

STUDI PENGARUH KAPASITANSI DAN INDUKTANSI CROSSOVER BUTTERWORTH PADA CUTTING FREKUENSI

Michael Sunarto Gordon¹⁾, Sutrisno²⁾

Program Otomotif Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia^{1,2)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : michelin_009@yahoo.com¹⁾, tengsutrisno@petra.ac.id²⁾

ABSTRAK

Pada masa sekarang ini sebagian besar orang Indonesia akan mengganti perangkat audio standar (OEM) dari mobilnya, karena kualitas audio yang kurang baik, sehingga dapat diganti dengan speaker jenis 2-way system atau 3-way system. Dengan adanya berbagai macam speaker, maka diperlukan passive crossover yang berisi komponen kapasitor dan induktor, berfungsi sebagai pembagi suara berdasarkan range frekuensi.

Studi tentang pengaruh kapasitor, induktor, dan resistor dapat dilakukan terhadap cutting frekuensi yang dihasilkan pada rangkaian crossover butterworth. Passive crossover ini dibuat untuk speaker berjenis 2-way system dengan orde dua. Untuk mengetahui hasil cutting frekuensi, maka dilakukan pengujian menggunakan bantuan alat ukur RTA (Real Time Analyzer) dan software ARTA. Pada software ARTA akan didapatkan pembacaan respon suara yang dihasilkan speaker. Dari data respon suara yang dihasilkan speaker, maka dapat diketahui cutting frekuensi yang dihasilkan rangkaian passive crossover.

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa, terdapat perbedaan hasil cutting frekuensi high pass dan low pass antara realita dengan rumus. Perbedaan hasil cutting frekuensi high pass terjadi pada rentang frekuensi 1,4-3,5 KHz. Sedangkan pada low pass perbedaan cutting frekuensi terjadi pada rentang frekuensi 1,9-8,5 KHz. Konfigurasi rangkaian high pass dan low pass yang menghasilkan cutt point pada frekuensi 3 KHz, 2,7 KHz, 1,7KHz, 1,1KHz, 500Hz dapat digunakan pada sistem 2-way. Penambahan resistor yang dirangkai secara L-pad lebih efektif karena dapat menurunkan gain hingga 10 dB. Namun resistor yang digunakan pada rangkaian L-pad nilainya tidak boleh melebihi 4 Ohm.

Kata Kunci: passive crossover, cutting frekuensi, cutt point, speaker, high pass, low pass

1. Pendahuluan

(Prasetyo)^[4] Pada masa sekarang ini perkembangan car audio di Indonesia sudah banyak mengalami kemajuan. Pertumbuhan car audio erat kaitannya dengan perkembangan pasar mobil baru di Indonesia. Hal itu dikarenakan sebagian besar audio standar mobil (OEM) mempunyai kualitas yang kurang baik. Untuk meningkatkan kualitas audio standar mobil (OEM) diperlukan untuk mengganti beberapa perangkat audio, antara lain yaitu speaker. Dalam pemilihan jenis speaker yang digunakan terdapat dua sistem yaitu 2-way speaker system dan 3-way speaker system.

(Wikikomponen)^[5] Dengan adanya beberapa jenis speaker dalam sistem car audio maka diperlukan crossover. Crossover merupakan alat untuk memisahkan sinyal suara berdasarkan range frekuensi pada output amplifier menuju speaker. Tujuannya agar suara yang dihasilkan oleh speaker dapat terdefinisi dengan jelas. (Kiki Kardian)^[2] Ada 2 jenis crossover yang biasa digunakan dalam car audio yaitu active crossover dan passive crossover. Namun pada umumnya crossover yang diberikan oleh pabrikan speaker mobil adalah passive crossover.

Passive crossover ini terdiri dari konfigurasi rangkaian kapasitor, induktor, dan resistor. Di dalam rangkaian, kapasitor berfungsi sebagai filter untuk frekuensi atas (High Pass Filter). Induktor berfungsi

sebagai filter untuk frekuensi bawah (Low Pass Filter), sedangkan resistor berfungsi untuk mengurangi gain. Cutting frekuensi yang dihasilkan ditentukan oleh kapasitas kapasitor dan jumlah dari induktor dalam rangkaian. Besarnya kapasitas kapasitor dinyatakan dalam satuan Farad (F). Untuk jumlah induktor dinyatakan dalam satuan Henry (H), sedangkan resistor dalam satuan Ohm (Ω).

Dalam perancangan passive crossover diperlukan kapasitas kapasitor dan jumlah induktor yang tepat. Rangkaian kapasitor dan induktor digunakan untuk menghasilkan cutting frekuensi tertentu. Oleh sebab itu ada baiknya jika dilakukan studi tentang pengaruh kapasitas kapasitor dan jumlah induktor terhadap cutting frekuensi yang dihasilkan.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan passive crossover antara lain yaitu filter, slope, dan orde. Berikut ini akan dijelaskan tentang tiga hal berikut.

(Gene)^[1] Jenis filter dapat dijelaskan dalam beberapa cara berbeda. Low-pass dan high pass filter di jaringan crossover dua arah sering diidentifikasi oleh "Q" mereka. Q adalah pembesaran resonansi filter dan itu disebut oleh bentuk "kecuraman" dari respon amplitudo. Filter dengan Q yang tinggi cenderung membebentuk "cincin" dan menunjukkan respon yang buruk. (Vance)^[6] Berdasarkan loadspeakercookbook, crossover

mempunyai tiga jenis *filter*/penyaring. Tiga jenis *filter* tersebut juga dipengaruhi oleh pembesaran resonansi atau yang biasa disebut Q. Ada empat macam jenis pembesaran resonansi *filter* (Q), antara lain adalah Chebychev, Bessel, Butterworth, dan Linkwitz-Riley.

Ada 3 macam jenis filter pada crossover yaitu

- a. *Low pass filter* (LPF) artinya *filter* yang meloloskan frekuensi dibawah frekuensi yang telah ditentukan, dan menapis frekuensi dibawahnya. Contohnya: 3khz *low pass filter*, ini berarti bahwa frekuensi di bawah 3khz akan diloloskan ke *speaker*. Untuk membuat rangkaian crossover *Low Pass Filter* diperlukan suatu komponen utama yaitu induktor. Didalam rangkaian ini induktor mempunyai fungsi sebagai *filter* untuk meloloskan frekuensi rendah/frekuensi bawah. Besarnya nilai induktor yang digunakan akan berpengaruh terhadap *cutting* frekuensi yang dihasilkan. Menurut referensi dari *loadspeakercookbook*, terdapat rumus untuk menghitung nilai induktor yang dibutuhkan sebagai berikut.

$$L_2 = \frac{0,2251.Rh}{F} \quad C_2 = \frac{0,1125}{Rh.F}$$

- b. *High pass filter* (HPF) artinya frekuensi diatas frekuensi yang telah ditentukan akan diloloskan, sedangkan frekuensi di bawahnya akan difilter/ditapis. Contohnya: 3khz *high pass filter*, artinya frekuensi diatas 3khz akan diloloskan ke *speaker*. Untuk membuat rangkaian crossover *High Pass Filter* diperlukan suatu komponen utama yaitu kapasitor. Didalam rangkaian ini kapasitor mempunyai fungsi sebagai *filter* untuk meloloskan frekuensi tinggi/frekuensi atas. Jenis kapasitor yang digunakan dalam rangkaian *High Pass crossover* adalah jenis kapasitor non-polar. Besarnya nilai kapasitor yang digunakan akan berpengaruh terhadap *cutting* frekuensi yang dihasilkan. Menurut referensi dari *loadspeakercookbook*, terdapat rumus untuk menghitung nilai kapasitor yang dibutuhkan sebagai berikut.

$$C_1 = \frac{0,1125}{Rh.F} \quad L_1 = \frac{0,2251.Rh}{F}$$

- c. *Bandpass filter* artinya *filter* yang hanya akan meloloskan frekuensi pada rentang tertentu. Contoh : 300Hz-3khz *bandpass filter*, berarti frekuensi yang akan diloloskan ke *speaker* antara 300hz sampai dengan 3khz.

Setelah menentukan jenis *filter* maka dilanjutkan dengan penentuan *slope* pada *passive crossover*. (Lenard)^[3] *Slope* dinyatakan dalam *dB per oktaf*. Angka yang umum untuk *slope* yaitu 6, 12, dan 18 *dB per oktaf*. Semakin tinggi nilainya maka akan semakin cepat penipisan frekuensinya. Oktaf secara sederhana merupakan perkalian atau pembagian dengan (2ⁿ), contohnya:

- a. 1 oktaf diatas 1kHz = 1kHz x 2¹ = 2kHz

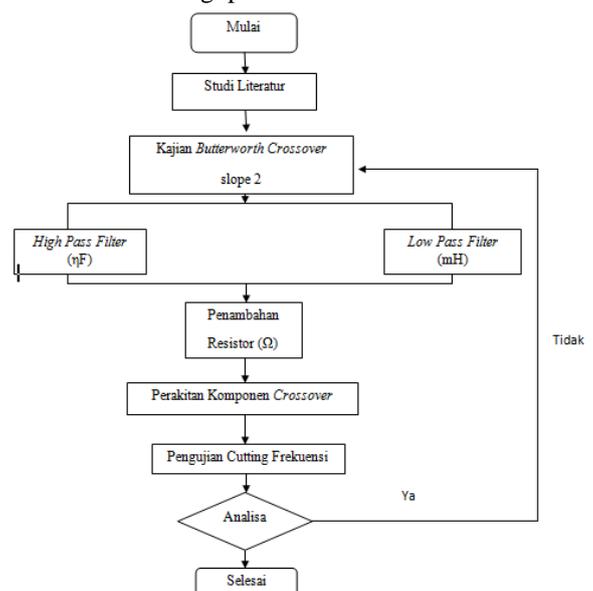
- b. 2 oktaf diatas 1kHz = 1kHz x 2² = 4kHz dan seterusnya
- c. 1 oktaf dibawah 1kHz = 1kHz / 2¹ = 500Hz
- d. 2 oktaf dibawah 1kHz = 1kHz / 2² = 250Hz dan seterusnya

Jadi misalnya ada *crossover high pass filter* dengan titik *crossover* 4kHz, dan kemiringan/*slope* 12*dB per oktaf*, artinya 1 oktaf dibawah 4kHz (2kHz) akan mengalami penurunan sebesar 12*dB*. 2oktaf dibawahnya (1kHz) akan diturunkan 24*dB*, dan seterusnya. Begitu juga dengan sebaliknya *crossover low pass filter* 300Hz 18*dB per oktaf*, berarti 1 oktaf diatas 300Hz (600Hz) akan mengalami penurunan 18*dB*, 2 oktaf diatasnya (1,2kHz) mengalami penurunan 36*dB*, dan seterusnya. Dari penjelasan tersebut dapat terlihat bahwa frekuensi diatas atau dibawah titik potong tetap akan lolos akan tetapi sudah mengalami penurunan

Order/Orde merupakan jumlah dari induktor dan kapasitor yang digunakan pada sebuah *crossover* pasif menentukan "orde" nya. Untuk *low pass* dan *high pass filter 1st order* hanya menggunakan satu buah komponen induktor atau kapasitor. *2nd order* menggunakan 2 komponen induktor dan kapasitor. Dan *3rd order* menggunakan 3 komponen, untuk *Band pass* komponen 2 kalinya. Orde dari *crossover* juga berhubungan dengan tingkat kemiringan/*slope*. *Crossover* orde 1 mempunyai tingkat kemiringan 6*dB per oktaf*, orde 2 tingkat kemiringannya 12*dB per oktaf*, dan orde 3 slopenya 18*dB per oktaf*.

2. Metode Penelitian

Metodologi penelitian ini menjelaskan proses kajian tentang *crossover* sampai perancangan dan pembuatan *passive crossover* untuk speaker berjenis *2-way system*. Selain itu juga menjelaskan tentang proses pengujian *passive crossover* yang dibuat dengan menggunakan alat ukur RTA, sehingga pembuatan makalah ini dapat terpenuhi. Pada gambar 2.1 ditunjukkan *flowchart* metodologi penelitian.



Gambar 2.1. *Flowchart* Metodologi Penelitian

Dalam rangkaian HPF perlu ditentukan nilai kapasitor dan induktor yang akan digunakan. Pada tabel 2.1 merupakan penentuan nilai kapasitor dan induktor berdasarkan persamaan *butterworth crossover*.

Tabel 2.1. Tabel Perhitungan C, L berdasarkan *cutting* frekuensi

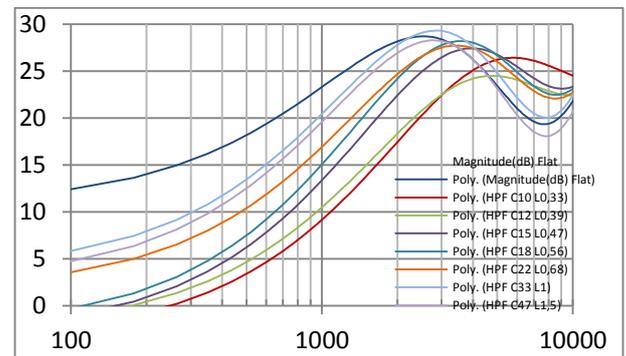
No	Cut Frekuensi (Hz)	C (μ F)	L (mH)
1	2700	10	0,33
2	2300	12	0,39
3	1900	15	0,47
4	1600	18	0,56
5	1300	22	0,68
6	700	33	1
7	600	47	1,5

Pada tabel 2.2 merupakan hasil perhitungan nilai induktor dan kapasitor yang akan digunakan pada rangkaian LPF. Perhitungan tersebut memakai persamaan *butterworth crossover* berdasarkan *cutting* frekuensi yang ditentukan.

Tabel 2.2. Tabel Perhitungan L, C berdasarkan *cutting* frekuensi

No	Cut Frekuensi (Hz)	L (mH)	C (μ F)
1	8500	0,1	3,3
2	6000	0,15	4,7
3	4000	0,22	6,8
4	2700	0,33	10
5	1900	0,47	15
6	1600	0,56	18
7	1200	0,68	22
8	600	1,5	47

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 3.1 Grafik *Cutting* Frekuensi High Pass Filter (HPF)

High Pass filter berfungsi untuk meloloskan frekuensi yang berada diatas frekuensi *cutt-off* nya. Pada Gambar 3.1 ditunjukkan grafik hasil *cutting* frekuensi *high pass filter* dengan jenis orde dua, dimana terdiri dari dua komponen yaitu kapasitor dan induktor. Grafik tersebut dibuat berdasarkan respon suara yang dihasilkan *speaker*, data respon suara diambil dari *software* ARTA. Grafik pada Gambar 3.1 tersebut menunjukkan hasil *cutting* frekuensi dari 7 macam nilai kapasitor dan induktor yang diuji pada rangkaian *passive crossover*. Dibawah ini adalah hasil pembacaan dari grafik pada Gambar 3.1 :

- *Magnitude* (dB) Flat

Garis ini menunjukkan respon suara dari *speaker* pada saat tidak menggunakan *passive crossover*. Saat tidak menggunakan *passive crossover* respon suara yang dihasilkan flat mulai dari frekuensi 200-10.000 Hz.

- HPF (C 10 μ F, L 0,33mH)

Garis ini menunjukkan respon suara dari speaker ketika dipasang *passive crossover* dengan komponen kapasitor senilai 10 μ F dan induktor senilai 0,33mH. Garis tersebut menunjukkan suatu titik *cutt point* pada frekuensi sekitar 3500 Hz. Dengan demikian, berarti hanya frekuensi diatas 3500 Hz akan diloloskan ke *speaker* dan frekuensi dibawah 3500 Hz akan mengalami penurunan dB sehingga tidak ikut lolos ke *speaker*.

- HPF (C 12 μ F, L 0,39mH)

Pada rangkaian ini digunakan kapasitor bernilai 12 μ F dan induktor bernilai 0,39mH. Grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan titik *cutt point* berada pada frekuensi 2500 Hz. Dapat dilihat pada frekuensi dibawah 2500 Hz terjadi penurunan dB, yang berarti dibawah frekuensi 2500 Hz tidak lolos ke speaker.

- HPF (C 15 μ F, L 0,47mH)

Ketika nilai kapasitor dirubah menjadi 15 μ F dan nilai induktor menjadi 0,47mH, titik *cutt point* juga ikut bergeser. Titik *cutt point* mengalami pergeseran hingga frekuensi 1900 Hz, dimana itu sesuai dengan desain. Hal itu berarti, frekuensi diatas 1900 Hz yang diloloskan ke speaker dan dibawah frekuensi 1900 Hz mengalami penurunan dB.

- HPF (C 18 μ F, L 0,56mH)

Pada rangkaian high pass filter ini dihasilkan titik cutt point pada frekuensi 1700 Hz. Hal ini berarti, titik cutt point hanya bergeser sedikit dari rangkaian high pass sebelumnya yang titik cutt pointnya pada frekuensi 1900 Hz.

- HPF (C 22 μ F, L 0,68mH)

Garis pada grafik menunjukkan titik cutt point pada frekuensi 1400 Hz. Pergeseran titik cutt point pada rangkaian high pass ini tidak terlalu signifikan juga dari rangkaian sebelumnya.

- HPF (C 33 μ F, L 1mH)

Pada rangkaian ini kapasitor yang digunakan diperbesar nilainya menjadi 33 μ F dan induktornya menjadi 1mH. Hasilnya titik cutt point bergeser cukup jauh, yaitu pada frekuensi 700 Hz. Namun pada rangkaian ini slope yang dihasilkan terlalu landai, sehingga suara menjadi lebih kotor.

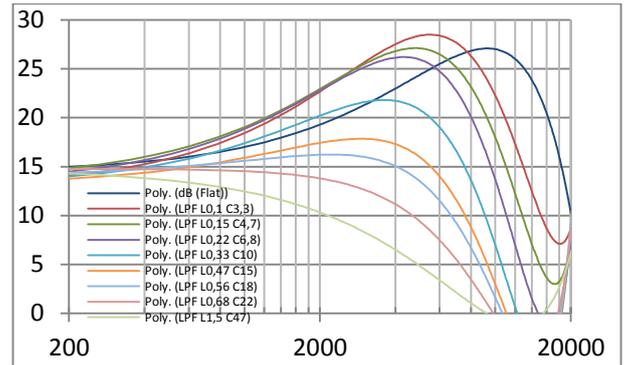
- HPF (C 47 μ F, L 1,5mH)

Titik cutt point pada rangkaian high pass ini berada pada frekuensi 600 Hz. Ini merupakan hasil cutt point terendah dari rangkaian-rangkaian yang telah digunakan sebelumnya. Suara yang dihasilkan juga lebih kasar, karena pada frekuensi ini merupakan rentang frekuensi suara vokal manusia.

Dapat dilihat pada grafik tersebut, bahwa semakin besar nilai kapasitor yang digunakan maka *cutting* frekuensi yang dihasilkan semakin rendah. Demikian sebaliknya, jika nilai kapasitor makin kecil maka *cutting* frekuensi yang dihasilkan makin tinggi. Untuk hasil *cutting* frekuensi dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1. Tabel Hasil *Cutting* Frekuensi HPF

No	C (μ F)	L (mH)	Cut Frekuensi (Hz)	
			Desain	Realisasi
1	10	0,33	2700	3500
2	12	0,39	2300	2500
3	15	0,47	1900	1900
4	18	0,56	1600	1700
5	22	0,68	1300	1400
6	33	1	700	700
7	47	1,5	600	600



Gambar 3.2. Grafik *Cutting* Frekuensi Low Pass Filter (LPF)

Low Pass filter berfungsi untuk meloloskan frekuensi yang berada dibawah frekuensi *cutt-off* nya. Grafik pada Gambar 3.2 menunjukkan hasil *cutting* frekuensi dari rangkaian Low Pass Filter orde dua. Data yang ada pada grafik pada Gambar 3.2 tersebut merupakan hasil pengukuran dari software ARTA. Dibawah ini adalah hasil pembacaan *cutting* frekuensi Low Pass dari grafik pada Gambar 3.2 :

- *Magnitude* (dB) Flat

Garis ini menunjukkan respon suara dari *speaker* pada saat tidak menggunakan rangkaian passive crossover. Respon suara yang dihasilkan flat mulai dari frekuensi 200-10.000 Hz.

- LPF (L 0,1mH, C 3,3 μ F)

Ketika rangkaian passive crossover dipasang komponen induktor senilai 0,1 mH dan kapasitor senilai 3,3 μ F. Titik *cutt point* yang dihasilkan berada pada frekuensi sekitar 9000 Hz. Hal ini berarti, frekuensi diatas 9000 Hz berhasil di filter sehingga tidak diloloskan ke *speaker*.

- LPF (L 0,15mH, C 4,7 μ F)

Rangkaian Low Pass ini menghasilkan titik cutt point pada angka 6000 Hz, yang berarti *cutt off* point yang dihasilkan ini sesuai dengan desain yang ditetapkan.

- LPF (L 0,22mH, C 6,8 μ F)

Cutt point yang dihasilkan pada rangkaian ini berada pada frekuensi 5800 Hz. Pergeseran *cutt point* pada rangkaian ini hanya sedikit sekali dari rangkain sebelumnya, padahal seharusnya sesuai desain dapat dihasilkan *cutt point* pada frekuensi 4000 Hz.

- LPF (L 0,33mH, C 10 μ F)

Garis pada grafik menunjukan titik cutt point pada frekuensi 3500 Hz. *Cutting* frekuensi yang dihasilkan cukup berbeda dari desain yaitu pada frekuensi 2700 Hz.

- LPF (L 0,47mH, C 15 μ F)

Garis pada grafik menunjukan titik cutt point berada pada frekuensi 2000 Hz, dimana pada desain ditetapkan pada 1900 Hz.

- LPF (L 0,56mH, C 18 μ F)

Ketika induktor diperbesar nilainya menjadi 0,56 mH dan kapasitor menjadi 18 μ F, maka titik cutt point juga ikut bergeser pada frekuensi 1600 Hz.

- LPF (L 0,68mH, C 22 μ F)

Cutt point pada rangakaian ini berada pada angka 1200 Hz, dimana hanya frekuensi 1200 Hz kebawah yang akan diloloskan ke *speaker*.

- LPF (L 1,5 mH, C 47 μ F)

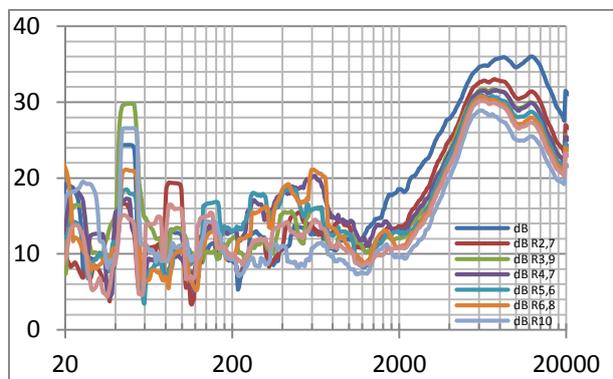
Rangkaian Low Pass ini menggunakan induktor dengan

nilai yang lebih besar lagi yaitu 1,5mH, begitu juga untuk kapasitor memiliki nilai 47 μ F. Titik cutt point yang dihasilkan bisa cukup rendah yaitu mencapai 600 Hz.

Dapat dilihat pada grafik yang ada pada Gambar 3.2 bahwa semakin besar nilai induktor yang digunakan maka *cutting* frekuensi yang dihasilkan semakin rendah. Untuk hasil *cutting* frekuensi dapat dilihat pada Tabel 3.2 :

Tabel 3.2. Tabel Hasil *Cutting* Frekuensi LPF

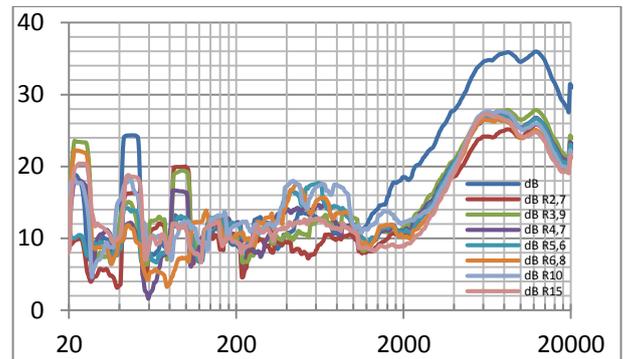
No	L (mH)	C (μ F)	Cut Frekuensi	
			Desain	Realisasi
1	0,1	3,3	8500	9000
2	0,15	4,7	6000	6000
3	0,22	6,8	4000	5800
4	0,33	10	2700	3500
5	0,47	15	1900	2000
6	0,56	18	1600	1600
7	0,68	22	1200	1200
8	1,5	47	600	600



Gambar 3.3. Grafik Resistor Seri HPF C4,7 μ F & L0,15mH

Pada rangkaian *passive crossover High Pass* dengan nilai komponen kapasitor 4,7 μ F dan induktor 0,15mH, ditambahkan resistor yang dirangkai secara seri seperti pada Gambar 3.3. Sebelum ditambahkan rangkaian resistor seri, titik cutt point terletak pada rentang 36 dB. Setelah ditambahkan resistor dengan nilai 2,7 Ω maka terjadi penurunan *gain* kurang lebih sebesar 4 dB. Saat resistor diperbesar menjadi 3,9 Ω dan 4,7 Ω maka penurunan *gain* yang dihasilkan sama yaitu mencapai 6 dB. Saat resistor diperbesar lagi menjadi 5,6 Ω dan 6,8 Ω , penurunan *gain* meningkat lagi sebesar 7 dB dari awalnya. Pada saat digunakan resistor dengan nilai 10 Ω didapat penurunan *gain* yang paling besar yaitu sekitar 9 dB. Namun saat resistor yang digunakan diperbesar lagi menjadi 15 Ω justru penurunan *gain* yang didapat hanya

sekitar 7dB. Hasil tersebut diambil dari grafik yang ada pada Gambar 4.5 dan ditunjukkan pada Tabel 3.3.

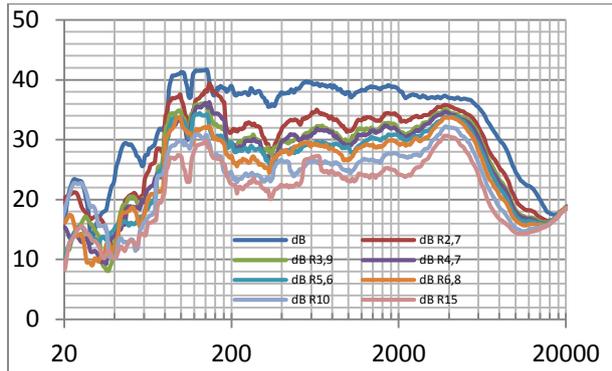


Gambar 3.4. Grafik Resistor L-pad HPF C4,7 μ F & L0,15mH

Pada rangkaian *passive crossover High Pass* dengan nilai komponen kapasitor 4,7 μ F dan induktor 0,15mH, ditambahkan resistor yang dirangkai secara L-pad seperti pada Gambar 3.4. Sebelum ditambahkan rangkaian resistor L-pad, titik *cutt point* terletak pada angka 36 dB. Penambahan resistor L-pad ini paling efektif saat menggunakan resistor 2,7 Ω , karena terjadi pengurangan *gain* hingga 10 dB. Penggunaan resistor dengan nilai 3,9 Ω , 4,7 Ω , 5,6 Ω , 6,8 Ω , 10 Ω , 15 Ω ketika dirangkai L-pad hanya mengurangi *gain* sebesar 7-8 dB. Hasil tersebut diambil dari grafik yang ada pada Gambar 4.6 dan ditunjukkan pada Tabel 3.3.

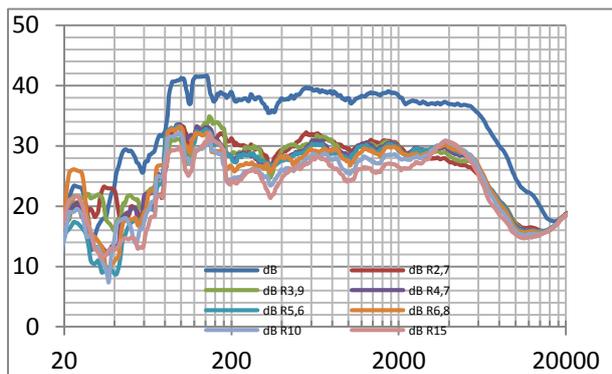
Tabel 3.3. Hasil Pengujian Penambahan Resistor Pada Rangkaian *High Pass*

HPF C 4,7 μ F, L 0,15mH				
No	R1 (Ω)	R2 (Ω)	Pengurangan Gain (dB)	
			Seri	L-Pad
1	2,7	2,7	4	10
2	3,9	3,9	6	7
3	4,7	4,7	6	8
4	5,6	5,6	7	8
5	6,8	6,8	7	8
6	10	10	9	7
7	15	15	7	7



Gambar 3.5 Grafik Resistor Seri LPF L 0,22mH, C 6,8μF

Pada rangkaian *passive crossover Low Pass* dengan nilai komponen induktor 0,22mH dan kapasitor 6,8μF, ditambahkan resistor yang dirangkai secara seri. Titik *cutt point* pada grafik rangkain low pass ini terletak pada angka 37 dB. Pertama dilakukan penambahan resistor dengan nilai 2,7Ω maka terjadi penurunan *gain* sebesar 1 dB. Setelah itu resistor diperbesar menjadi 3,9Ω, kemudian 4,7Ω maka penurunan *gain* yang dihasilkan sama sekitar 2 dB. Saat resistor diperbesar lagi menjadi 5,6Ω, kemudian 6,8Ω, penurunan *gain* menjadi sebesar 3 dB dari awalnya. Pada saat digunakan resistor dengan nilai 10Ω didapat penurunan *gain* sekitar 5 dB. Penurunan *gain* paling besar saat menggunakan resistor 15Ω yaitu sebesar 6 dB. Selain itu, penambahan resistor ini menyebabkan respon suara yang dihasilkan pada frekuensi 2.000-4.000 Hz menjadi tidak stabil. Hasil tersebut dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 dan Tabel 3.4.



Gambar 3.6 Grafik Resistor L-pad LPF L 0,22mH, C 6,8μF

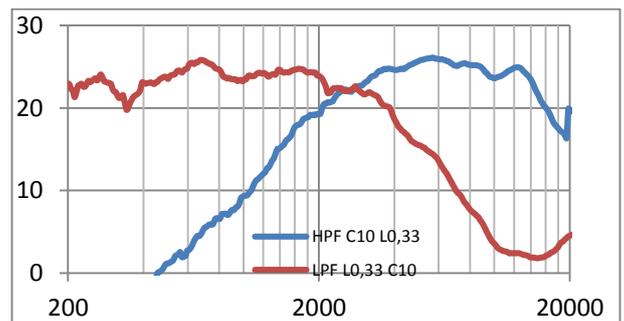
Penambahan resistor yang dirangkai secara L-pad juga dilakukan pada rangkaian *passive crossover Low Pass* dengan nilai komponen induktor 0,22mH dan kapasitor 6,8μF. Sebelum ditambahkan resistor yang dirangkai L-pad, titik *cutt point* terletak pada angka 37 dB. Penambahan resistor yang dirangkai L-pad ini menghasilkan penurunan gain hingga 10 dB saat menggunakan resistor 2,7Ω. Penggunaan resistor dengan nilai 3,9Ω, 4,7Ω, 5,6Ω, 6,8Ω, 10Ω, 15Ω ketika dirangkai L-pad hanya mengurangi *gain* sebesar 7-8 dB. Hasil

tersebut dapat dilihat pada grafik yang ada pada Gambar 3.6 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Hasil Pengujian Penambahan Resistor Pada Rangkaian *Low Pass*

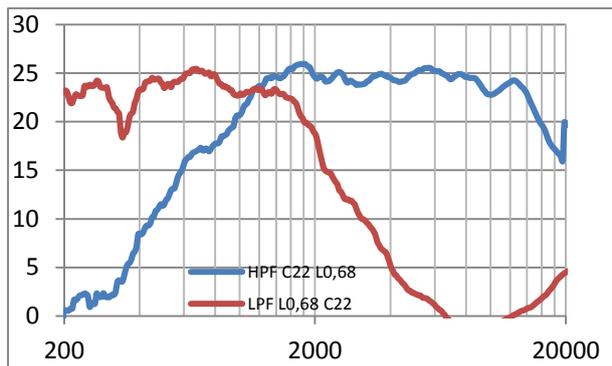
LPF L 0,22mH, C 6,8μF				
No	R1 (Ω)	R2 (Ω)	Pengurangan Gain (dB)	
			Seri	L-pad
1	2,7	2,7	1	10
2	3,9	3,9	2	8
3	4,7	4,7	2	7
4	5,6	5,6	3	7
5	6,8	6,8	3	7
6	10	10	5	7
7	15	15	6	7

Setelah mengetahui hasil dari masing-masing rangkaian *high pass filter* (HPF) dan *low pass filter* (LPF), maka dapat dilakukan penggabungan dari kedua jenis *filter* tersebut. Gabungan dari rangkaian *high pass filter* dan *low pass filter* akan menjadi satu kesatuan dalam *passive crossover* yang dapat digunakan untuk *speaker* berjenis 2 way system. Rangkaian *high pass crossover* berperan sebagai *filter* untuk *tweeter*, sedangkan rangkaian *low pass crossover* sebagai *filter* untuk *midbass*. Berikut ini merupakan beberapa konfigurasi rangkaian *high pass* dan *low pass* yang cocok untuk *passive crossover*.



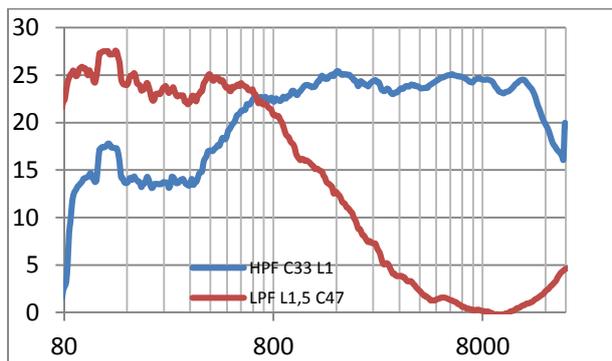
Gambar 3.7. Grafik rangkaian HPF (C 10μF, L 0,33mH) & LPF (L 0,33mH, C 10 μF)

Pada Gambar 3.7 merupakan gabungan dari rangkaian *high pass* dan *low pass* yang mempunyai nilai *cutt point* pada frekuensi sekitar 3000 Hz. Hal ini berarti *tweeter* akan menghasilkan suara di rentang frekuensi 3000 Hz keatas, sementara di frekuensi 3000 Hz kebawah akan dihasilkan oleh *midbass*. Pada nilai *cutt point* tersebut biasanya suara yang dihasilkan terkesan natural.



Gambar 3.8. Grafik rangkaian HPF (C 22 μ F, L 0,68mH) & LPF (L 0,68mH, C 22 μ F)

Pada grafik yang ada pada gambar 3.8 menunjukkan konfigurasi rangkaian HPF (C 22 μ F, L 0,68mH) & LPF (L 0,68mH, C 22 μ F). Dari konfigurasi *high pass* dan *low pass* tersebut menghasilkan titik *cutt point* pada sekitar frekuensi 1100Hz. Untuk bisa menghasilkan suara mulai dari frekuensi 1100 Hz keatas biasanya dibutuhkan *tweeter* dengan ukuran yang besar. Karena pada frekuensi ini suara vocal manusia yang bernada tinggi akan masuk pada *tweeter*.



Gambar 3.9. Grafik rangkaian HPF (C 33 μ F, L 1mH) & LPF (L 1,5mH, C 47 μ F)

Konfigurasi rangkaian HPF (C 33 μ F, L 1mH) & LPF (L 1,5mH, C 47 μ F) menghasilkan titik *cutt point* pada frekuensi sekitar 600 Hz, dapat dilihat pada grafik gambar 3.9. Konfigurasi rangkaian *high pass* dan *low pass* ini dapat digunakan untuk sistem 2-way yang menggunakan *speaker full range* dan *midbass*. *Speaker full range* digunakan karena dapat menghasilkan suara mulai frekuensi sekitar 500 Hz keatas, yang berarti suara vocal manusia akan terdengar pada frekuensi ini. Sementara *tweeter* tidak dapat digunakan dalam konfigurasi *passive crossover* ini, karena rata-rata *tweeter* hanya mampu menghasilkan suara mulai 1KHz keatas.

4. Kesimpulan

- Pada rangkaian *High Pass* dan *Low Pass Crossover*, terdapat perbedaan hasil *cutting* frekuensi antara realita dengan rumus *butterworth crossover*. Pada *high pass crossover* perbedaan *cutting* frekuensi terjadi pada rentang frekuensi antara 1,4-3,5 KHz, namun pada *high pass crossover* perbedaan *cutting* frekuensi tidak terlalu signifikan. Sedangkan pada *low pass crossover* perbedaan *cutting* frekuensi cukup signifikan pada rentang 2,7-8,5 KHz. Hal itu disebabkan karena jenis komponen yang digunakan mempunyai nilai toleransi yang ditulis pada komponen tersebut.
- Dengan penambahan resistor yang dirangkai L-pad dapat menurunkan *Gain* yang dihasilkan *speaker* hingga 10 dB, namun nilai resistor yang digunakan tidak boleh melebihi hambatan yang dimiliki oleh *speaker*. Pada penambahan rangkaian resistor seri, semakin besar nilai resistor yang digunakan maka penurunan dB yang dihasilkan juga semakin besar. Penambahan resistor yang dirangkai seri menghasilkan penurunan dB maksimal hingga 9 dB.
- Dari rangkaian *passive crossover high pass* dan juga *low pass* dapat digabung menjadi satu kesatuan *passive crossover* untuk sistem *speaker 2-way*. Konfigurasi rangkaian *high pass* dan *low pass* yang sesuai menghasilkan titik *cutt point*, antara lain pada frekuensi 3KHz, 2,3KHz, 1,7KHz, 1,1KHz, 500Hz.

5. Daftar Pustaka

1. Gene. 2004. *Filter & Crossover Types for Loudspeakers*.
<http://www.audioholics.com/loudspeaker-design/filter-crossover-types-for-loudspeakers>
2. Kardan. 2016. *Memilih Crossover Untuk Sound System*.
<http://digiastore.com/berita/detail/memilih-crossover-untuk-sound-system-27731.html>
3. Lenard. 2008. *Crossover*.
http://education.lenardaudio.com/en/06_x-over.html
4. Prasetyo. 2016. *Tiap Hari Ribuan Pemilik Mobil Baru Lakukan Modifikasi Car Audio*.
<http://www.autos.id/2016/04/17/tiap-hari-ribuan-pemilik-mobil-baru-lakukan-modifikasi-car-audio/>
5. Wikikomponen. 2016. *Fungsi Rangkaian Pasif Dalam Speaker*.
<http://www.wikikomponen.com/fungsi-rangkaian-crossover-pasif-dalam-speaker/>
6. Vance. 2006. *Loudspeakercookbook*. Peterborough : Audio Amateur Press