilai ini setara dengan n sama dengan 3 dan n sama dengan -3. Meskipun ada sedikit penurunan magnitudo pada n sama dengan 3 tetapi frekuensi *cut off* sama dengan frekuensi *cut off* ideal. Tabel

4 menunjukkan rasio tegangan output terhadap tegangan input pada frekuensi *cut off*.

Tabel 4 rasio V_{out}/V_{in} pada frekuensi *cut off*

Beban (K Ω)	Magnitudo (dB)	(V_{out}/V_{in}) (%)	Penurunan (%)
Tanpa beban	-3.01	70.7	29.3
15.92	-3.01	70.7	29.3
159.2	-3.02	70.6	29.4
1592	-3.02	70.6	29.4
0.1592	-3.02	70.6	29.4
0.01592	-3.01	70.7	29.3
0.001592	-3.01	70.7	29.3

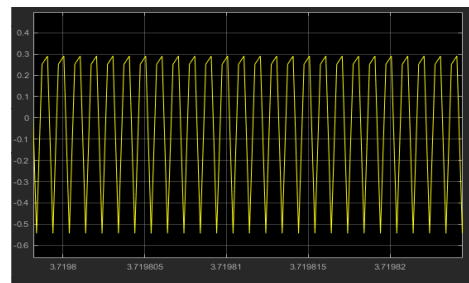
Tabel 4 menunjukkan penurunan tegangan output filter pada frekuensi *cut off* tidak signifikan dengan variasi n positif dan negatif. Kita dapatkan rata – rata penurunan tegangan output filter sebesar 29.35. Nilai ini mendekati nilai penurunan tanpa beban resistif. Tabel 5 menunjukkan perbandingan parameter.

Tabel 5 perbandingan parameter

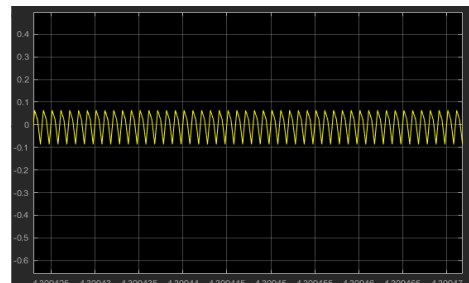
Besaran	Tanpa beban	Rata – rata untuk n positif	Rata – rata untuk n negatif
Magnitudo (dB)	-3.01	-3,02	-3.01
Frekuensi (rad/sec)	$6.28 \cdot 10^6$	$6,51 \cdot 10^6$	$236.76 \cdot 10^6$
Fasa (0)	45	45	45
Slope (dB/decade)	19.9	19.93	19.9

Tabel 5 menunjukkan kenaikan signifikan terjadi pada frekuensi *cut off* untuk n negatif. Ini berarti penggunaan nilai resistansi sangat rendah sebagai beban resistif pada filter berkontribusi menaikkan

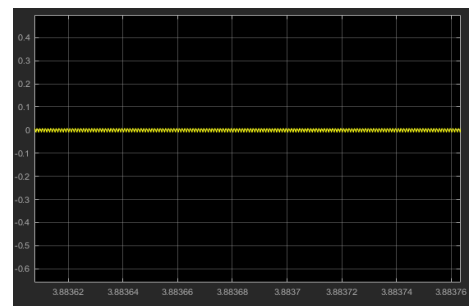
frekuensi *cut off*. Respon frekuensi filter mendekati ideal terjadi pada n sama dengan -3. Analisis dinamis diselenggarakan dengan cara menginjeksi sinyal sinus ke circuit dengan amplitudo 1 dan frekuensi 1 MHz atau setara dengan $6.283 \cdot 10^6 \text{ rad/sec}$. Kita memilih n negatif untuk simulasi. Alasan pemilihan n negatif karena n positif menghasilkan resistansi dengan karakteristik filter mendekati respon frekuensi ideal. Tiga respon frekuensi dibuat dengan tujuan menghadirkan perbedaan yang jelas. Di analisis dinamis n sama dengan -3 dijadikan sebagai referensi. Gambar 4 menunjukkan respon frekuensi filter.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4 respon filter terhadap n negatif
 (a) untuk n sama dengan -3
 (b) untuk n sama dengan -1
 (c) untuk n sama dengan -2

Gambar 4 menunjukkan perubahan amplitudo untuk tiga n negatif. Penurunan amplitudo terkecil terjadi pada n sama dengan -3, gambar 4 (a) sementara penurunan amplitudo terbesar terjadi pada n sama dengan -2, gambar 4 (c). Tabel 6 menunjukkan prosentase penurunan amplitudo

Tabel 6 penurunan amplitudo

n	Beban (Ω)	Amplitudo	Penurunan (%)
-1	159.2	0.151	84.9
-2	15.92	0.0174	98.26
-3	1.592	0.79	21

Tabel 6 menunjukkan penurunan amplitudo terbesar terjadi pada n sama dengan -2. Merujuk tabel ke 3 pada n sama dengan -2 perubahan signifikan terjadi pada frekuensi *cut off* yang mengakibatkan turunnya nilai reaktansi kapasitif kapasitor. Ini berarti kapasitor seperti dihubung singkat atau *short circuited* yang mengakibatkan penurunan amplitudo.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Model matematika sederhana menggunakan faktor pengali yang diusulkan di paper ini sangat efektif dan dapat digunakan sebagai hitungan teori untuk menentukan nilai optimum resistansi beban resistif pada filter pasif orde pertama. Simulasi menunjukkan faktor pengali atau n sama dengan 3 dan -3 mampu menghasilkan karakteristik mendekati karakteristik ideal. Faktor pengali ini setara dengan resistor 1.592 M Ω dan 1.592 Ω . Nilai resistansi 1.592 M Ω adalah ideal untuk mengurangi pengaruh pembebanan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Arora and V. Niranjana, "Low Power Filter Design using Memristor, Meminductor and Memcapacitor," vol. 1, no. c, pp. 113–117, 2017.
- [2] H. S. H. Chung, W. T. Yan, and A. K. T. Sung, "Active cancellation of capacitor ESR and ESL effects for improving converter transient and steady-state response," *2009 IEEE Energy Convers. Congr. Expo. ECCE 2009*, pp. 723–730, 2009, doi: 10.1109/ECCE.2009.5316443.
- [3] S. Y. Ou, H. F. Su, and C. Y. Tang, "Analysis of output capacitor parasitic effects to output voltage ripple on power converter," *Proc. Int. Conf. Power Electron. Drive Syst.*, no. December, pp. 367–372, 2011, doi: 10.1109/PEDS.2011.6147274.
- [4] D. J. Shortt, "THE EFFECT OF CAPACITOR EQUIVALENT SERIES INDUCTANCE ON DC - DC CONVERTER PERFORMANCE AND STABILITY," pp. 136–142, 1989.
- [5] Z. Gao, Z. Sang, X. Zhang, and S. Zhang, "Anti-aliasing Filter Circuit Design for Active Power Filter," pp. 147–159, 2010, doi: 10.1109/IHMSC.2010.44.
- [6] L. Syed, S. H. Hasan, H. Rashid, and W. Gulistan, "Designing band pass filter for HF radio's front end," *2019 Int. Conf. Commun. Technol. ComTech 2019*, no. ComTech, pp. 60–64, 2019, doi: 10.1109/COMTECH.2019.8737794.
- [7] M. U. Iftikhar, D. Sadarnac, and C. Karimi, "Input Filter Damping Design for Control Loop Stability of DC-DC Converters," pp. 353–358, 2007.
- [8] K. Sehra, G. K. Shakya, P. Kasturi, M. A. Wagh, and M. Saxena, "Simulation and Experimental Demonstration of Low-/High-Pass Filter using Memristors," *J. Undergrad. Res. Innov.*, vol. 2, no. 1, pp. 98–108, 2016.
- [9] Winarno and A. Santoso, "PENGARUH BEBAN RESISTIF MENGGUNAKAN FAKTOR PENGALI TERHADAP PENGUATAN FILTER RC FREKUENSI

RENDAH ORDE PERTAMA,” *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 20, pp. 20–27, 2025, doi: <https://doi.org/10.30587/e-link.v20i2.10567>.