

RANCANG BANGUN *DIGITAL BANDPASS FILTER* SEBAGAI APLIKASI *SOUND ACTIVATION*

Wahyu Adi Priyono

Abstract: *The Robot system Of Fire is an intelligent robot, where robot is given artificial intelligence to carry out its tasks, namely robot has to find a fire in a mysterious labyrinth, then perceives it. Sound signal that has 3,8 kHz frequency is needed to enable robot. Sound activation in robot has function to recognize the 3,8 kHz sound signal. Digital bandpass filter is one of digital filter which has function to pass signal that has frequency between lower cutoff frequency and upper cutoff frequency. Analog to digital converter process is used to convert analog signal to digital signal. This process consists of sampling, quantization, and coding. The purpose of this research is applying digital bandpass filter on sound activation system in order to detect audio source which is 3,8 kHz sound signal.*

Keywords: *Robot frequency, analog to digital converter, lowpass filter, digital bandpass filter.*

Abstrak: Robot Pemadam Api merupakan sistem robot cerdas, dimana robot diberikan kecerdasan buatan untuk melaksanakan tugasnya. Robot diaktifkan dengan memberikan sinyal suara yang memiliki frekuensi 3,8 kHz. Sistem sound activation pada robot berfungsi untuk mendeteksi sumber audio berupa suara dengan frekuensi 3,8 kHz. Digital bandpass filter adalah salah satu jenis filter digital yang berfungsi untuk meloloskan sinyal yang memiliki range frekuensi diantara frekuensi batas bawah dan frekuensi batas atas. Untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dilakukan proses analog to digital converter (ADC) yang terdiri dari sampling, kuantisasi, dan coding. Tujuan akhir penelitian ini adalah aplikasi digital bandpass filter pada sistem sound activation sehingga mampu mendeteksi sumber audio berupa suara dengan frekuensi 3,8 kHz dengan baik.

Kata Kunci: Robot , frekuensi, analog to digital converter, lowpass filter, digital bandpass filter.

Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) adalah salah satu kategori yang diperlombakan dalam Kontes Robot Indonesia (KRI). Sistem robot KRPAI merupakan sistem robot cerdas, dimana robot diberikan kecerdasan buatan untuk melaksanakan tugasnya, yaitu menemukan api didalam sebuah labirin, kemudian memadamkannya. Untuk mengaktifkan robot ini dibutuhkan sinyal suara yang memiliki frekuensi sebesar 3,8 kHz yang kemudian disebut suara aktivasi. Nilai frekuensi suara ini sudah ditentukan oleh panitia dan tercantum pada *rule* perlombaan.

Sound activation adalah sistem pengolahan sinyal pada robot KRPAI yang berfungsi untuk mendeteksi suara aktivasi. Dalam perlombaan yang sesungguhnya, terdapat sumber audio lain disekitar robot yang dapat mengganggu sistem, antara lain musik bambangan cakil, suara tepuk tangan, dan suara orang berbicara. Oleh karena itu, sistem ini membutuhkan metode pengolahan sinyal yang tahan terhadap noise. Untuk itu digunakan pengolahan sinyal secara digital karena kelebihanannya yang tahan terhadap noise dibandingkan pengolahan sinyal secara analog (Smith, 1997).

Untuk melakukan pengolahan sinyal secara digital dengan masukan berupa sinyal analog, dibutuhkan perangkat yang mampu untuk melakukan proses *Analog to Digital Converter* (ADC). Proses ini terdiri dari beberapa tahap yaitu, *sampling*, kuantisasi dan *coding*. Proses ADC berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital (Tanudjaja, 2007).

Filter digital adalah salah satu jenis pengolahan sinyal digital. Berdasarkan fungsinya untuk meloloskan frekuensi sinyal, filter digital terdiri dari *lowpass*, *highpass*, *bandpass*,

dan *bandstop*. *Digital bandpass filter* adalah salah satu jenis filter digital yang berfungsi untuk meloloskan sinyal yang memiliki frekuensi pada *range* diantara frekuensi batas bawah dan frekuensi batas atas (Antoniou, 1993). Penggunaan *digital bandpass filter* bertujuan untuk meloloskan sinyal dengan frekuensi 3,8 kHz, dan meredam sinyal dengan frekuensi lebih kecil dan lebih besar dari 3,8 kHz.

Dengan merancang *digital bandpass filter* untuk diaplikasikan pada *sound activation* diharapkan robot mampu mendeteksi suara aktivasi dengan baik, walau terdapat sumber audio lainnya disekitar robot.

Mikrofon

Mikrofon berfungsi untuk mengubah sinyal suara menjadi sinyal elektrik. Mikrofon elektret (*electret microphone*) adalah suatu jenis khusus dari mikrofon kapasitor (*condenser microphone*) yang sudah memiliki sumber muatan sendiri yang terpasang didalamnya, sehingga tidak memerlukan pencatu daya luar (Roddy, et al, 1984).

Amplitudo sinyal keluaran mikrofon relatif kecil dan bernilai dalam orde milivolt (mV), agar sinyal keluaran mikrofon dapat diproses oleh mikrokontroler, sinyal dikuatkan terlebih dahulu dengan menggunakan penguat op-amp.

Analog to Digital Converter (ADC)

ADC adalah suatu proses pengubahan suatu data kontinyu terhadap waktu (analog) menjadi suatu data diskrit terhadap waktu (digital). ADC terbagi menjadi 3 proses antara lain, *sampling*, kuantisasi, dan *coding* (Tanudjaja, 2007).

Proses Sampling

Proses *sampling* adalah suatu proses mengubah sinyal analog menjadi sinyal diskrit yang mewakili informasi dari sinyal analog. Untuk mendapatkan sinyal diskrit yang mampu mewakili sifat sinyal aslinya, proses *sampling* harus memenuhi syarat *Nyquist* yang ditunjukkan dalam persamaan 1 (Smith, 1997).

$$f_s \geq 2f_{in} \quad (1)$$

dengan:

f_s = frekuensi sinyal *sampling* (Hz)

f_{in} = frekuensi sinyal informasi (Hz)

Proses Kuantisasi

Proses kuantisasi adalah proses pemetaan dari sinyal diskrit menjadi sinyal dengan level tertentu berdasarkan bit ADC yang digunakan. Hasil proses kuantisasi ditunjukkan dalam persamaan 2.

$$Kuantisasi = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times (2^n - 1) \quad (2)$$

dengan:

v_{in} = tegangan masukan proses kuantisasi (volt)

v_{ref} = tegangan referensi proses kuantisasi (volt)

n = besar bit kuantisasi

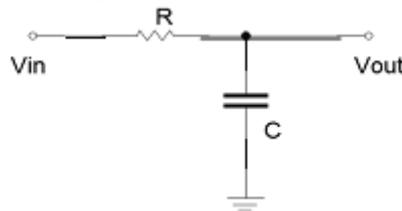
Semakin besar bit kuantisasi yang digunakan, proses kuantisasi akan semakin teliti memproses data analog menjadi data digital.

Proses Coding

Proses *coding* merupakan proses pengubahan suatu besaran tertentu ke dalam bentuk lain yang dikenali berdasarkan ketentuan yang teratur. Untuk mengubah sinyal terkuantisasi menjadi sinyal digital diberikan batas kuantisasi. Apabila suatu nilai memenuhi batas tersebut, akan direpresentasikan menjadi nilai biner 1 (logika tinggi) sedangkan untuk keadaan sebaliknya direpresentasikan menjadi nilai biner 0 (logika rendah).

Filter Analog

Filter adalah suatu rangkaian yang berfungsi untuk meloloskan dan meredam frekuensi dari suatu sinyal. Berdasarkan sifat ini, filter dibagi menjadi 4, antara lain *lowpass filter* (LPF), *highpass filter* (HPF), *bandpass filter* (BPF), *bandreject filter* (BRF). Secara umum, filter analog yang banyak digunakan sebagai dasar adalah filter *butterworth*, filter *chebyshev*, dan filter *elliptic*. Filter analog *butterworth* memiliki kelebihan yaitu respon yang dihasilkan tidak memiliki *ripple* baik dalam daerah *passband* maupun pada daerah *stopband*.



Gambar 1. Rangkaian Lowpass Filter Orde 1

Dalam gambar 1 ditunjukkan rangkaian LPF analog orde 1. Fungsi alih dari rangkaian analog tersebut dinyatakan dalam persamaan 3.

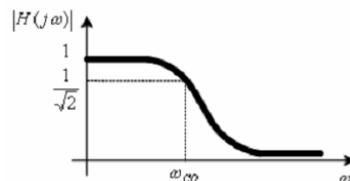
$$H(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega RC} \quad (3)$$

Respon frekuensi *lowpass filter* dapat ditentukan dengan persamaan 4.

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \quad (4)$$

Frekuensi *cutoff lowpass filter* adalah nilai frekuensi ketika nilai $\omega = \frac{1}{RC}$ yang menyebabkan nilai $|H(j\omega)|$ turun menjadi $\frac{1}{\sqrt{2}}$ atau 0,707. Nilai frekuensi *cutoff lowpass filter* (f_c) ditentukan dengan persamaan (5)

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5)$$



Gambar 2. Respon Frekuensi Lowpass Filter

Suatu filter LPF dengan $\omega_c = 1$ rad/s dikenal sebagai filter ternormalisasi (*prototype*). fungsi alih filter LPF, HPF, BPF, atau BRF dengan frekuensi $\omega_c > 1$ rad/s dapat ditentukan dengan melalui suatu proses transformasi frekuensi analog ke analog seperti terlihat pada tabel 1 (Tanudjaja, 2007).

Tabel 1. Transformasi Frekuensi dari LPF *Prototype* ke Filter Lainnya

No	Tipe Konversi	Transformasi Frekuensi
1.	LPF ke LPF	$s \rightarrow \frac{s}{\omega_c}$
2.	LPF ke HPF	$s \rightarrow \frac{\omega_c}{s}$
3.	LPF ke BPF	$s \rightarrow \frac{s^2 + \omega_U \omega_L}{(\omega_U - \omega_L)s}$
4.	LPF ke BRF	$s \rightarrow \frac{(\omega_U - \omega_L)s}{s^2 + \omega_U \omega_L}$

Besarnya orde filter n dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6).

$$n = \frac{\log\left(\frac{10^{-k_1/10-1}}{10^{-k_2/10-1}}\right)}{2\log\frac{\Omega_1}{\Omega_2}} \quad (6)$$

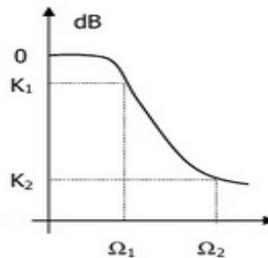
dengan :

Ω_1 = Frekuensi *Passband*

Ω_2 = Frekuensi *Stopband*

K_1 = Besar Penguatan *Passband*

K_2 = Besar Penguatan *Stopband*



Gambar 3. Spesifikasi *Lowpass Filter Butterworth*

Jika orde filter sudah diketahui, fungsi alih filter analog $H(s)$ dapat ditentukan dengan menggunakan polinomial *butterworth*. Polinomial *butterworth* dapat dilihat secara lengkap pada tabel 2.

Tabel 2. Polinomial *Butterworth*

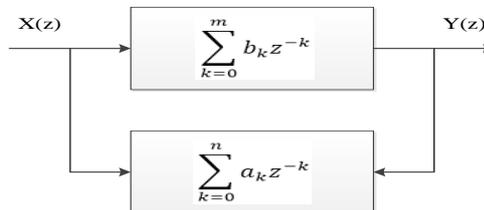
N	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
1	1				
2	1	1,41s	s ²		
3	1	2s	2s ²	s ³	
4	1	2,61s	3,41s ²	2,61s ³	s ⁴

Filter Digital

Filter digital dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan tanggapannya, yaitu *Infinite Impulse Response* (IIR) dan *Finite Impulse Response* (FIR). *Infinite Impulse Response* disebut response impulsnya tak terbatas (*infinite*) karena adanya *feedback* didalam filter. Kelebihan dari filter IIR adalah membutuhkan koefisien yang lebih sedikit untuk respon frekuensi yang curam sehingga dapat mengurangi jumlah waktu perhitungan.

Untuk merancang filter digital IIR diperlukan fungsi alih filter analog $H(s)$. dari fungsi alih analog ini akan diturunkan fungsi alih filter digital $H(z)$. Fungsi alih filter IIR dapat ditentukan dengan persamaan

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^N a_k z^{-k}} \quad (7)$$

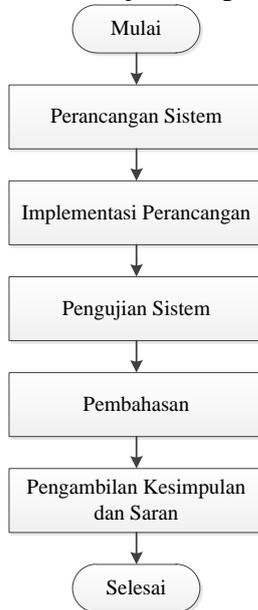


Gambar 4. Diagram Blok Filter IIR

Prosedur untuk desain filter digital terdiri dari empat langkah yaitu perubahan spesifikasi filter analog menjadi spesifikasi filter digital, *prewarping* spesifikasi filter digital, merancang filter analog untuk mendapatkan fungsi alih filter analog $H(s)$, dan menerapkan transformasi bilinear untuk memperoleh fungsi alih filter digital $H(z)$.

METODE

Metode kajian yang digunakan dalam penelitian ini bersifat aplikatif mengenai bagaimana rancang bangun *digital bandpass filter* untuk diaplikasikan pada sistem *sound activation*. Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada gambar 5.



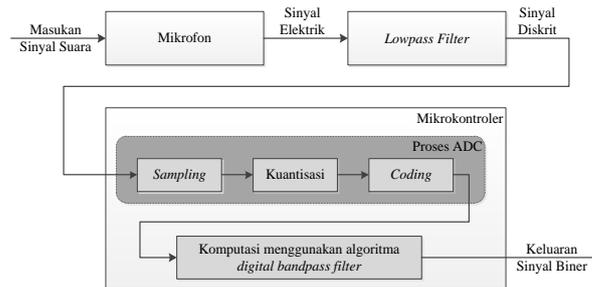
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

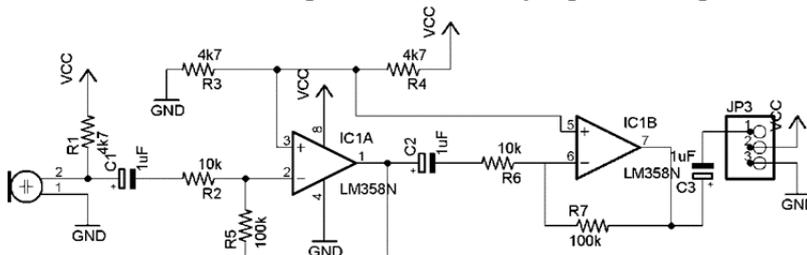
Pembahasan yang dikaji yaitu mengenai perancangan sistem, implementasi perancangan, dan pengujian sistem. Sistem yang dibuat dalam penelitian ini adalah sistem *sound activation* dengan mengaplikasikan desain *digital bandpass filter* yang akan diterapkan pada robot KRPAI

A. Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan perancangan alat secara umum yang diperlukan dalam sistem *sound activation*. Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam gambar 6.



Gambar 6. Diagram Blok Sistem yang Dirancang

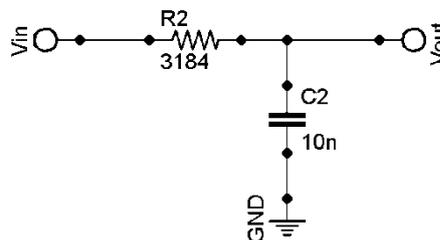


Gambar 7. Rangkaian Elektronik Mikrofon**1. Perancangan Mikrofon**

Mikrofon yang digunakan adalah *electret condenser microphone* dan dihubungkan ke masukan sistem. Dalam rangkaian ini telah ditambahkan rangkaian penguat, yang bertujuan untuk menguatkan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *mikrofon*. Rangkaian penguat yang digunakan adalah rangkaian penguat *non-inverting* dengan nilai penguatan sebesar 121 kali.

2. Perancangan Lowpass Filter

Lowpass filter yang dirancang adalah sebuah *lowpass filter* yang dapat melewatkan frekuensi dibawah 5 kHz. Hal ini bertujuan agar sinyal tidak mengganggu proses *sampling*, karena frekuensi *sampling* yang digunakan adalah sebesar 10 kHz. Untuk membuat *lowpass filter* dengan frekuensi *cutoff* (f_c) sebesar 5 kHz, nilai $R = 3184,71 \Omega$ dan $C = 10 \text{ nF}$.

**Gambar 7.** Rangkaian Elektronik *Lowpass Filter***3. Perancangan Proses Sampling**

Untuk mendapatkan hasil *sampling* yang baik dengan frekuensi sinyal informasi maksimal 5 kHz, maka frekuensi sinyal *sampling* harus memenuhi :

$$f_s \geq 2 \times 5 \text{ kHz}$$

$$f_s \geq 10 \text{ kHz}$$

4. Perancangan Proses Kuantisasi

Bit kuantisasi yang digunakan dalam sistem adalah sebesar 8 bit, sehingga hasil kuantisasi akan memiliki nilai 0 hingga 255.

5. Perancangan Proses Coding

Batas kuantisasi ditentukan berdasarkan hasil kuantisasi sinyal suara dengan frekuensi 3,8 kHz, yaitu sebesar 31. Jika hasil kuantisasi melebihi nilai batas kuantisasi maka jumlah pulsa akan bertambah. Jumlah pulsa dihitung setiap periode 1 detik.

6. Perancangan Digital Bandpass Filter

Dalam proses ini dilakukan proses komputasi sinyal diskrit menggunakan algoritma *digital bandpass filter*. Hal yang pertama dilakukan adalah merancang desain *digital bandpass filter* dengan spesifikasi filter yaitu :

- frekuensi *passband* bawah (f_l) 3,7kHz,
- frekuensi *passband* atas (f_u) 3,9kHz,
- frekuensi *stopband* bawah (f_1) 3,6 kHz,
- frekuensi *stopband* atas (f_2) 4 kHz,
- passband ripple* (K_1) 3 dB,
- stopband attenuation* (K_2) 20 dB.

Untuk mendapatkan fungsi alih filter digital, dilakukan empat langkah, antara lain pengubahan spesifikasi filter analog menjadi spesifikasi filter digital, *prewarping* spesifikasi filter digital, merancang filter analog untuk mendapatkan fungsi alih filter analog $H(s)$, dan menerapkan transformasi bilinear untuk memperoleh fungsi alih filter digital $H(z)$.

$$H_{BPF}(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{0,0041 - 0,0083z^{-2} + 0,0041z^{-4}}{1 + 2,7818z^{-1} + 3,7473z^{-2} + 2,5267z^{-3} + 0,8253z^{-4}}$$

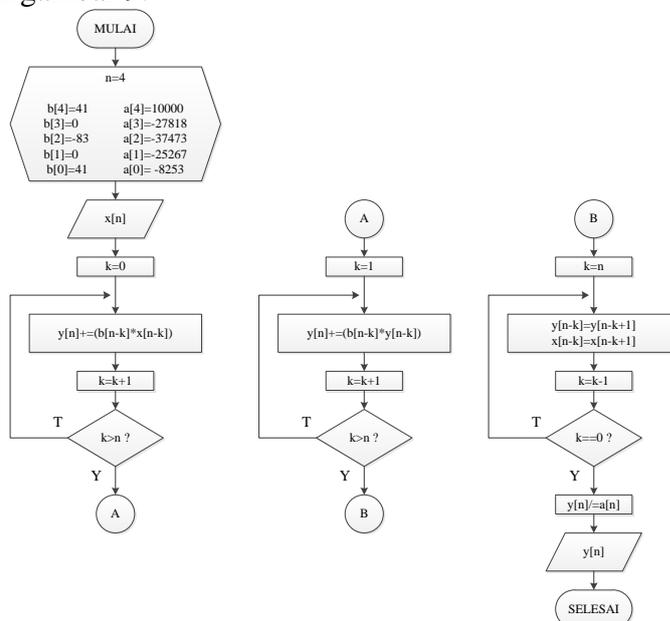
$$Y(z) = 0,0041X(z) - 0,0083z^{-2}X(z) + 0,0041z^{-4}X(z) - 2,7818z^{-1}Y(z) - 3,7473z^{-2}Y(z) - 2,5267z^{-3}Y(z) - 0,8253z^{-4}Y(z)$$

Dilakukan invers transformasi Z untuk memperoleh persamaan beda y(n) :

$$y(n) = 0,0041x(n) - 0,0083x(n - 2) + 0,0041x(n - 4) - 2,7818y(n - 1) - 3,7473y(n - 2) - 2,5267y(n - 3) - 0,8253y(n - 4)$$

$$y(n) = \frac{1}{10000} [41x(n) - 83x(n - 2) + 41x(n - 4) - 27818y(n - 1) - 37473y(n - 2) - 25267y(n - 3) - 8253y(n - 4)]$$

Kemudian persamaan beda diubah menjadi algoritma *digital bandpass filter* untuk diterapkan pada mikrokontroler. Diagram alir algoritma *digital bandpass filter* ditunjukkan dalam gambar 9.

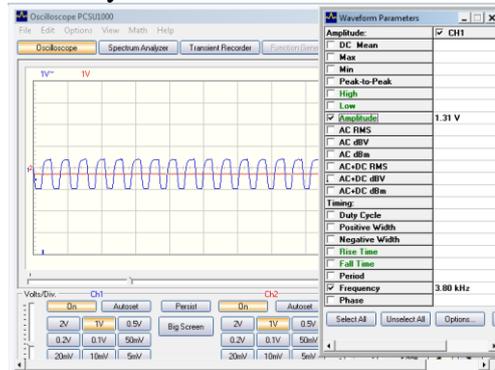


Gambar 9. Diagram Alir Algoritma *Digital Bandpass Filter*

B. Pengujian Sistem

1. Pengujian Mikrofon

Pengujian mikrofon dilakukan dengan memberikan sinyal suara yang memiliki frekuensi 3,8 kHz, kemudian sinyal keluaran mikrofon diamati melalui *oscilloscope*.

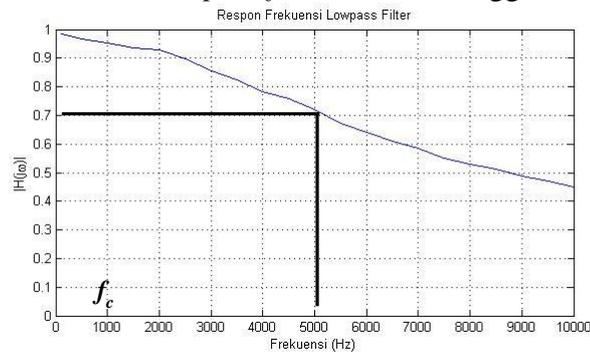


Gambar 8. Hasil Pengujian Mikrofon

Dalam gambar 10 ditunjukkan sinyal elektrik yang dihasilkan mikrofon memiliki frekuensi 3,8 kHz.

2. Pengujian Lowpass Filter

Pengujian *lowpass filter* dilakukan dengan memberikan sinyal yang memiliki tegangan 5 volt dengan frekuensi 100 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz, 5500 Hz, 6000 Hz, 6500 Hz, 7000 Hz, 7500 Hz, 8000 Hz, 8500 Hz, 9000 Hz, 9500 Hz dan 10000 Hz pada masukan *lowpass filter* dan tegangan keluaran dari *lowpass filter* diukur menggunakan *oscilloscope*.

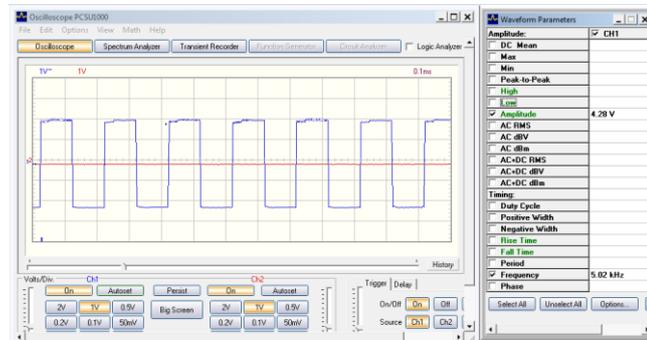


Gambar 9. Grafik Respon Frekuensi *Lowpass Filter*

Pada frekuensi *cutoff* (f_c) 5 kHz, nilai $|H(j\omega)|$ sebesar 0,72, bila dibandingkan dengan teori ($|H(j\omega)|=0,707$), nilai $|H(j\omega)|$ memiliki *error* sebesar 1,8 %.

3. Pengujian Proses Sampling

Untuk mengetahui frekuensi *sampling* mikrokontroler, dilakukan interupsi dalam listing program yang membuat keluaran PORTB.7 berubah setiap periode *sampling*. Sinyal keluaran PORTB.7 diamati melalui *oscilloscope* yang ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 10. Hasil Pengujian Proses *Sampling*

Berdasarkan hasil pengujian, frekuensi keluaran POTB.7 adalah 5,02 kHz, sehingga frekuensi *sampling* adalah $2 \times 5,02 \text{ kHz} = 10,04 \text{ kHz}$.

4. Pengujian Proses Kuantisasi

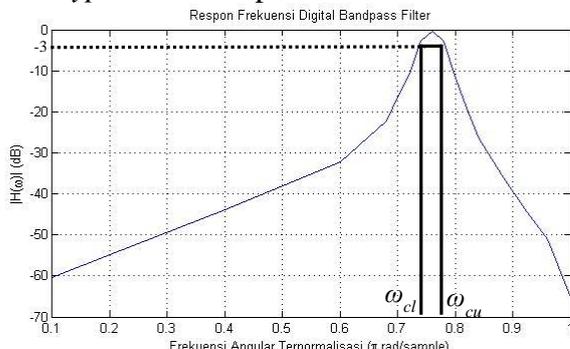
Pengujian proses kuantisasi dilakukan dengan memberikan tegangan masukan dengan nilai 1 volt, 2 volt, 3 volt, 4 volt, dan 5 volt menggunakan potensiometer, kemudian hasil kuantisasi diamati melalui *hyper terminal* pada PC. Dalam lima kali pengujian proses kuantisasi, *least significant bit* (LSB) *error* maksimal yang didapat adalah 2. Hasil ini sesuai dengan *datasheet* dimana LSB *error* ± 2 .

5. Pengujian Proses Coding

Pengujian proses *coding* dilakukan dengan memberikan sinyal suara dengan frekuensi 3,8 kHz, kemudian diamati jumlah pulsa dalam periode 1 detik. Berdasarkan hasil pengujian, terdapat jumlah pulsa sebesar 3858. Bila dibandingkan dengan frekuensi sinyal masukan, proses *coding* memiliki *error* sebesar 1,52%.

6. Pengujian Digital Bandpass Filter

Pengujian *digital bandpass filter* dilakukan dengan memberikan algoritma sinyal sinusoida diskrit sebagai masukan yang memiliki frekuensi 500 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 3600 Hz, 3700 Hz, 3800 Hz, 3900 Hz, 4000 Hz, 4100 Hz, 4500 Hz, 4200 Hz, 4400 Hz, 4600 Hz, 4800 Hz, 5000 Hz. Amplitudo sinyal diskrit keluaran diamati melalui *hyper terminal* pada PC.

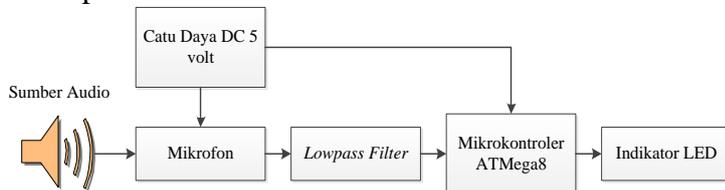


Gambar 11. Grafik Respon Frekuensi *Digital Bandpass Filter*

Berdasarkan hasil pengujian, nilai $|H(\omega)|$ pada frekuensi *cutoff* bawah (ω_{cl}) sebesar 0,733 (-2,69 dB) dan nilai *error* $|H(\omega)|$ sebesar 3,67%, sedangkan nilai $|H(\omega)|$ pada frekuensi *cutoff* atas (ω_{cu}) sebesar 0,73 (-2,72 dB) dan nilai *error* $|H(\omega)|$ sebesar 3,67%.

7. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan memberikan sumber audio berupa suara dengan frekuensi 3800 Hz, musik bambangan cakil, suara tepuk tangan, dan suara orang berbicara pada masukan mikrofon. Hasil pengujian diamati melalui indikator LED. Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel 3.



Gambar 12. Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem

Tabel 3. Hasil Pengujian Keseluruhan Sitem

Sumber Audio	LED Hijau	LED Merah	Keadaan yang Dikenali
Sinyal suara dengan frekuensi 3,8 kHz	Menyala	Tidak Menyala	Suara Aktivasi
Musik bambangan cakil	Tidak Menyala	Menyala	Bukan Suara Aktivasi
Suara tepuk tangan	Tidak Menyala	Menyala	Bukan Suara Aktivasi
Suara orang berbicara	Tidak Menyala	Menyala	Bukan Suara Aktivasi

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 3, LED hijau menyala apabila diberikan sumber audio berupa suara dengan frekuensi 3,8kHz dan LED merah selalu padam. Kemudian pada saat sumber audio berupa musik bambangan cakil, suara tepuk tangan, dan suara orang berbicara diberikan, LED hijau selalu padam dan LED merah menyala, Hal ini menunjukkan sistem sudah dapat mengenali suara aktivasi berupa sinyal suara dengan frekuensi 3,8 kHz, dan mengabaikan sumber audio berupa musik bambangan cakil, suara tepuk tangan, dan suara orang berbicara, kemudian sistem mampu memberikan indikasi penyalaaan LED yang tepat.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan tahap perancangan, implementasi perancangan, dan pengujian pada sistem sound activation, dapat diambil kesimpulan beberapa hal sebagai berikut :

1. Sistem sound activation terdiri dari mikrofon yang berfungsi untuk mengubah sinyal suara menjadi sinyal elektrik, lowpass filter yang berfungsi untuk meredam sinyal dengan frekuensi diatas 5 kHz, proses analog to digital converter (ADC) yang terdiri dari proses sampling dengan frekuensi sampling 10 kHz, proses kuantisasi dengan 8 bit kuantisasi, dan proses coding, berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital diskrit, dan proses komputasi menggunakan algoritma digital bandpass filter yang berfungsi untuk meloloskan sinyal dengan frekuensi 3,8 kHz, dan meredam sinyal dengan frekuensi dibawah 3,7 kHz dan diatas 3,9 kHz.
2. Digital bandpass filter yang dibuat mampu meredam sinyal dibawah frekuensi cutoff bawah (3,7 kHz) dengan nilai $|H(\omega)|$ sebesar 0,733 (-2,69 dB) dan nilai error $|H(\omega)|$ sebesar 3,67 % dan diatas frekuensi cutoff atas (3,9 kHz) dengan nilai $|H(j\omega)|$ sebesar 0,73 (-2,72 dB) dan nilai error $|H(\omega)|$ sebesar 3,15 %. Sistem sound activation mampu mendeteksi suara aktivasi berupa sinyal suara dengan frekuensi 3,8 kHz, dan mengabaikan sumber audio lain yang terdiri dari musik bambangan cakil, suara tepuk tangan, dan suara orang berbicara.

SARAN

Penggunaan jenis filter analog *prototype* lainnya yaitu *chebyshev 1*, *chebyshev 2*, dan *elliptic* sebagai dasar untuk membuat desain *digital bandpass filter*, kemudian dibandingkan dengan menggunakan jenis filter analog *prototype butterworth* untuk mengetahui hasil respon respon frekuensi dari masing-masing filter analog *prototype* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Antoniou, A. 1993. *Digital Filters: Analysis, Design, and Applications*. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Atmel Corporation. 2003. *ATmega8/ATmega8L, 8-bit AVR Microcontroller with 32 kbytes in System Programable Flash*. http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf. (Diakses 7 Juli 2015).
- Winoto, A. 2010. *Mikrokontroler AVR ATmega8/16/32/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung: INFORMATIKA.
- Hioki, W. 1998. *Telecommunications Third Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Johnson, D. 2012. *Fundamentals of Electrical Engineering I*. Texas: Rice University.
- Ramdhani, M. 2008. *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Roddy, Dennis, & John, C. 1984. *Komunikasi Elektronika*. Jakarta: Erlangga.
- Sophocles J. O. 2010. *Introduction to Signal Processing*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Tanudjaja, H. 2007. *Pengolahan Sinyal Digital Dan Sistem Pemrosesan Sinyal*. Yogyakarta: Andi.
- Smith, S. W. 1997. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. California: California Technical Publishing.