

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENALA GITAR  
AKUSTIK YANG DILENGKAPI DENGAN OSILATOR  
PEMBANGKIT FREKUENSI**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI ELEKTRONIKA**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun oleh:

**ASTRILIA PARAMITHA  
NIM. 0410630016-63**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2009**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENALA GITAR AKUSTIK  
YANG DILENGKAPI DENGAN OSILATOR PEMBANGKIT FREKUENSI**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI ELEKTRONIKA**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun oleh:

**ASTRILIA PARAMITHA**  
NIM. 0410630016-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Waru Djuriatno, ST., MT.**  
NIP.19690725 199702 1 001

**Ir. Nurussa'adah, MT.**  
NIP. 19680706 199203 2 001

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENALA GITAR AKUSTIK  
YANG DILENGKAPI DENGAN OSILATOR PEMBANGKIT FREKUENSI**

Disusun oleh:

**ASTRILIA PARAMITHA**  
NIM. 0410630016-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 12 Oktober 2009

Dosen penguji:

**Ir. Nanang Sulistyanto**  
19700113 199403 1 002

**Moch. Rif'an, ST., MT.**  
19710301 200012 1 001

**Panca Mudjirahardjo, ST. MT.**  
19700329 200012 1 001

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Rudy Yuwono, ST., M.Sc.**  
19710615 199802 1 003

## PENGANTAR

Kunaikkan puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan anugerah-Nya yang melimpah sehingga skripsi yang berjudul “Perancangan dan Pembuatan Alat Penala Gitar Akustik yang Dilengkapi dengan Osilator Pembangkit Frekuensi” dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis banyak memperoleh dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Maka dengan kesungguhan dan rasa rendah hati, penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Rudy Yuwono, ST., M.Sc. dan Bapak M. Azis Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua dan Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Ir. M. Julius ST., MS. selaku KKDK Elektronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Waru Djuriatno, ST., MT. dan Ir. Nurussa’adah, MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan ide, bimbingan, motivasi, pengarahan serta saran dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Adharul Mutaqien. ST., MT. Yang telah membantu dalam proses penyusunan proposal skripsi.
5. Papa tercinta Anwar Santoso dan Mama tersayang Listyati, serta adikku Armada Setyadi, atas kasih sayang, doa yang tidak putus-putus dan segala upaya yang takkan terlupa.
6. Temanku Ana, Paulina, Asep, Uud, Tyas, Herry, Daniel, Yoppy yang selalu mendukungku ketika aku lemah, yang selalu memberi masukan dan yang sering meminjamkan peralatan yang kubutuhkan.
7. Mas Hendro, Pak Dhe, Mas Hadi, Mas Anang di suatu tempat.
8. Bapak, ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
9. Semua teman-teman seangkatanku 2004, Lab. Elektronika, dan semua yang pernah ada di hidupku.
10. Serta semua orang yang turut membantu baik dalam segi moral maupun material yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Penyusun menyadari bahwa skripsi yang telah disusun ini masih banyak kekurangan serta masih jauh dari sempurna, hal ini tidak lain karena keterbatasan materi

dan pengetahuan yang dimiliki penyusun. Oleh karena itu kritik serta saran sangat kami harapkan demi kesempurnaan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penyusun mengharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi rekan – rekan mahasiswa dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, 2 Agustus 2009

Penyusun



## ABSTRAK

**Astrilia Paramitha**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2009, *Perancangan dan Pembuatan Alat Penala Gitar Akustik yang Dilengkapi dengan Osilator Pembangkit Frekuensi*, Dosen Pembimbing: Waru Djurianto, ST.,MT. dan Ir. Nurussa'adah, MT.

Gitar merupakan salah satu alat musik berdawai yang memerlukan proses penalaan sebelum dapat digunakan dengan baik. Dalam kelas gitar, seorang guru gitar pada umumnya mengajarkan cara menala gitar dengan menggunakan alat musik lain sebagai patokan frekuensi nada yang diinginkan. Tetapi bagi seorang pemula, menala gitar dengan cara seperti ini tidaklah mudah karena pendengarannya belum terlatih. Oleh karena itu, diperlukan alat yang dapat membantu seorang pemula menala gitar sekaligus melatih pendengarannya.

Dengan menggunakan *pick-up* gitar akustik, penguat, filter dan rangkaian transistor sebagai saklar, gelombang suara gitar diubah menjadi gelombang kotak. Kemudian, frekuensi gelombang kotak tersebut dihitung dengan menggunakan fitur *timer/counter* dan *interrupt* pada mikrokontroler AVR ATmega8535 dan diolah lebih lanjut untuk menentukan apakah frekuensinya sudah tepat, kurang atau lebih. Hasilnya akan ditampilkan dengan menggunakan LED. Alat ini juga dilengkapi dengan osilator yang telah diatur frekuensinya sehingga jika dihubungkan dengan *speaker* dapat menghasilkan bunyi dengan frekuensi yang telah ditentukan, sehingga dapat digunakan sebagai nada patokan pada saat menala sebuah gitar.

Berdasarkan pengujian diperoleh hasil bahwa alat ini dapat digunakan untuk menala gitar akustik dan dapat digunakan sebagai alat bantu untuk belajar menala gitar bagi seorang pemula karena dilengkapi dengan osilator pembangkit frekuensi yang dapat menghasilkan bunyi dengan frekuensi standar gitar sehingga dapat digunakan sebagai patokan untuk menala.

Kata kunci: gitar, frekuensi



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan dunia musik sudah sangat maju. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya sekolah musik yang bermunculan. Salah satu kelas yang cukup digemari adalah kelas gitar, karena gitar merupakan sebuah alat musik sederhana dan mudah dibawa ke mana-mana tetapi memiliki manfaat yang cukup baik. Hanya dengan sebuah gitar seseorang dapat bermain solo ataupun menggunakannya untuk mengiringi orang menyanyi.

Gitar merupakan salah satu alat musik berdawai yang memerlukan proses penalaan agar diperoleh nada yang semestinya sebelum dapat dimainkan, terutama pada gitar yang masih baru yang senarnya masih sering mengalami perubahan tegangan. Sekalipun gitar tidak dipakai dalam waktu yang tidak lama, frekuensi suara yang dihasilkan biasanya berubah akibat mengendornya tegangan senar akibat pengaruh suhu, dsb.

Dalam kelas-kelas gitar, seorang guru pada umumnya akan mengajarkan cara menala gitar dengan menggunakan alat musik lain sebagai acuan frekuensi nada yang diinginkan. Tetapi bagi seorang pemula, menala gitar dengan cara seperti ini tidaklah mudah karena pendengarannya belum terlatih. Oleh karena itu, diperlukan sebuah alat yang dapat membantu seorang pemula untuk menala gitar sekaligus melatih pendengarannya.

Pada beberapa skripsi terdahulu juga pernah dibuat alat penala gitar, di antaranya adalah milik Juni Iswanto yang berjudul *Perancangan dan Pembuatan Alat Penala Nada Instrumen Musik Menggunakan Mikrokontroler MC68705R396*, milik Chandra Nelson Siregar yang berjudul *Instrumen Penala Gitar Berbasis MC AT89C51*, serta milik Wahyudi Achmad yang berjudul *Penala Nada Gitar Bersuara Sebagai Alat Bantu Bagi Tuna Netra*. Pada skripsi milik Juni Iswanto dan milik Chandra Nelson Siregar, penulis membuat alat penala gitar standar seperti alat-alat penala gitar yang ada di pasaran, yaitu yang dilengkapi dengan tampilan untuk mengetahui apakah nada yang sedang ditala sudah tepat, kurang atau lebih. Pada skripsi milik Wahyudi Achmad, alat penala dibuat untuk pengguna tuna netra. Alat ini memiliki tampilan yang dapat mengeluarkan suara yang dapat menyatakan nama-nama nada yang sedang ditala.

Alat-alat penala gitar seperti di atas memang sudah cukup membantu dalam proses penalaan gitar. Namun, alat ini tidak melatih pendengaran seseorang untuk dapat membandingkan nada yang satu dengan nada lain yang digunakan sebagai acuan. Untuk seseorang yang belum terlatih pendengarannya, dia akan mengalami kesulitan menala gitar jika alat yang ada hanyalah alat musik lain sebagai acuan. Berpangkal tolak dari masalah di atas, maka timbul suatu ide untuk membuat sebuah alat penala gitar akustik yang dilengkapi dengan osilator sebagai pembangkit frekuensi nada acuan. Dengan adanya osilator ini, alat dapat mengeluarkan bunyi dengan frekuensi yang disesuaikan dengan frekuensi tiap senar gitar, sehingga pengguna dapat berlatih mengetahui bunyi petikan senar yang benar berdasarkan bunyi hasil osilator tersebut. Selain itu, alat ini juga akan dilengkapi dengan tampilan yang dapat memberitahukan apakah nada senar gitar tersebut sudah tepat, terlalu rendah, atau terlalu tinggi, sehingga alat yang akan dibuat memiliki dua fungsi, yaitu sebagai penala gitar sebagaimana yang ada di pasaran dan yang telah dibuat sebelumnya, dan juga sebagai acuan frekuensi dasar masing-masing senar gitar.

Penelitian dan pembuatan alat penala gitar ini menggunakan metode penghitungan periode satu gelombang suara yang dihasilkan dari petikan senar gitar. Dari periode yang diketahui tersebut akan diketahui pula besar frekuensi gelombang yang dihasilkan. Perhitungan periode tersebut akan dilakukan oleh mikrokontroler.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam perancangan ini rumusan masalah ditekankan pada:

1. Bagaimana merancang rangkaian osilator agar menghasilkan frekuensi nada standar yang tepat
2. Bagaimana merancang rangkaian penguat untuk menguatkan gelombang keluaran dari *pick-up*
3. Bagaimana merancang rangkaian filter untuk menyaring frekuensi yang akan diolah dan membuang frekuensi-frekuensi yang tidak diperlukan
4. Bagaimana merancang rangkaian transistor sebagai saklar
5. Bagaimana merancang pengontrolan sistem menggunakan mikrokontroler

## 1.3 Batasan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang ada maka dalam skripsi ini pembahasan hanya dibatasi pada:

1. Catu daya yang digunakan dalam rangkaian ini berasal dari adaptor.
2. Untuk menala setiap senar gitar dan untuk mengaktifkan osilator perlu dilakukan pengaturan melalui saklar *on/off*.
3. Alat hanya dapat digunakan untuk penalaan *open string* dengan frekuensi standar internasional.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan skripsi ini adalah merancang dan membuat alat penala gitar yang dilengkapi dengan osilator pembangkit frekuensi sebagai frekuensi nada acuan, di mana tampilan alat akan memberitahukan apakah frekuensi tersebut terlalu rendah, terlalu tinggi atau sudah tepat.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

##### BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

##### BAB II Teori Penunjang

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

##### BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang metode penelitian yang digunakan dalam perencanaan dan pengujian alat.

##### BAB IV Perencanaan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan perealisasiian alat yang meliputi spesifikasi alat, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan realisasi alat.

##### BAB V Pengujian Alat

Memuat hasil pengujian terhadap alat yang telah direalisasikan.

##### BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut dari alat yang telah dibuat

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merancang dan merealisasikan alat dalam skripsi ini dibutuhkan pemahaman mengenai beberapa hal, di antaranya adalah teori dasar mengenai gitar akustik yang meliputi gelombang bunyi, panjang gelombang serta frekuensi pada gitar akustik, teori dasar mengenai osilator pembangkit frekuensi XR-2206, teori dasar mengenai penguat operasional sebagai penguat tak membalik, teori dasar mengenai filter bandpass, teori dasar mengenai rangkaian transistor sebagai saklar, dan teori dasar mengenai mikrokontroler AVR ATmega 8535.

#### 2.1 Musik

##### 2.1.1 Gelombang Bunyi

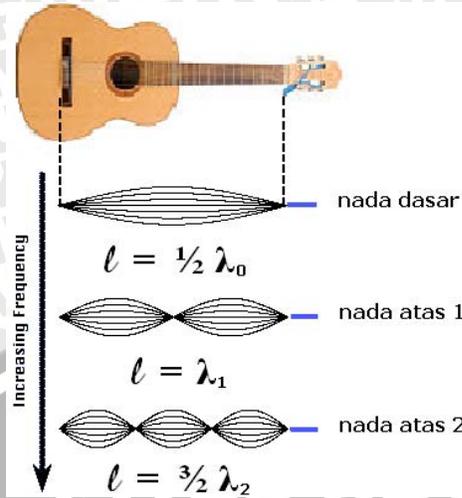
Bunyi adalah sebuah gelombang yang dihasilkan dari bergetarnya sebuah objek dan disebarkan melalui sebuah medium dari suatu tempat ke tempat yang lain. Gelombang merupakan salah satu cara pemindahan energi yang tidak disertai pemindahan materinya. Gelombang bunyi termasuk gelombang mekanik karena dalam perambatannya, gelombang ini memerlukan medium. Mediumnya dapat berupa benda padat, cair maupun gas. Gelombang bunyi tidak dapat merambat di dalam ruang hampa.

Menurut arah getarnya, gelombang dibagi menjadi gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatnya tegak lurus terhadap arah getarnya. Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah getar dan arah rambatnya berimpit. Gelombang bunyi dalam zat padat, zat cair, dan zat gas merupakan gelombang longitudinal.

##### 2.1.2 Hubungan Panjang Gelombang dan Frekuensi

Nada adalah bunyi yang frekuensinya teratur. Tinggi nada ditentukan oleh frekuensi nada tersebut, makin besar frekuensinya makin tinggi nadanya, dan sebaliknya makin kecil frekuensinya makin rendah nadanya.

Alat musik berdawai jika dawaiannya digetarkan, maka akan berfungsi sebagai sumber bunyi dan kita akan mendengar nada dari senar yang bergetar tersebut. Nada ini merupakan nada dasar, yang apabila digambarkan akan membentuk pola seperti dalam Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Hubungan Antara Panjang Senar dengan Panjang Gelombang  
**Sumber:** Subekti, 2000: 35

Jika diperhatikan ternyata senar tersebut membentuk pola setengah panjang gelombang dari gelombang stasioner ( $l = \frac{1}{2} \lambda$ ). Sedangkan frekuensi nada dasar tersebut dinyatakan dengan:

$$f_0 = v/\lambda_0$$

dengan  $\lambda_0 = 2l$

Apabila panjang senar diperpendek menjadi setengahnya, akan terdengar nada yang lebih tinggi dari nada dasar. Nada ini disebut nada atas pertama. Senar gitar membentuk pola satu panjang gelombang dari gelombang stasioner ( $l = \lambda$ ). Frekuensi nada dasarnya dinyatakan dengan  $f_1 = v/\lambda_1$  dengan  $\lambda_1 = l$ . Apabila panjang senar dibuat menjadi sepertiga  $\lambda$  maka nada yang dihasilkan disebut nada atas kedua. Nada atas kedua ini terdengar lebih tinggi dari nada atas pertama. Senar gitar membentuk pola satu setengah panjang gelombang dari gelombang stasioner ( $l = \frac{3}{2} \lambda$ ). Frekuensi nada dasarnya dinyatakan dengan  $f_2 = v/\lambda_2$  dengan  $\lambda_2 = \frac{2}{3} l$ .

Jika frekuensi-frekuensi di atas dibandingkan, akan diperoleh:

$$\begin{aligned} f_0 : f_1 : f_2 &= v/\lambda_0 : v/\lambda_1 : v/\lambda_2 \\ &= v/2l : v/l : 3v/2l \\ &= 1/2 : 1 : 3/2 \end{aligned}$$

$$f_0 : f_1 : f_2 = 1 : 2 : 3$$

Perbandingan frekuensi nada-nada di atas merupakan perbandingan bilangan-bilangan bulat dan dari perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa makin kecil panjang gelombang, maka makin tinggi frekuensi yang dihasilkan dan makin tinggi nadanya.

### 2.1.3 Gitar Akustik

Ada beberapa macam gitar yang termasuk dalam kelompok gitar akustik, di antaranya adalah gitar *flamenco*, gitar *folk*, gitar 12 dawai, gitar klasik, dsb. Gitar-gitar tersebut memiliki bentuk dan ciri-ciri yang berbeda serta beberapa gitar memiliki sistem penalaan tertentu. Dalam skripsi ini gitar yang digunakan adalah gitar klasik. Bagian-bagian gitar akustik dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Gitar Akustik  
**Sumber:** Wikipedia, 2008: 1

Gitar akustik memiliki lubang suara (*sound hole*), di mana melalui lubang tersebut getaran bunyi dari senar gitar disalurkan menuju ke udara yang ada di dalam *sound board*. Udara di dalam *body* gitar ikut bergetar pada saat senar bergetar. *Sound hole* ini biasanya berbentuk bulat dan terletak di bawah senar gitar.

Tabel 2.1 menunjukkan nama *pitch* di keenam senar gitar mulai dari *nut* (fret 0) hingga fret ke-12.

**Tabel 2.1** Nama *pitch* Keenam Senar Gitar Mulai dari *nut* (fret 0) Hingga Fret Ke-12

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E
B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G
D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D
A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A
E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E

**Sumber:** Wikipedia, 2008: 1

Ada banyak sistem penalaan gitar yang digunakan di dunia, tetapi sejauh ini sistem penalaan gitar klasik yang umum digunakan adalah *standard tuning*, yang

dilakukan dengan memetik senar dalam keadaan terbuka (tanpa menahan fret) atau disebut juga dengan *open string*. Nada-nada yang dihasilkan yaitu:

- Senar pertama : E (oktaf ke-4) dengan frekuensi 329,628 Hz
- Senar kedua : B (oktaf ke-3) dengan frekuensi 246,942 Hz
- Senar ketiga : G (oktaf ke-3) dengan frekuensi 195,998 Hz
- Senar keempat: D (oktaf ke-3) dengan frekuensi 146,832 Hz
- Senar kelima : A (oktaf ke-2) dengan frekuensi 110,000 Hz
- Senar keenam : E (oktaf ke-2) dengan frekuensi 82,4069 Hz

## 2.2 Osilator

Osilator berguna untuk menghasilkan sinyal seragam yang digunakan sebagai referensi pada aplikasi seperti audio, generator fungsi, sistem digital, dan sistem komunikasi.

Ada dua macam osilator, yaitu sinusoidal dan relaksasi. Osilator sinusoidal terdiri dari penguat dengan rangkaian RC atau LC yang memiliki frekuensi osilasi yang telah diatur, atau kristal yang memiliki frekuensi osilasi tertentu. Osilator relaksasi menghasilkan bentuk gelombang segitiga, gigi gergaji, kotak, pulsa, atau eksponensial.

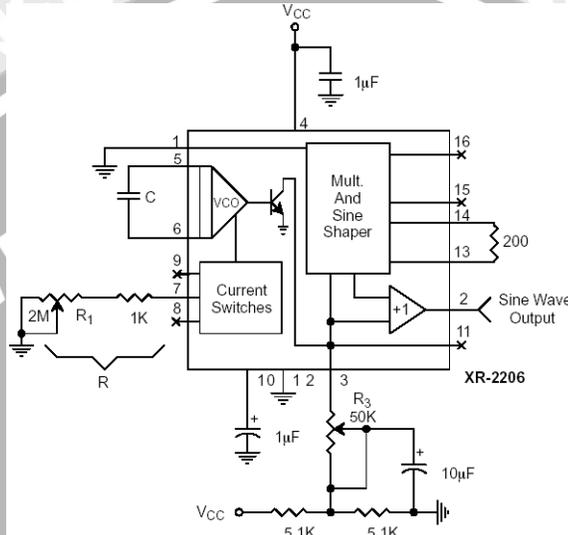
Di dalam skripsi ini digunakan IC XR-2206 yang merupakan generator fungsi berupa rangkaian terintegrasi monolitik yang dapat menghasilkan gelombang sinusoida, kotak, segitiga, atau ramp dengan kualitas baik, serta stabilitas dan akurasi tinggi. Gelombang keluarannya dapat diatur baik amplitudonya ataupun frekuensinya dengan sebuah tegangan eksternal. Frekuensi operasinya dapat diatur secara eksternal dalam rentang 0,01 Hz hingga lebih dari 1 MHz.

Rangkaian secara ideal cocok digunakan dalam bidang komunikasi, instrumentasi, dan aplikasi generator fungsi yang melibatkan pembentukan gelombang sinusoidal, AM, FM, dan FSK.

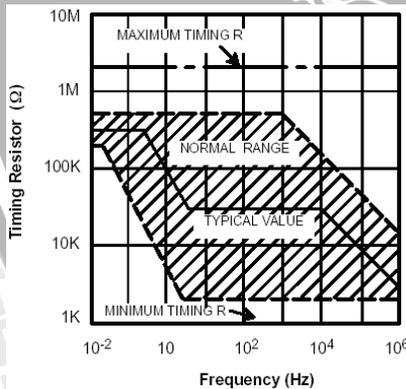
Gambar rangkaian osilator XR-2206 untuk membangkitkan gelombang sinusoida dapat dilihat dalam Gambar 2.3. Frekuensi osilasi,  $f_o$ , ditentukan oleh kapasitor eksternal (C), yang menghubungkan pin 5 dan 6 serta oleh resistor (R), yang dapat dihubungkan pada Pin 7 atau 8. Frekuensi yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$f_o = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

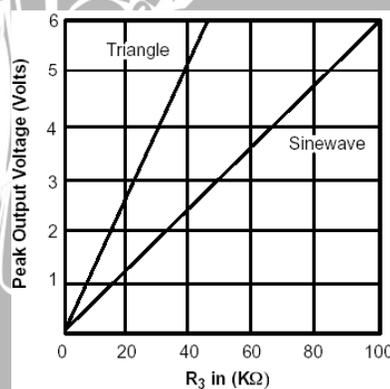
dan dapat diatur dengan mengubah-ubah nilai R atau C. Nilai resistor yang direkomendasikan untuk rentang frekuensi tertentu ditunjukkan dalam Gambar 2.4. Stabilitas temperatur optimum untuk resistor dengan nilai  $4k\Omega < R < 200k\Omega$ . Nilai kapasitor yang direkomendasikan adalah antara 1000pF hingga 100 $\mu$ F. Potensiometer, R<sub>3</sub> berfungsi untuk mengatur besar amplitudo gelombang yang dihasilkan. Gambar 2.5 menunjukkan perbandingan nilai resistor R<sub>3</sub> dengan amplitudo gelombang keluaran.



**Gambar 2.3** Rangkaian Osilator XR-2206 untuk Menghasilkan Gelombang Sinusoida  
**Sumber:** Exar, 1997: 8



**Gambar 2.4** Grafik Perbandingan Nilai R dengan Frekuensi Osilasi  
**Sumber:** Exar, 1997: 7



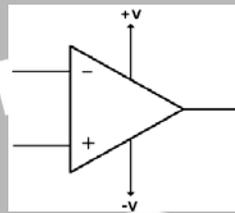
**Gambar 2.5** Grafik Amplitudo Keluaran Sebagai Fungsi dari Resistor R<sub>3</sub> pada Pin 3  
**Sumber:** Exar, 1997: 6

**2.3 Penguat Operasional**

Istilah *operational amplifier* atau biasa disingkat op amp merupakan salah satu penguat yang jika dirangkai dengan komponen eksternal lain yang tepat akan dapat

digunakan dalam bermacam-macam operasi seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian, integrasi, dan differensiasi.

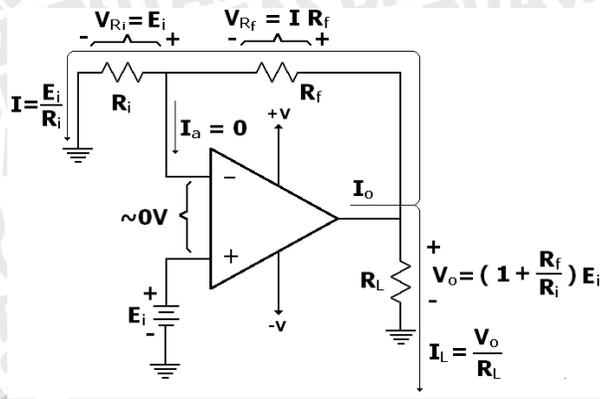
Op amp adalah penguat tegangan yang memiliki penguatan yang sangat besar. Gambar 2.6 menunjukkan simbol op amp. Op amp mempunyai lima terminal dasar, yaitu: dua untuk mensuplai daya (+V dan -V), dua untuk isyarat masukan (bertanda + dan -), dan satu untuk keluaran. Op amp yang ideal mempunyai karakteristik: impedansi masukan ( $R_i$ ) sangat besar, impedansi keluaran ( $R_o$ ) nol, dan penguatan loop terbuka ( $A_{OL}$ ) sangat besar.



**Gambar 2.6** Simbol Operational Amplifier  
**Sumber:** Mancini, 2002: 3-2

Penguat adalah salah satu rangkaian yang menerima sebuah isyarat pada masukannya dan mengeluarkan sebarang isyarat tak-berubah yang lebih besar pada keluarannya. Penguat ini menguatkan sinyal masukan sehingga memiliki amplitudo yang lebih besar tanpa mengubah frekuensi sinyal masukan. Ada beberapa macam penggunaan op amp sebagai penguat, antara lain adalah penguat tak membalik, penguat membalik, penguat differensial, dsb. Dalam bagian ini hanya dibahas mengenai penguat tak membalik yang akan dipakai dalam perancangan alat.

Pada penguat tak membalik sinyal masukannya dihubungkan dengan terminal *noninverting*. Gambar 2.7 adalah sebuah penguat tak membalik dengan tegangan keluaran  $V_o$  dan tegangan masukan  $E_i$ . Pada op amp sebagai penguat tak membalik ini diberikan hambatan umpan balik ( $R_f$ ) yang menghubungkan terminal masukan negatif dan terminal keluaran, sehingga rangkaiannya menjadi rangkaian tertutup dan penguatannya tidak lagi tergantung pada penguatan loop terbuka ( $A_{OL}$ ) yang sangat besar, melainkan tergantung pada penguatan loop tertutup ( $A_{CL}$ ). Penguatan loop tertutup ini besarnya tergantung pada nilai hambatan eksternal ( $R_f$  dan  $R_i$ ) yang dipasang pada terminal op amp.



Gambar 2.7 Penguat Tak Membalik  
 Sumber: Coughlin, 1994: 47

Dalam Gambar 2.7 dapat dilihat bahwa tegangan keluaran penguat tak membalik tersebut adalah  $V_o$ , mempunyai polaritas yang sama seperti tegangan masukannya,  $E_i$ .  $E_i$  menyebabkan arus mengalir yang besarnya:

$$I = \frac{E_i}{R_i}$$

Arus masukan ke terminal negatif op amp dapat diabaikan, sehingga  $I$  mengalir melalui  $R_f$  dan penurunan tegangannya dapat dinyatakan sebagai:

$$V_{R_f} = I(R_f) = \frac{R_f}{R_i} \times E_i$$

Tegangan keluaran  $V_o$  didapat dengan menambahkan penurunan tegangan melintasi  $R_i$  dan penurunan tegangan yang melintasi  $R_f$  yang dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$V_o = E_i + \frac{R_f}{R_i} E_i = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) E_i$$

Penguatan tegangannya dapat dinyatakan sebagai:

$$A_{CL} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

Dapat dilihat bahwa penguatannya adalah hanya merupakan fungsi dari resistor penguatan dan resistor umpan balik. Penguatannya diatur dengan mengubah-ubah nilai resistor tersebut.

### 2.4 Filter Bandpass

Filter adalah sebuah devais yang melewatkan sinyal elektrik dalam pita frekuensi tertentu dan menolak semua sinyal yang berada di luar pita frekuensi ini.

Filter digolongkan menjadi dua, yaitu filter pasif dan filter aktif. Rangkaian filter banyak digunakan dalam bermacam-macam aplikasi.

Filter aktif menggunakan komponen resistor, kapasitor, dan sebagai komponen aktif menggunakan op amp. Ada beberapa filter aktif yang dapat digunakan dalam aplikasi elektronika, di antaranya adalah *lowpass filter*, *highpass filter*, filter bandpass, *band rejection filter*, dan *all pass filter*. Dalam skripsi ini hanya akan dibahas mengenai filter bandpass yang akan digunakan dalam perancangan alat.

Filter bandpass adalah sebuah rangkaian yang dirancang untuk hanya melewatkan isyarat dalam suatu pita frekuensi tertentu dan menolak semua isyarat di luar pita ini. Jenis filter ini mempunyai tegangan keluaran maksimum  $V_{max}$ , atau penguatan tegangan maksimum  $A_m$ , pada satu frekuensi resonan  $f_m$ . Jika frekuensi berubah-ubah dari resonansinya, tegangan keluarannya turun. Ada satu frekuensi di atas  $f_m$  dan satu di bawah  $f_m$  di mana penguatan tegangannya adalah  $0.707 A_m$ . Frekuensi ini diberi tanda dengan  $f_h$ , frekuensi *cutoff* atas, dan  $f_l$ , frekuensi *cutoff* bawah. Pita frekuensi antara  $f_h$  dan  $f_l$  adalah lebar pita,  $B$ :

$$B = f_h - f_l$$

Perbandingan frekuensi resonan terhadap lebar pita dikenal sebagai faktor mutu ( $Q$ ) dari rangkaianannya.  $Q$  menunjukkan selektivitas rangkaianannya. Makin tinggi harga  $Q$ , makin selektif rangkaianannya. Dalam bentuk persamaan:

$$Q = \frac{f_m}{B} \text{ atau } B = \frac{f_m}{Q} \text{ rad/s}$$

Berikut ini akan dibahas secara lebih spesifik lagi mengenai filter bandpass orde kedua. Fungsi transfer umum filter bandpass orde kedua adalah:

$$A(s) = \frac{A_0 \Delta\Omega s}{1 + \Delta\Omega s + s^2}$$

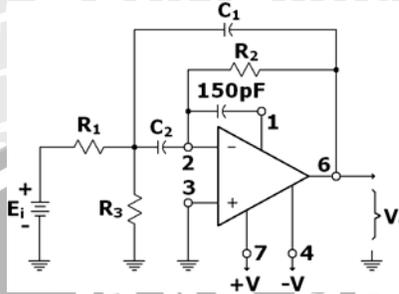
$$\text{dengan: } \Omega = \frac{f}{f_m}$$

$$\text{sehingga: } \Delta\Omega = \Omega_h - \Omega_l = \frac{f_h - f_l}{f_m} = \frac{1}{Q}$$

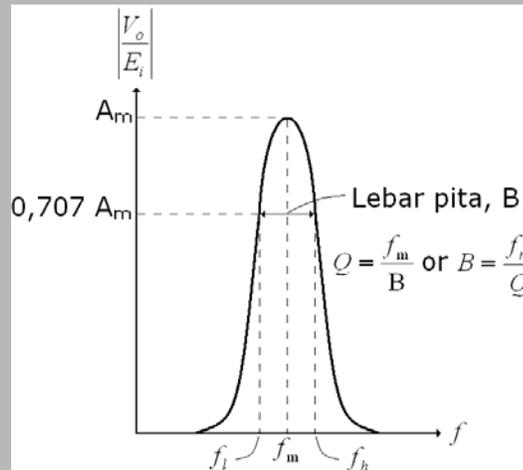
Pada saat merancang filter bandpass, parameter yang penting adalah penguatan pada frekuensi tengah ( $A_m$ ) dan faktor mutu ( $Q$ ), yang menentukan selektivitas filter bandpass tersebut.

Dengan mengganti  $A_0$  dengan  $A_m$  dan  $\Delta\Omega$  dengan  $1/Q$ , maka diperoleh:

$$A(s) = \frac{A_m \cdot s}{1 + \frac{1}{Q} \cdot s + s^2}$$



**Gambar 2.8** Filter Bandpass dengan Topologi *Multiple Feedback*  
**Sumber:** Coughlin, 1994: 279



**Gambar 2.9** Tanggapan Frekuensi Filter Bandpass  
**Sumber:** Coughlin, 1994: 279

Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 memperlihatkan gambar rangkaian dan tanggapan frekuensi sebuah filter bandpass dengan topologi *multiple feedback*. Pada filter bandpass dengan topologi *multiple feedback*,  $Q$ ,  $A_m$ , dan  $f_m$  dapat diatur secara independen. Lebar pita dan faktor mutu tidak tergantung besar  $R_3$ . Oleh karena itu,  $R_3$  dapat digunakan untuk mengatur frekuensi tengah tanpa mempengaruhi lebar pita,  $B$  atau *gain*,  $A_m$ .

Filter bandpass dengan topologi *multiple feedback* dalam Gambar 2.7 memiliki fungsi transfer seperti di bawah ini:

$$A(s) = \frac{-\frac{R_2 R_3}{R_1 + R_3} C \omega_m .s}{1 + \frac{2R_1 R_3}{R_1 + R_3} C \omega_m .s + \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3} C^2 \omega_m^2 .s^2}$$

Transfer fungsi di atas menghasilkan persamaan-persamaan berikut ini:

$$\text{Frekuensi tengah} : f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}}$$

$$\text{Gain pada saat } f_m : -A_m = \frac{R_2}{2R_1}$$

$$\text{Faktor mutu} : Q = \pi f_m R_2 C$$

$$\text{Lebar pita} : B = \frac{1}{\pi R_2 C}$$

Setelah diketahui frekuensi tengah ( $f_m$ ), faktor mutu ( $Q$ ), penguatan ( $A_m$ ), serta nilai kapasitor yang digunakan, maka nilai  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

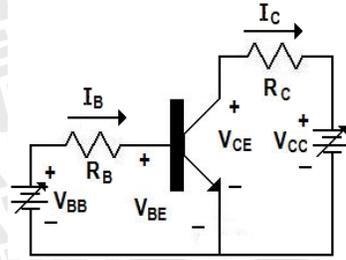
$$R_2 = \frac{Q}{\pi f_m C}$$

$$R_1 = -\frac{R_2}{2A_m}$$

$$R_3 = -\frac{A_m R_1}{2Q^2 + A_m}$$

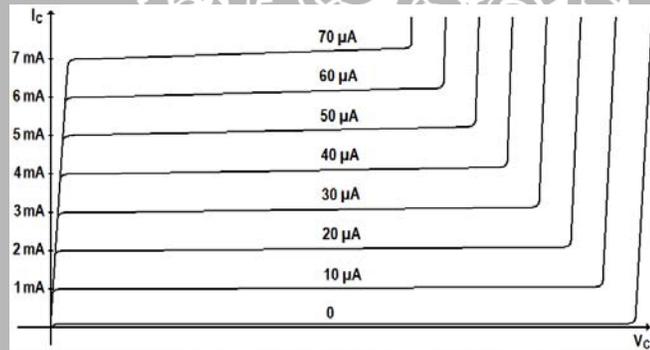
## 2.5 Rangkaian Transistor Sebagai Saklar

Terdapat dua cara dasar untuk mengatur titik operasi sebuah transistor, yaitu dengan bias basis dan bias emitor. Bias basis berguna di dalam rangkaian-rangkaian digital karena rangkaian tersebut biasanya dirancang untuk beroperasi di daerah jenuh dan *cutoff*. Oleh sebab itu, mereka memiliki tegangan keluaran rendah ataupun tegangan keluaran tinggi. Dengan kata lain, tidak ada titik Q yang digunakan di antara titik jenuh dan titik *cutoff*. Untuk alasan ini, variasi titik Q tidak menjadi masalah, karena transistor tetap dalam kondisi jenuh atau *cutoff* ketika penguatan arus berubah. Gambar rangkaian transistor dengan bias basis dapat dilihat dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Rangkaian Transistor Bias Basis  
 Sumber: Malvino, 145

Salah satu cara untuk membayangkan bagaimana sebuah transistor bekerja, yaitu dengan membuat grafik yang menghubungkan arus dan tegangan transistor. Jika digambarkan beberapa kurva untuk arus basis  $I_B$  yang berbeda-beda pada grafik yang sama, maka akan didapatkan kurva kolektor seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.11. Misalnya digunakan transistor dengan  $\beta_{dc}$  kira-kira 100, maka arus kolektornya kira-kira 100 kali lebih besar daripada arus basis, untuk setiap titik pada daerah aktif. Kurva ini seringkali disebut kurva kolektor statik karena yang digambarkan arus dan tegangan dc.



Gambar 2.11 Kurva Kolektor Transistor  
 Sumber: Malvino, 123

Garis beban dapat digambarkan pada kurva kolektor untuk memberikan pandangan yang lebih banyak bagaimana transistor bekerja dan di daerah mana dia beroperasi. Untuk menggambarkan garis beban suatu rangkaian, maka harus dicari terlebih dahulu arus jenuh dan tegangan *cutoff*. Nilai-nilai tersebut digambarkan pada sumbu vertikal dan horisontal. Garis yang melalui kedua titik tersebut merupakan garis beban.

Ketika hambatan basis terlalu kecil, maka arus kolektor menjadi terlalu besar, dan tegangan kolektor-emitor turun mendekati nol. Dalam kasus ini, transistor berada dalam kondisi jenuh (saturasi). Titik jenuh adalah titik di mana garis beban berpotongan

dengan daerah jenuh kurva kolektor. Karena tegangan kolektor-emitor  $V_{CE}$  sangat kecil pada kondisi jenuh, titik jenuh hampir menyentuh ujung atas garis beban.

Titik *cutoff* adalah titik di mana garis beban berpotongan dengan daerah *cutoff* kurva kolektor. Karena arus kolektor pada *cutoff* adalah sangat kecil, maka titik *cutoff* hampir menyentuh ujung bawah garis beban.

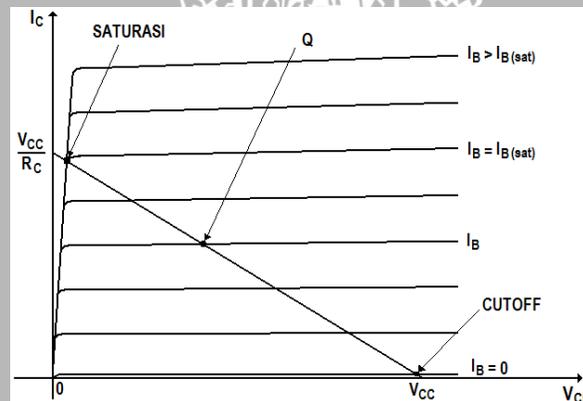
Untuk mendapatkan arus jenuh dalam rangkaian berbias basis, maka diasumsikan terdapat hubungan tertutup antara kolektor dan emitor, sehingga:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Untuk mendapatkan tegangan *cutoff*, maka diasumsikan terdapat hubungan terbuka antara kolektor dan emitor. Karena tidak ada arus yang lewat pada resistor kolektor, maka:

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC}$$

Gambar garis beban pada kurva kolektor dapat dilihat dalam Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Garis Beban dc Transistor  
Sumber: Malvino, 127

Pada rangkaian transistor sebagai saklar, transistor dioperasikan hanya pada salah satu titik jenuh atau titik *cutoff*, tetapi tidak di tempat-tempat sepanjang garis beban. Jika sebuah transistor berada dalam keadaan jenuh, transistor tersebut seperti sebuah saklar tertutup. Jika transistor berada dalam keadaan *cutoff*, transistor seperti sebuah saklar terbuka. Rangkaian ini hanya memiliki dua tegangan keluaran, yaitu logika rendah dan tinggi. Untuk mencapai keadaan jenuh, maka arus basis harus lebih besar atau sama dengan arus basis saturasi  $I_{B(sat)}$ . Sedangkan untuk mencapai keadaan *cutoff*, maka arus basis adalah nol.

Dalam merancang rangkaian transistor, terdapat dua macam aturan desain, yaitu *soft saturation* dan *hard saturation*. *Soft saturation* berarti kita membuat transistor

hampir saturasi, di mana arus basis hanya cukup untuk mengoperasikan transistor pada ujung atas garis beban. *Hard saturation* berarti kita mempunyai arus basis yang cukup untuk membuat transistor saturasi pada semua harga  $\beta_{dc}$ . Pedoman desain untuk *hard saturation* adalah arus basis dibuat kira-kira sepersepuluh dari harga saturasi arus kolektor ( $I_B:I_C = 1:10$ ). Hal ini menjamin keadaan saturasi untuk semua transistor, arus, temperatur dan sebagainya.

## 2.6 Mikrokontroler AVR ATmega 8535

Mikrokontroler dapat dianalogikan dengan sebuah sistem komputer yang dikemas dalam sebuah chip. Artinya bahwa di dalam sebuah IC mikrokontroler sebetulnya sudah terdapat kebutuhan minimal agar mikroprosesor dapat bekerja, yaitu meliputi mikroprosesor, ROM, RAM, I/O dan *clock* seperti halnya yang dimiliki oleh sebuah komputer PC. Mengingat kemasannya yang hanya berupa sebuah chip dengan ukuran yang relatif kecil tentu saja spesifikasi dan kemampuan yang dimiliki oleh mikrokontroler menjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan sistem komputer seperti PC baik dilihat dari segi kecepatannya, kapasitas memori maupun fitur-fitur yang dimilikinya. Meskipun dari sisi kemampuan lebih rendah tetapi mikrokontroler memiliki kelebihan yang tidak bisa diperoleh pada sistem komputer yaitu dengan kemasannya yang kecil dan kompak membuat mikrokontroler menjadi lebih fleksibel dan praktis digunakan terutama pada sistem-sistem yang relatif tidak terlalu kompleks atau tidak membutuhkan beban komputasi yang tinggi.

Ada banyak mikrokontroler yang masing-masing memiliki keluarga atau seri sendiri-sendiri, salah satunya adalah mikrokontroler AVR. Mikrokontroler AVR ini mempunyai arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit, di mana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (*16-bit words*) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*.

Mikrokontroler ATmega8535 mempunyai fitur utama sebagai berikut:

- Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz
- Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D.
- ADC 10 bit sebanyak 8 saluran
- Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan
- CPU yang terdiri atas 32 buah register
- *Watchdog Timer* dengan osilator internal
- SRAM sebesar 512 byte

- Memori *Flash* sebesar 8 kb dengan kemampuan *Read While Write*
- Unit interupsi internal dan eksternal
- Port antarmuka SPI
- EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi
- Antarmuka komparator analog
- Port USART untuk komunikasi serial

Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega8535 dapat dilihat dalam Gambar 2.13.

Blok diagram ATmega ditunjukkan dalam Gambar 2.14.

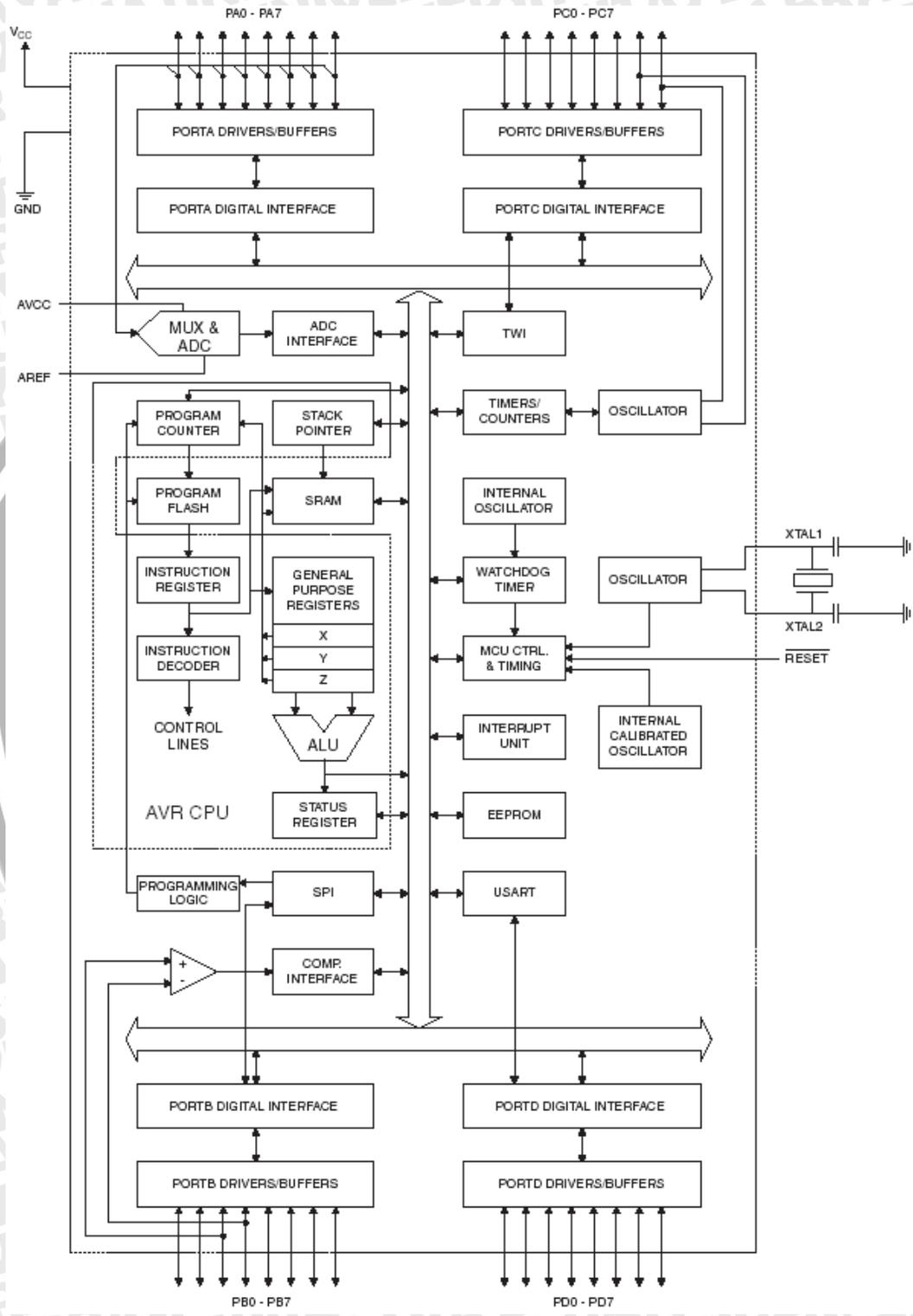
PDIP			
(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MISO) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5
(TXD) PD1	15	26	PC4
(INT0) PD2	16	25	PC3
(INT1) PD3	17	24	PC2
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP1) PD6	20	21	PD7 (OC2)

Gambar 2.13 Konfigurasi pin ATmega8535  
Sumber: Atmel, 2006: 2

Dari Gambar 2.13 dapat dijelaskan secara fungsional konfigurasi pin ATmega 8535 sebagai berikut:

- VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya
- GND merupakan pin *ground*
- Port A (PA0..PA7) merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC
- Port B (PB0..PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *Timer/Counter*, komparator analog dan SPI
- Port C (PC0..PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *Timer/Counter*, komparator analog dan *Timer Oscillator*
- Port D (PD0..PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator analog, interupsi eksternal, dan komunikasi serial
- RESET merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler
- XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal
- AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC

- AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC



**Gambar 2.14** Blok Diagram Mikrokontroler AVR ATmega8535  
 Sumber: Atmel, 2006: 3

### 2.6.1 Interupsi

ATMega8535 menyediakan 21 macam sumber interupsi yang masing-masing memiliki alamat program vektor interupsi seperti pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Alamat Vektor Interupsi ATMega8535

Vector No.	Program Address <sup>(2)</sup>	Source	Interrupt Definition
1	0x000 <sup>(1)</sup>	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset and Watchdog Reset
2	0x001	INT0	External Interrupt Request 0
3	0x002	INT1	External Interrupt Request 1
4	0x003	TIMER2 COMP	Timer/Counter2 Compare Match
5	0x004	TIMER2 OVF	Timer/Counter2 Overflow
6	0x005	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
7	0x006	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
8	0x007	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
9	0x008	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
10	0x009	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
11	0x00A	SPI, STC	Serial Transfer Complete
12	0x00B	USART, RXC	USART, Rx Complete
13	0x00C	USART, UDRE	USART Data Register Empty
14	0x00D	USART, TXC	USART, Tx Complete
15	0x00E	ADC	ADC Conversion Complete
16	0x00F	EE_RDY	EEPROM Ready
17	0x010	ANA_COMP	Analog Comparator
18	0x011	TWI	Two-wire Serial Interface
19	0x012	INT2	External Interrupt Request 2
20	0x013	TIMER0 COMP	Timer/Counter0 Compare Match
21	0x014	SPM_RDY	Store Program Memory Ready

Sumber: Atmel, 2006: 46

Ada 3 sumber interupsi eksternal yaitu INT0, INT1, dan INT2. Ketiga interupsi ini dapat terpicu dengan adanya perubahan level baik transisi naik (*rising edge*) maupun transisi turun (*falling edge*) pada pin INT0, INT1 atau INT2 sesuai dengan pengaturan mode interupsinya meskipun pada saat itu ketiga pin tersebut dikonfigurasi sebagai output. Untuk pengaturan mode dan cara kerja interupsi eksternal dilakukan melalui 2 buah register I/O yaitu register MCUCR dan register MCUCSR.

Register MCUCR digunakan untuk mengatur pemacu interupsi dan fungsi MCU secara umum.

- Bit 3:2 – ISC11:0 : *Interrupt Sense Control* INT1  
ISC11 dan ISC10 digunakan untuk mengatur pemacu interupsi pada INT1. Pemacu interupsi dapat berupa sinyal rendah, adanya transisi, transisi naik, transisi turun.
- Bit 1:0 – ISC01:0 : *Interrupt Sense Control* INT0  
ISC01 dan ISC00 digunakan untuk mengatur pemacu interupsi pada INT0. Pemacu interupsi dapat berupa sinyal rendah, adanya transisi, transisi naik, transisi turun.

Gambar 2.15 menunjukkan MCU-Control Register (MCUCR). Pemacu interupsi pada INT0 dan INT1 dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	SM2	SE	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	MCUCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Gambar 2.15 Gambar MCU Control Register (MCUCR)  
Sumber: Atmel, 2006:32

Tabel 2.3 Pemacu Interupsi INT0/INT1

ISC11	ISC10	Description
0	0	The low level of INT1 generates an interrupt request.
0	1	Any logical change on INT1 generates an interrupt request.
1	0	The falling edge of INT1 generates an interrupt request.
1	1	The rising edge of INT1 generates an interrupt request.

Sumber: Atmel, 2006: 68

GICR digunakan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan interupsi INT0, INT1 dan INT2.

- Bit 7 – INT1 : *External Interrupt Request 1 Enable*  
Jika diset ‘1’ maka interupsi eksternal INT1 aktif, sebaliknya jika diset ‘0’ maka interupsi eksternal INT1 non-aktif.
- Bit 6 – INT0 : *External Interrupt Request 0 Enable*  
Jika diset ‘1’ maka interupsi eksternal INT0 aktif, sebaliknya jika diset ‘0’ maka interupsi eksternal INT0 non-aktif.
- Bit 5 – INT2 : *External Interrupt Request 2 Enable*  
Jika diset ‘1’ maka interupsi eksternal INT2 aktif, sebaliknya jika diset ‘0’ maka interupsi eksternal INT2 non-aktif.

Gambar 2.16 menunjukkan *General Interrupt Control Register*.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	INT1	INT0	INT2	-	-	-	IVSEL	IVCE	GICR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Gambar 2.16** Gambar *General Interrupt Control Register* (GICR)  
**Sumber:** Atmel, 2006: 49

**2.6.2 Timer/Counter**

ATMega8535 memiliki 3 modul *timer* yang terdiri dari 2 buah *timer/counter* 8 bit dan 1 buah *timer/counter* 16 bit. Ketiga modul *timer/counter* ini dapat diatur dalam mode yang berbeda secara individu dan tidak saling mempengaruhi satu sama lain. Selain itu semua *timer/counter* juga dapat difungsikan sebagai sumber interupsi.

*Timer/counter* 2 merupakan modul *timer/counter* 8-bit yang dapat berfungsi sebagai pencacah tunggal, pembangkit PWM 8-bit, pembangkit frekuensi, pencacah event eksternal, pembangkit interupsi *overflow* dan pembangkit interupsi *output compare match*. Pengaturan mode kerja *timer/counter* 2 dilakukan dengan menggunakan register TCCR2, TCNT2 dan OCR2 serta TIMSK dan TIFR.

Bit 6 (TOIE2) pada register TIMSK digunakan untuk mengaktifkan interupsi *overflow timer/counter* 2. Untuk mengaktifkannya, maka TOIE2 diberi nilai 1. Bit 0 (TOV2) pada register TIFR merupakan bit yang digunakan untuk mengetahui apakah terjadi permintaan interupsi *overflow timer/counter* 2 atau tidak. Bila bernilai 1 maka terdapat permintaan interupsi dan jika interupsi diaktifkan maka program melompat ke alamat interupsi yang sesuai.

Pada register TCCR2 bit 6 (WGM20) dan bit 3 (WGM21) bersama-sama digunakan untuk menentukan mode pembangkitan runtun *timer/counter* 2. Mode pembangkitan runtun *timer/counter* 2 ditunjukkan dalam Tabel 2.4. Bit 5 (COM21) dan bit 4 (COM20) bersama-sama digunakan untuk mengatur pola keluaran pin OC2. Pada mode normal kedua bit diberi nilai 0. Untuk mengatur skala sumber *clock* yang akan digunakan oleh *timer/counter* 2, dilakukan dengan mengatur bit CS22, CS21 dan CS20. Pengaturan skala *clock* ditunjukkan dalam Tabel 2.5.

**Tabel 2.4** Mode *Timer/Counter 2*

Mode	WGM21 (CTC2)	WGM20 (PWM2)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR2	TOV2 Flag Set on
0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	1	0	CTC	OCR2	Immediate	MAX
3	1	1	Fast PWM	0xFF	BOTTOM	MAX

Sumber: Atmel, 2006: 129

**Tabel 2.5** Skala *Clock Timer/Counter 2*

CS22	CS21	CS20	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	$clk_{T2S}/(No\ prescaling)$
0	1	0	$clk_{T2S}/8$ (From prescaler)
0	1	1	$clk_{T2S}/32$ (From prescaler)
1	0	0	$clk_{T2S}/64$ (From prescaler)
1	0	1	$clk_{T2S}/128$ (From prescaler)
1	1	0	$clk_{T2S}/256$ (From prescaler)
1	1	1	$clk_{T2S}/1024$ (From prescaler)

Sumber: Atmel, 2006: 130

Register TCNT2 berfungsi untuk menyimpan data cacahan *timer/counter 2*. Karena ukuran register TCNT2 hanya 8-bit maka hanya dapat melakukan cacahan dari 0x00 – 0xFF atau 0 – 255.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan dan penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini didasarkan pada metode studi literatur, penentuan spesifikasi alat, perancangan serta pembuatan alat, dan pengujian alat serta analisis. Langkah-langkah yang akan dilakukan untuk merealisasikan alat ini antara lain adalah:

#### 3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Sinyal audio dari senar gitar berada dalam rentang frekuensi 60-350 Hz.
2. Penguat tegangan yang digunakan adalah penguat tegangan tak membalik.
3. Filter yang digunakan adalah filter bandpass dengan topologi *multiple feedback*.
4. Rangkaian transistor sebagai saklar digunakan untuk mengubah gelombang sinusoida menjadi gelombang kotak.
5. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AVR ATmega 8535 sebagai pengendali sistem.
6. Osilator sebagai pembangkit frekuensi menggunakan XR-2206.
7. Tampilan alat menggunakan 4 buah LED, yang masing-masing adalah sebuah LED pengindikasi kondisi saklar salah, sebuah LED pengindikasi kondisi frekuensi tepat, sebuah LED pengindikasi kondisi frekuensi kurang, dan sebuah LED pengindikasi kondisi frekuensi lebih.

#### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengacu pada spesifikasi alat yang dirancang dan dasar teori pendukung yang diperlukan guna merealisasikan alat. Studi literatur yang dilakukan meliputi studi mengenai:

1. Teori dasar mengenai gitar akustik yang meliputi gelombang bunyi, panjang gelombang serta frekuensi pada gitar akustik.
2. Teori dasar mengenai penguat operasional sebagai penguat tak membalik.
3. Teori dasar mengenai filter bandpass topologi *multiple feedback*.
4. Teori dasar mengenai rangkaian transistor sebagai saklar.
5. Teori dasar mengenai mikrokontroler AVR ATmega 8535.
6. Teori dasar mengenai osilator pembangkit frekuensi XR-2206.

### 3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat

Proses perancangan dan pembuatan alat adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan blok diagram alat
2. Perencanaan rangkaian tiap-tiap blok dan perhitungan hingga terbentuk skematik rangkaian

Perhitungan komponen-komponen yang digunakan dalam rangkaian dilakukan dengan mengacu pada dasar teori yang diperoleh dari literatur dan *datasheet* komponen.

3. Pembuatan perangkat keras

Pembuatan perangkat keras didahului dengan pembuatan PCB (*layout*, pengetsaan, dan pengeboran), kemudian dilanjutkan dengan perakitan dan penyolderan pada PCB. Perakitan ini dilakukan secara per blok sistem terlebih dahulu, yang meliputi perakitan:

- rangkaian sensor dan penguat tegangan
- rangkaian filter bandpass
- rangkaian transistor sebagai saklar
- rangkaian mikrokontroler, saklar pemilih dan tampilan
- rangkaian osilator

4. Pembuatan perangkat lunak

Pembuatan perangkat lunak diawali dengan pembuatan diagram alir terlebih dahulu yang kemudian dilanjutkan dengan pembuatan program untuk mikrokontroler AVR ATmega 8535 dengan menggunakan bahasa C.

### 3.4 Pengujian Alat dan Analisis

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat memberikan hasil sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan. Bentuk pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian perangkat keras

Pengujian alat dilakukan pada masing-masing bagian sesuai blok diagram alat. Pengujian ini bertujuan untuk menguji apakah tiap-tiap blok sistem telah sesuai dengan spesifikasi sistem yang direncanakan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian:

- rangkaian penguat tegangan

Pengujian rangkaian ini dilakukan dengan memberikan tegangan tertentu yang sudah ditentukan besarnya pada masukannya dan kemudian mengukur tegangan keluarannya apakah penguatannya sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan serta melihat bentuk gelombang keluarannya pada osiloskop.

- rangkaian filter bandpass

Pengujian rangkaian ini dilakukan dengan memberikan tegangan dengan beberapa nilai frekuensi pada masukannya dan kemudian melihat tegangan keluarannya apakah frekuensi yang diloloskan telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

- rangkaian transistor sebagai saklar

Pengujian rangkaian ini dilakukan dengan memberikan tegangan sinusoida dengan frekuensi dan amplitudo tertentu pada masukannya dan kemudian melihat bentuk gelombang keluarannya pada osiloskop apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.

- rangkaian osilator

Pengujian rangkaian ini dilakukan dengan mengukur besar frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian apakah telah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

2. Pengujian perangkat lunak

Pengujian perangkat lunak bertujuan untuk mengetahui apakah perangkat lunak tersebut dapat mengolah data serta mengontrol sistem sesuai dengan perancangan yang telah dibuat.

3. Pengujian keseluruhan sistem

Pengujian ini dilakukan dengan merangkai seluruh blok bagian sistem, kemudian melakukan uji coba dengan menggunakan sebuah gitar. Hasil pengujian dengan menggunakan alat penala gitar yang dibuat dibandingkan dengan hasil pengujian dengan menggunakan alat penala buatan industri sehingga dapat diketahui apakah alat telah bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

### 3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Setelah mendapatkan hasil analisis dari pengujian alat, maka langkah berikutnya yang dilakukan adalah pengambilan kesimpulan dan pemberian saran. Penarikan

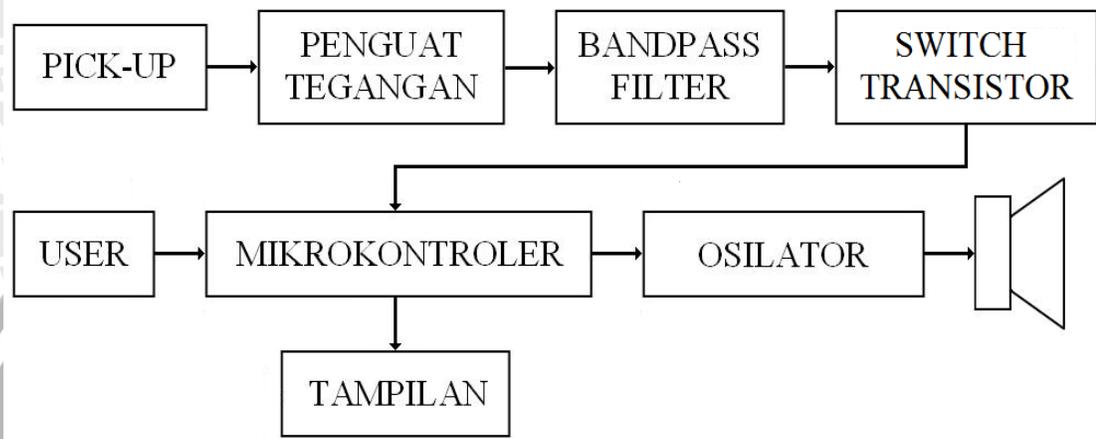
kesimpulan dilakukan berdasarkan kesesuaian antara perancangan dan hasil pengujian. Sedangkan saran bertujuan untuk pengembangan alat lebih lanjut dan untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan yang terjadi dalam penelitian yang telah dilakukan.



## BAB IV PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

### 4.1 Perencanaan Sistem

Blok diagram sistem yang direncanakan dapat dilihat dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem

Fungsi masing-masing blok adalah sebagai berikut:

- Sensor berupa *accoustic guitar pick-up* yang menerima masukan berupa gelombang bunyi hasil dari senar gitar yang dipetik, yang kemudian mengubahnya menjadi sinyal elektrik.
- Penguat tegangan berupa penguat tak membalik berfungsi untuk memperbesar amplitudo sinyal keluaran *pick-up* yang masih lemah.
- Filter bandpass berfungsi untuk meloloskan frekuensi tertentu dan membuang frekuensi yang tidak diperlukan.
- Rangkaian transistor sebagai saklar berfungsi untuk mengubah keluaran filter bandpass yang berupa gelombang sinusoida menjadi gelombang kotak.
- Mikrokontroler berfungsi sebagai pengolah data.
- Tampilan yang berupa LED berfungsi sebagai indikasi yang menandakan bahwa saklar salah, frekuensi nada senar gitar yang ditala sudah tepat, terlalu tinggi, atau terlalu rendah.
- Osilator berfungsi sebagai pembangkit frekuensi standar sebagai acuan bagi *user* yang dihubungkan dengan *speaker*.

Cara kerja alat penala gitar ini adalah:

- Pada saat pengguna (*user*) ingin menala senar gitar, misalnya senar nomor satu, *user* harus memosisikan saklar nomor satu dalam keadaan aktif. Setelah saklar nomor satu aktif, osilator yang telah dihubungkan dengan *speaker* menghasilkan bunyi dengan frekuensi yang telah ditentukan selama 2 detik.
- Saklar yang diperbolehkan aktif hanya satu buah. Apabila ada lebih dari satu buah saklar yang aktif, atau tidak ada saklar yang aktif, maka akan terdapat indikasi salah berupa LED yang menyala.
- Saat *user* memetik senar nomor satu, gelombang bunyi yang dihasilkan ditangkap oleh sensor yang berupa *acoustic guitar pick-up* yang kemudian akan mengubahnya menjadi sinyal elektrik.
- Sinyal elektrik ini masih terlalu lemah untuk diolah, sehingga perlu dikuatkan dengan menggunakan penguat tegangan.
- Sinyal yang telah diperkuat ini dilewatkan filter bandpass untuk membuang sinyal-sinyal dengan frekuensi yang tidak diinginkan.
- Sinyal keluaran filter bandpass ini masih berupa gelombang sinusoida, sehingga perlu diubah menjadi gelombang kotak agar dapat diolah oleh mikrokontroler. Dalam hal ini digunakan rangkaian transistor sebagai saklar.
- Keluaran dari rangkaian transistor sebagai saklar yang sudah berupa gelombang kotak tersebut diolah dengan menggunakan mikrokontroler. Dalam hal ini, mikrokontroler akan menghitung periode gelombang yang masuk, sehingga diketahui besar frekuensinya. Selanjutnya data frekuensi tersebut dibandingkan dengan data standar yang diinginkan.
- Jika data masukan sama dengan data standar yang ditetapkan, maka frekuensi senar gitar sudah tepat. Jika data masukan tidak sama dengan data standar yang ditetapkan berarti frekuensi senar gitar belum tepat. Apakah frekuensi yang diperiksa sudah tepat, terlalu tinggi, atau terlalu rendah akan ditunjukkan melalui tampilan yang berupa LED.

#### 4.2 Spesifikasi Alat

Sebelum merencanakan dan membuat alat, hal yang perlu diperhatikan adalah penentuan spesifikasi alat yang akan dibuat. Adapun spesifikasi alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

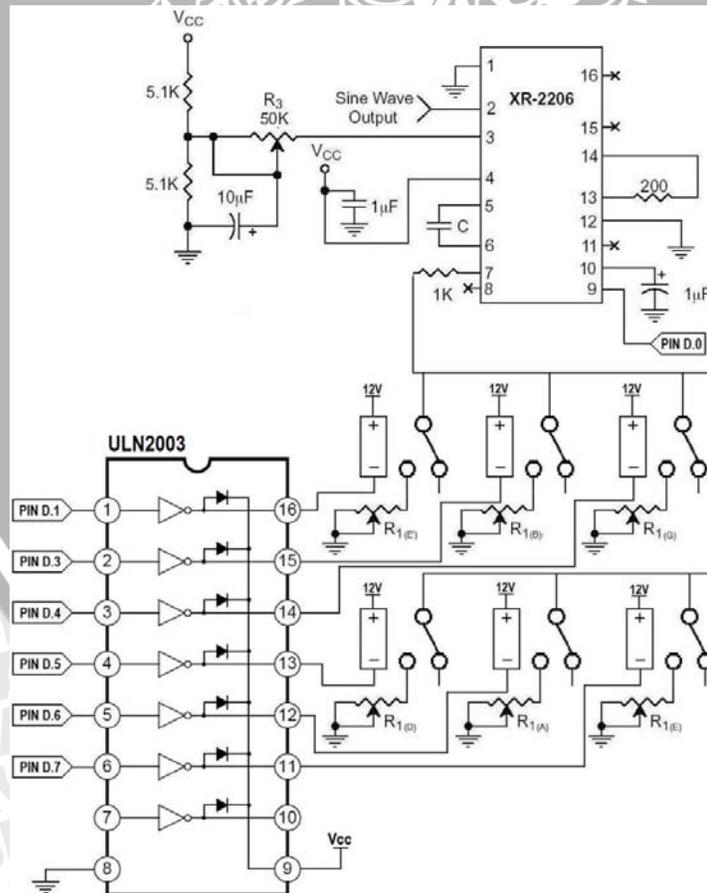
1. Sinyal audio dari senar gitar berada dalam rentang frekuensi 60-350 Hz.

2. Penguat tegangan yang digunakan adalah penguat tegangan tak membalik.
3. Filter yang digunakan adalah filter bandpass dengan topologi *multiple feedback*.
4. Rangkaian transistor sebagai saklar digunakan untuk mengubah gelombang sinusoida menjadi gelombang kotak.
5. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AVR ATmega 8535 sebagai pengendali sistem.
6. Osilator sebagai pembangkit frekuensi menggunakan XR-2206.
7. Tampilan alat menggunakan 4 buah LED, yang masing-masing adalah sebuah LED pengindikasi kondisi saklar salah, sebuah LED pengindikasi kondisi frekuensi tepat, sebuah LED pengindikasi kondisi frekuensi kurang, dan sebuah LED pengindikasi kondisi frekuensi lebih.

### 4.3 Perencanaan Perangkat Keras (*Hardware*)

#### 4.3.1 Rangkaian Osilator

Gambar 4.2 menunjukkan rangkaian osilator yang digunakan sebagai pembangkit frekuensi acuan pada alat penala gitar yang dibuat.



Gambar 4.2 Rangkaian Osilator XR-2206

Sesuai dengan *datasheet* XR-2206, frekuensi osilasi yang dihasilkan ( $f_o$ ) ditentukan oleh nilai kapasitor (C) yang menghubungkan pin 5 dan 6 serta nilai resistor (R) yang dapat dihubungkan dengan pin 7 atau pin 8. Frekuensi yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$f_o = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

serta dapat diatur dengan mengubah-ubah nilai kapasitor (C) dan nilai resistor (R).

Untuk mempermudah perhitungan, dalam skripsi ini hanya nilai R saja yang diubah-ubah, sedangkan nilai C dibuat tetap. Nilai kapasitor yang digunakan adalah sebesar 470nF karena sesuai dengan *datasheet*, untuk mencapai kestabilan temperatur, rentang nilai resistor yang baik digunakan adalah  $4\text{k}\Omega < R < 200\text{k}\Omega$ .

Sebagai acuan senar gitar nomor 1 (senar E) dibutuhkan frekuensi sebesar 329,628 Hz, sehingga nilai R yang dibutuhkan adalah:

$$R = \frac{1}{f_o C} = \frac{1}{329,628 \times 470 \times 10^{-9}} = 6,454 \text{ k}\Omega$$

Tabel 4.1 menunjukkan frekuensi standar masing-masing senar gitar dengan nilai resistor yang dibutuhkan.

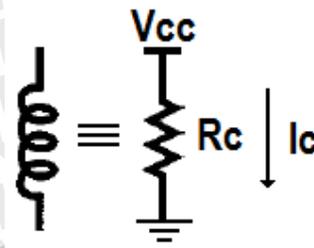
**Tabel 4.1** Tabel Nilai Resistor R yang Dibutuhkan dalam Rangkaian Osilator

Senar	Frekuensi (Hz)	Nilai R (k $\Omega$ )
1 (E)	329,628	6,454
2 (B)	246,942	8,616
3 (G)	195,998	10,856
4 (D)	146,832	14,49
5 (A)	110,000	19,342
6 (E)	82,4069	25,819

Resistor  $R_3$  digunakan untuk mengatur besar amplitudo sinyal yang dihasilkan. Sesuai *datasheet*, jika digunakan  $R_3$  dengan nilai 50k $\Omega$ , maka besar amplitudo yang dihasilkan adalah 3V.

Pada rangkaian osilator ini digunakan relay 12 volt untuk memilih resistor yang digunakan. Dalam Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada saat relay aktif, koil relay bersifat seperti hambatan. Dengan besar hambatan koil sebesar 700 $\Omega$  yang diperoleh dari *datasheet* dan  $V_{CC}$  sebesar 12 V maka arus relay dapat dihitung:

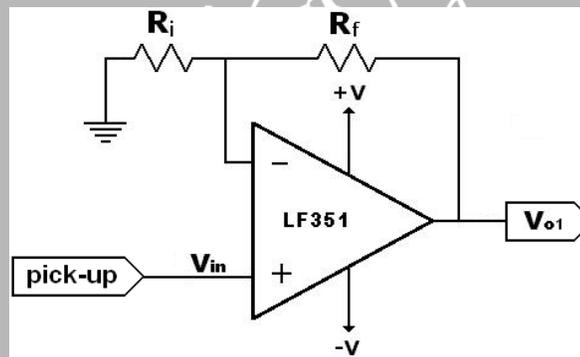
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12}{700} = 17,1 \text{ mA}$$



Gambar 4.3 Koil Relay pada Saat Aktif Ekuivalen dengan Hambatan Koil

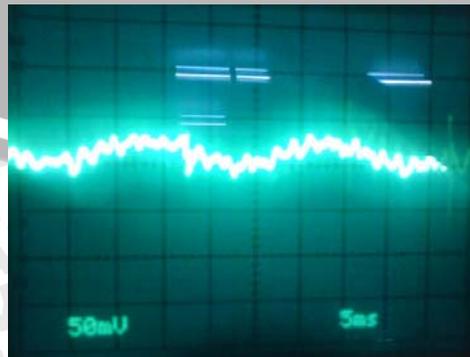
### 4.3.2 Rangkaian Penguat Awal

Gambar 4.4 menunjukkan rangkaian penguat awal yang digunakan untuk memperbesar amplitudo sinyal keluaran *pick-up* gitar akustik sehingga dapat diolah lebih lanjut pada blok berikutnya. Penguat operasional yang digunakan adalah LF351 yang dirangkai sebagai penguat tak membalik.



Gambar 4.4 Rangkaian Penguat Tak Membalik

Penguatan tegangan yang diinginkan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:  $A_{CL} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$ . Besar tegangan keluaran *pick-up* adalah sekitar 10 mV, yang dapat dilihat dalam Gambar 4.5.



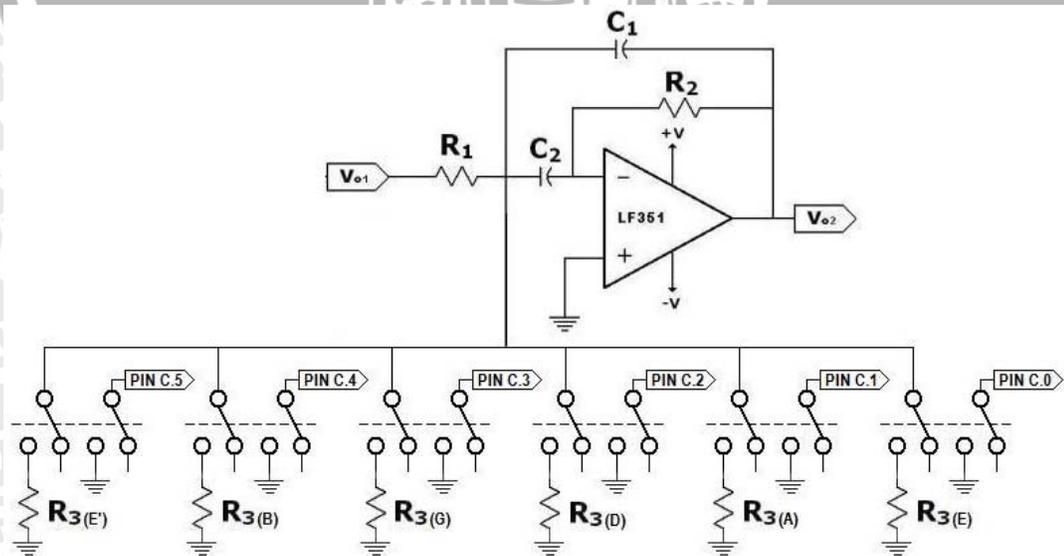
Gambar 4.5 Sinyal Keluaran *pick-up* Dilihat dengan Osiloskop  
V/div 50 mV/div dan T/div 5ms/div

Agar dapat diolah lebih lanjut, maka tegangan keluaran *pick-up* ini perlu dikuatkan. Oleh karena itu dipilih penguatan sebesar 100 kali. Jika dipilih nilai resistor  $R_f$  sebesar  $220k\Omega$ , maka nilai resistor  $R_i$  dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_i = \frac{R_f}{A_{CL} - 1} = \frac{220000}{100 - 1} = 2.222k\Omega \approx 2.2k\Omega$$

### 4.3.3 Rangkaian Filter Bandpass

Gitar akustik selain membangkitkan nada dasar, juga membangkitkan harmonisa-harmonisa yang frekuensinya lebih tinggi daripada nada dasarnya. Agar dapat diolah lebih lanjut, frekuensi-frekuensi harmonisnya perlu dibuang. Untuk keperluan ini maka dipakai rangkaian filter. Filter yang digunakan dalam skripsi ini adalah filter aktif karena filter aktif memiliki impedansi masukan tinggi dan impedansi keluaran rendah. Filter aktif mempunyai penguatan lebih besar atau sama dengan satu pada keluarannya, sedangkan keluaran filter pasif tidak mempunyai penguatan. Selain itu filter aktif lebih mudah didesain jika dibandingkan dengan filter pasif dan filter aktif tidak membutuhkan komponen induktor, sehingga dapat meminimalisasi permasalahan yang ditimbulkan oleh komponen tersebut. Tipe filter yang digunakan adalah filter aktif bandpass. Rangkaian filter bandpass yang digunakan dalam skripsi ini dapat dilihat dalam Gambar 4.6. Filter bandpass ini menggunakan topologi *multiple feedback* karena  $Q$ ,  $A_m$ , dan  $f_m$  dapat diatur secara independen.



Gambar 4.6 Rangkaian Filter Bandpass dengan Topologi *Multiple Feedback*

Dalam merancang nilai-nilai komponen filter bandpass, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Dipilih harga penguatan pada frekuensi tengah ( $A_m$ ) = 5
- Dipilih harga *bandwidth* ( $B_w$ ) = 30 Hz. Hal ini dilakukan karena frekuensi harmonisa terendah adalah dua kali frekuensi nada dasarnya, sedangkan frekuensi nada senar gitar terendah adalah 82,4069 Hz. Untuk frekuensi tengah filter bandpass disesuaikan dengan standar frekuensi tiap-tiap senar gitar, yaitu:
  - Senar 1 mempunyai  $f_o = 329,628$  Hz
  - Senar 2 mempunyai  $f_o = 246,942$  Hz
  - Senar 3 mempunyai  $f_o = 195,998$  Hz
  - Senar 4 mempunyai  $f_o = 146,832$  Hz
  - Senar 5 mempunyai  $f_o = 110,000$  Hz
  - Senar 6 mempunyai  $f_o = 82,4069$  Hz
- Dipilih harga kapasitor  $C_1 = C_2 = 100\text{nF}$
- Misalnya filter bandpass untuk senar nomor 1 dengan frekuensi 329,628Hz, maka faktor mutunya ( $Q$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{f_m}{B_w} = \frac{329,628}{30} = 10,9876$$

- Harga  $R_2$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_2 = \frac{Q}{\pi f_m C} = \frac{10,9876}{\pi \times 329,628 \times 100 \times 10^{-9}} = 106\text{k}\Omega \approx 100\text{k}\Omega$$

Harga  $R_2$  diubah menjadi 100k $\Omega$  karena disesuaikan dengan nilai resistor yang dijual di pasaran. Dengan demikian nilai faktor mutunya juga berubah menjadi:

$$Q = \pi f_m R_2 C = \pi \times 329,628 \times 100 \times 10^{-9} = 10,356$$

- Harga  $R_1$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_1 = -\frac{R_2}{2A_m} = -\frac{100\text{k}}{2(-5)} = 10\text{k}\Omega$$

- Harga  $R_3$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_3 = -\frac{A_m R_1}{2Q^2 + A_m} = -\frac{(-5) \times 10\text{k}}{2(10,356)^2 + (-5)} = 238,69\Omega$$

Nilai  $R_3$  ini dapat diperoleh dengan memparalelkan 2 buah resistor dengan nilai 270 $\Omega$  dan 2,2k $\Omega$ , sehingga nilai  $R_3$ -nya menjadi:

$$R_3 = \frac{270 \times 2,2k}{270 + 2,2k} = 240,486\Omega$$

Dari perhitungan di atas, harga  $R_3$  untuk senar-senar yang lain dapat dihitung beserta harga faktor mutunya. Tabel 4.2 menunjukkan nilai-nilai  $R_3$  yang digunakan.

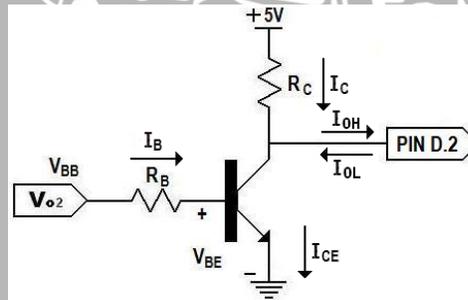
**Tabel 4.2** Tabel Nilai Resistor  $R_3$ , Beserta Nilai Pendekatannya dan Faktor Mutu Filter Bandpass

Senar	Frekuensi Tengah	Nilai $R_3$	Nilai Pendekatan $R_3$	Faktor Mutu
1 (E)	329,628 Hz	238,69 $\Omega$	270 $\Omega$ // 2,2 k $\Omega$	10,356
2 (B)	246,942 Hz	433,39 $\Omega$	560 $\Omega$ // 2,2 k $\Omega$ // 12 k $\Omega$	7,758
3 (G)	195,998 Hz	705,93 $\Omega$	1,5 k $\Omega$ // 1,5 k $\Omega$ // 12 k $\Omega$	6,157
4 (D)	146,832 Hz	1331,31 $\Omega$	1,5 k $\Omega$ // 12 k $\Omega$	4,613
5 (A)	110,000 Hz	2647,68 $\Omega$	6,8 k $\Omega$ // 6,8 k $\Omega$ // 12 k $\Omega$	3,456
6 (E)	82,4069 Hz	5949,06 $\Omega$	12 k $\Omega$ // 12 k $\Omega$	2,589

#### 4.3.4 Rangkaian Transistor sebagai Saklar

Sinyal keluaran dari filter bandpass masih berupa gelombang sinusoida. Agar dapat diolah lebih lanjut oleh mikrokontroler, maka sinyal tersebut harus diubah menjadi gelombang kotak. Dalam hal ini digunakan rangkaian transistor sebagai saklar.

Gambar rangkaian transistor sebagai saklar dapat dilihat dalam Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Rangkaian Transistor Sebagai Saklar

Untuk keadaan paling jelek dari temperatur dan arus, hampir semua transistor silikon sinyal kecil mempunyai  $\beta_{dc}$  lebih besar daripada 10. Oleh karena itu, untuk menjamin keadaan saturasi untuk semua transistor, arus, temperatur dan sebagainya, maka digunakan aturan 10:1 untuk merancang rangkaian transistor sebagai saklar dalam rangkaian alat skripsi ini.

Transistor yang digunakan dalam perancangan ini adalah transistor C9014. Sesuai *datasheet*, besar arus yang mengalir dari kaki kolektor menuju kaki emitor pada

saat tegangan kolektor-emitor saturasi ( $V_{CE(sat)}$ ) adalah maksimum 100 mV. Sedangkan arus yang diperlukan mikrokontroler untuk logika rendah dan tinggi adalah sebesar  $\pm 40$  mA. Besar arus yang melalui  $R_C$  dapat dihitung:

$$I_{CE} = I_C \pm I_{OL}$$

$$100 \text{ mV} = I_C \pm 40 \text{ mA}$$

$$I_C = 60 \text{ mA} \text{ v } 140 \text{ mA}$$

Arus yang melalui resistor  $R_C$  tidak boleh lebih daripada 60 mA. Karena arus yang diperlukan mikrokontroler pada saat logika tinggi adalah 40 mA, maka  $I_C$  ditetapkan 60 mA. Oleh karena itu besar hambatan  $R_C$  dapat dihitung:

$$R_C = V_{CC}/I_C = 5\text{V}/60\text{mA} = 83,33\Omega \approx 100\Omega$$

Jika menggunakan aturan 10:1, maka  $I_C:I_B = 10:1$ . Besar tegangan masukan rangkaian adalah maksimal 5 V, sehingga:

$$I_C:I_B = 10$$

$$\frac{5}{R_C} : \frac{12}{R_B} = 10$$

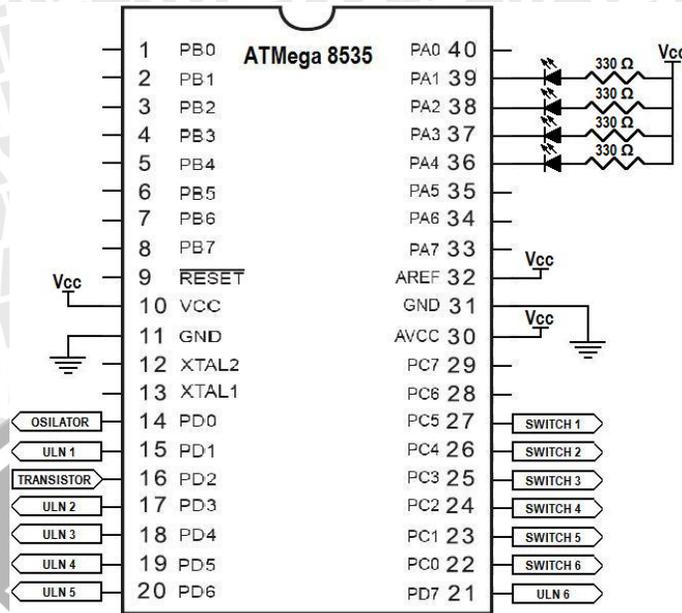
$$R_B = 24 R_C = 24 \times 100\Omega = 2400\Omega \approx 2700\Omega$$

#### 4.3.5 Mikrokontroler

Dalam perancangan alat ini digunakan mikrokontroler AVR ATmega 8535 karena mikrokontroler ini memiliki kecepatan eksekusi program yang cukup cepat karena hampir semua instruksi dilakukan hanya dalam satu atau dua siklus *clock*. Selain itu, mikrokontroler ini juga memiliki efisiensi eksekusi yang baik untuk kode program hasil kompilasi C. Mikrokontroler ini juga mempunyai jumlah pin I/O yang cukup untuk perancangan alat ini. Berikut ini adalah pin-pin yang akan digunakan sebagai masukan dan keluaran:

1. Port A.1..A.4 sebagai keluaran yang mengaktifkan LED
2. Port C.0..C.5 sebagai masukan melalui saklar
3. Port D.0 sebagai keluaran yang memicu kerja osilator
4. Port D.1, D.3..D.7 sebagai keluaran yang mengaktifkan *relay* melalui IC ULN2003

Gambar rangkaian mikrokontroler dapat dilihat dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Rangkaian Mikrokontroler

#### 4.4 Perancangan Perangkat Lunak

Untuk mengetahui besar frekuensi nada yang dihasilkan oleh senar gitar yang dipetik, maka dalam perencanaan alat ini berdasarkan pada perhitungan periode yang diperlukan untuk menghasilkan sebuah gelombang kotak. Dalam hal ini digunakan fitur *interrupt* dan *timer* yang ada pada mikrokontroler AVR ATmega 8535.

Sumber interupsi yang digunakan adalah sumber interupsi eksternal INT0 dengan menggunakan pemacu ketika ada perubahan level transisi turun (*falling edge*). Pengaturan untuk mengaktifkan *interrupt* yang digunakan dan pemacu interupsi dapat dilakukan melalui register MCUCR dan GICR. *Timer* yang digunakan adalah *timer/counter 2*. Pengaturan mode kerja *timer/counter 2* dapat dilakukan dengan menggunakan register TCCR2, TCNT2, TIMSK, dan TIFR. Pada saat ada perubahan level transisi turun pada gelombang masukan, maka *interrupt 0* akan mengaktifkan *timer*. *Timer* akan terus mencacah hingga terdapat perubahan level transisi turun kembali pada gelombang masukan.

Skala interval *clock* yang dipilih adalah 8. Jadi nilai register TCNT2 akan naik setiap terjadi 8 *clock* kristal. Jika digunakan kristal dengan frekuensi 4 MHz maka satu *clock* terjadi setiap 0,25  $\mu$ s. Sehingga isi register TCNT2 akan naik setiap  $8 * 0,25 \mu$ s = 2  $\mu$ s. Secara umum, interval waktu *timer* yang dihasilkan dirumuskan:

$$T_{timer2} = T_{osc} * (256 - TCNT2) * N$$

Agar interupsi *timer 2* terjadi setiap interval waktu 100  $\mu$ s, maka:

$$100\mu s = 0,25\mu s * x * 8$$

$$TCNT2 = 206$$

Karena 255 sama dengan -1, 254 sama dengan -2, dst. maka 206 sama dengan -50, sehingga register TCNT2 diberi nilai -50.

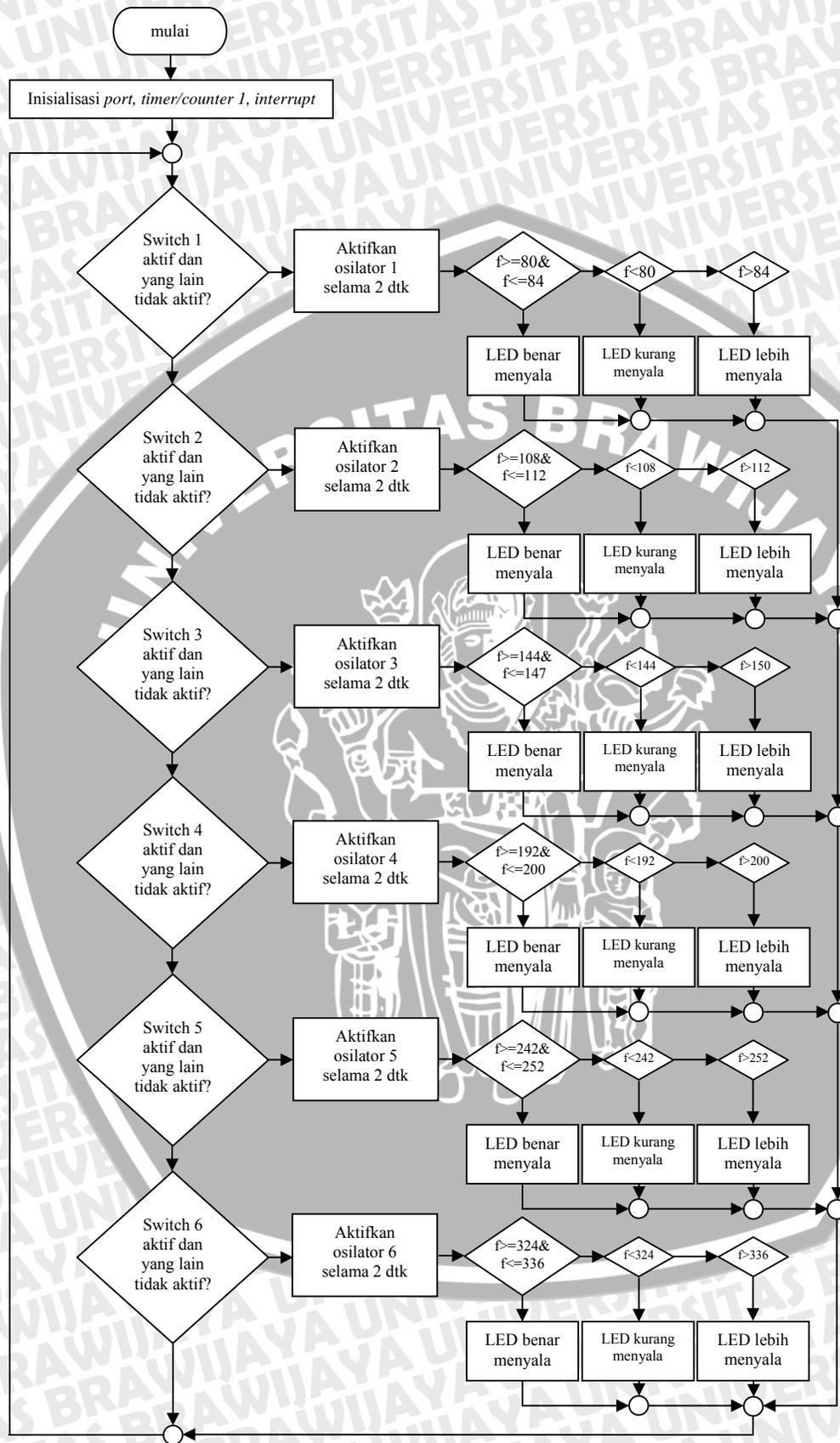
Pada saat ada gelombang kotak yang masuk ke pin mikrokontroler, dan terdapat perubahan level transisi turun pada gelombang tersebut, maka *timer/counter* 2 segera diaktifkan sebagai pewaktu 8-bit. Pada saat terdeteksi ada perubahan level transisi turun berikutnya, *timer/counter* 2 segera dinonaktifkan. Dari proses ini, maka diperoleh jumlah luapan (*overflow*) yang terjadi selama *timer* aktif. Karena luapan terjadi setiap 100  $\mu$ s, maka frekuensi gelombang dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$f = \frac{1}{N * 100\mu s} = \frac{10000}{N}$$

Setelah frekuensi gelombang yang terukur diketahui, maka frekuensi tersebut diperiksa apakah frekuensi itu masuk dalam *range* frekuensi standar, lebih besar atau lebih kecil daripada *range* frekuensi yang ditentukan. Dalam kasus ini *range* frekuensi diatur sebesar 2% dari frekuensi standar. Jika frekuensi sudah berada dalam *range* frekuensi yang ditentukan, maka tampilan LED 'tepat' akan menyala. Jika frekuensi lebih besar, tampilan LED 'lebih' menyala, dan jika frekuensi lebih kecil, tampilan LED 'kurang' yang menyala. Tabel 4.3 menunjukkan *range* frekuensi setiap senar gitar dengan toleransi 2. Diagram alir dari perangkat lunak alat penala nada bersuara ini ditunjukkan dalam Gambar 4.9.

**Tabel 4.3** Range Frekuensi Standar dengan Toleransi 2%

Senar	Frekuensi Tengah	Batas atas	Batas bawah
1 (E)	329,628 Hz	336 Hz	324 Hz
2 (B)	246,942 Hz	252 Hz	242 Hz
3 (G)	195,998 Hz	200 Hz	192 Hz
4 (D)	146,832 Hz	150 Hz	144 Hz
5 (A)	110,000 Hz	112 Hz	108 Hz
6 (E)	82,4069 Hz	84 Hz	80 Hz



Gambar 4.9 Diagram Alir Perangkat Lunak Alat Penala Gitar yang Dilengkapi dengan Osilator Pembangkit Frekuensi

## BAB V

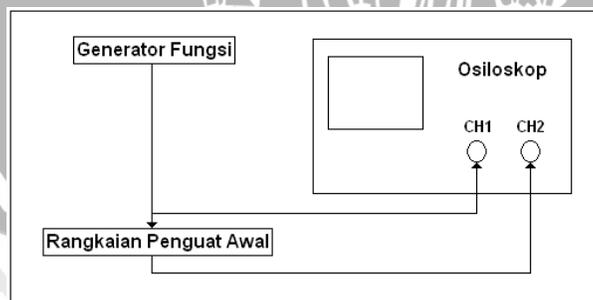
### PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat memberikan hasil yang sesuai dengan yang direncanakan, maka dilakukan pengujian dan analisis data terhadap alat tersebut. Pengujian dilakukan terhadap masing-masing blok terlebih dahulu untuk mengetahui apakah masing-masing blok rangkaian bekerja sesuai dengan perencanaan. Setelah dilakukan pengujian pada tiap-tiap blok, kemudian dilakukan pengujian terhadap keseluruhan sistem. Bentuk pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian rangkaian penguat awal
2. Pengujian rangkaian filter bandpass
3. Pengujian rangkaian transistor sebagai saklar
4. Pengujian rangkaian osilator
5. Pengujian rangkaian secara keseluruhan

#### 5.1 Pengujian Rangkaian Penguat Awal

Pengujian rangkaian penguat awal dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah hasil keluaran rangkaian penguat awal ini telah sesuai dengan besar penguatan yang telah dirancang, yaitu sebesar 100 kali. Peralatan yang digunakan dalam pengujian rangkaian penguat awal ini antara lain adalah: Osiloskop GOS 6010, DC *Tracking Stabilizer* 725 38, *Function Generator* 200KHz 725 51 dan Voltmeter. Blok diagram rangkaian pengujian penguat awal ini dapat dilihat dalam Gambar 5.1.



**Gambar 5.1** Blok Diagram Rangkaian Pengujian Penguat Awal

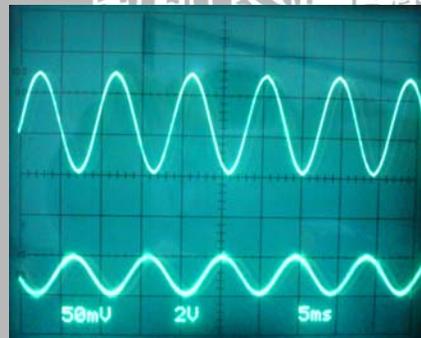
Prosedur pengujian yang dilakukan adalah dimulai dengan mengatur besar frekuensi dan besar amplitudo keluaran generator fungsi ke suatu nilai yang

merepresentasikan gelombang bunyi yang dihasilkan oleh gitar. Dalam pengujian ini digunakan nilai tegangan yang nilainya berkisar dalam orde milivolt. Keluaran generator fungsi dihubungkan dengan masukan rangkaian penguat awal dan dihubungkan dengan kanal 1 osiloskop. Keluaran rangkaian penguat awal dihubungkan dengan kanal 2 osiloskop. Untuk mengamati besar penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian penguat awal maka tegangan keluaran generator fungsi yang menjadi masukan rangkaian penguat awal dinaikkan secara bertahap sehingga besar tegangan keluarannya dapat diukur dengan menggunakan voltmeter.

Hasil pengujian rangkaian penguat awal dapat dilihat dalam Tabel 5.1. Gambar hasil pengujian masukan dan keluaran rangkaian penguat awal pada osiloskop dapat dilihat dalam Gambar 5.2.

**Tabel 5.1** Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Awal

Masukan (milivolt)	Keluaran (volt)		Kesalahan (%)
	Pengukuran	Perhitungan	
8	0,796	0,8	0,5
23	2,287	2,3	0,57
50	4,79	5	4,2
61.2	5,88	6,12	3,92
94.3	8,91	9,43	5,51
100.6	9,15	10,06	9,05
148.2	10,1	14,82	$V_{saturasi}$
242.3	10,75	24,3	$V_{saturasi}$



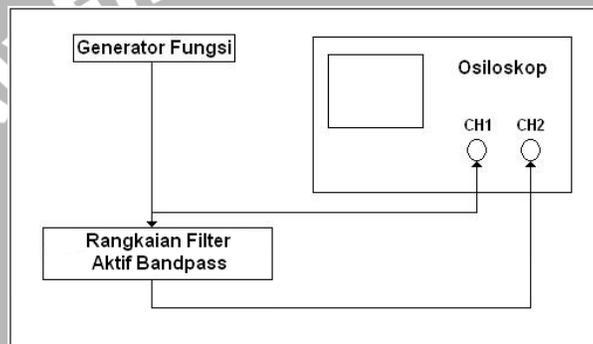
**Gambar 5.2** Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Awal pada Osiloskop masukan (bawah) 50 mV/div, keluaran (atas) 2 V/div & T/div 5 ms/div.

Dari hasil pengujian penguat tak membalik diperoleh besar kesalahan tidak lebih dari 5%, terutama untuk masukan hingga 50 mV. Hal ini menunjukkan bahwa blok

rangkaian penguat awal layak digunakan, karena masukan dari *pick-up* adalah sekitar 10 mV.

## 5.2 Pengujian Rangkaian Filter Bandpass

Pengujian rangkaian filter bandpass ini bertujuan untuk mengetahui apakah filter yang dirancang dapat melewatkan sinyal dengan frekuensi tertentu yang telah ditentukan. Dalam pengujian ini, peralatan yang digunakan antara lain adalah: Osiloskop GOS 6010, DC *Tracking Stabilizer* 725 38, *Function Generator* 200KHz 725 51 dan Voltmeter. Blok diagram rangkaian pengujian filter bandpass dapat dilihat dalam Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Blok Diagram Rangkaian Pengujian Filter bandpass

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah dengan menghubungkan keluaran generator fungsi dengan masukan rangkaian filter bandpass. Keluaran generator fungsi ini juga dihubungkan dengan kanal 1 osiloskop, sedangkan keluaran filter bandpass dihubungkan dengan kanal 2 osiloskop. Besar amplitudo dan frekuensi gelombang keluaran generator fungsi diatur sedemikian rupa sesuai dengan perancangan. Untuk mengamati besar frekuensi yang dilewatkan oleh filter bandpass, maka besar frekuensi gelombang keluaran generator fungsi dinaikkan secara bertahap berkisar pada nilai frekuensi yang telah dirancang.

Hasil pengujian terhadap rangkaian filter bandpass untuk senar gitar nomor 1 hingga nomor 6 serta besar prosentase kesalahan antara hasil pengukuran dan perhitungan dapat dilihat dalam Tabel 5.2 hingga Tabel 5.7. Gambar hasil pengujian masukan dan keluaran rangkaian filter aktif bandpass pada osiloskop dapat dilihat dalam Gambar 5.10. Gambar 5.4 hingga Gambar 5.9 menunjukkan tanggapan frekuensi filter bandpass untuk pengujian serta perhitungan.

**Tabel 5.2** Hasil Pengujian Rangkaian Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 1 dengan Frekuensi Tengah 329.628 Hz

Frekuensi (Hz)	Masukan (volt)	Keluaran (volt)		Kesalahan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
260	0.649	0.808	0.649	24.50
280	0.647	1.327	0.916	44.87
300	0.645	2.490	1.475	68.81
320	0.644	3.073	2.748	11.83
340	0.641	1.713	2.691	36.34
360	0.639	1.297	1.531	15.28
380	0.634	0.780	1.017	23.30

**Tabel 5.3** Hasil Pengujian Rangkaian Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 2 dengan Frekuensi Tengah 246.942 Hz

Frekuensi (Hz)	Masukan (volt)	Keluaran (volt)		Kesalahan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
190	0.658	0.978	0.782	25.06
210	0.657	1.329	1.214	9.47
230	0.655	2.543	2.205	15.33
250	0.651	3.075	3.196	3.79
270	0.648	1.556	1.893	17.80
290	0.645	0.987	1.192	17.20
310	0.643	0.814	0.87	6.44

**Tabel 5.4** Hasil Pengujian Rangkaian Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 3 dengan Frekuensi Tengah 195.998 Hz

Frekuensi (Hz)	Masukan (volt)	Keluaran (volt)		Kesalahan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
130	0.667	0.645	0.633	1.90
150	0.662	1.043	0.950	9.79
170	0.661	1.887	1.636	15.34
190	0.659	3.235	3.078	5.10
210	0.656	2.058	2.495	17.52
230	0.654	1.282	1.473	12.97
250	0.653	0.977	1.024	4.59

**Tabel 5.5** Hasil Pengujian Rangkaian Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 4 dengan Frekuensi Tengah 146.832 Hz

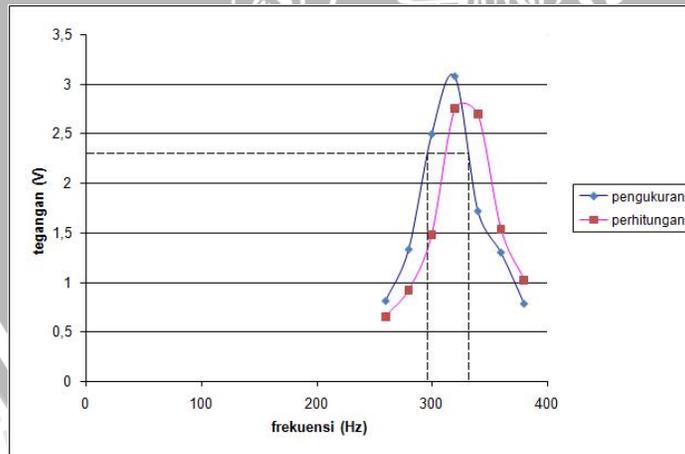
Frekuensi (Hz)	Masukan (volt)	Keluaran (volt)		Kesalahan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
80	0.658	0.555	0.547	1.46
100	0.658	0.866	0.873	0.80
120	0.655	1.484	1.546	4.01
140	0.649	3.206	3.245	1.20
160	0.652	2.303	2.550	9.69
180	0.651	1.437	1.520	5.46
200	0.649	1.107	1.055	4.93

**Tabel 5.6** Hasil Pengujian Rangkaian Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 5 dengan Frekuensi Tengah 110.000 Hz

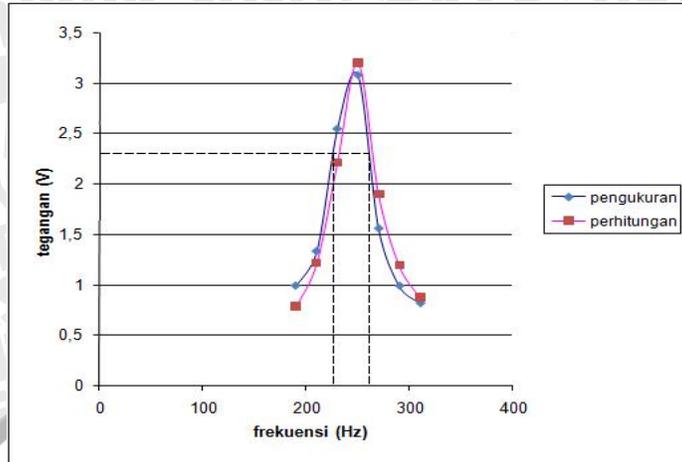
Frekuensi (Hz)	Masukan (volt)	Keluaran (volt)		Kesalahan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
50	0.658	0.484	0.538	10.04
70	0.659	0.861	0.979	12.05
90	0.658	1.937	1.916	1.10
110	0.657	3.248	3.285	1.13
130	0.656	2.225	2.138	4.07
150	0.654	1.248	1.360	8.24
170	0.653	0.956	0.997	4.11

**Tabel 5.7** Hasil Pengujian Rangkaian Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 6 dengan Frekuensi Tengah 82.4069 Hz

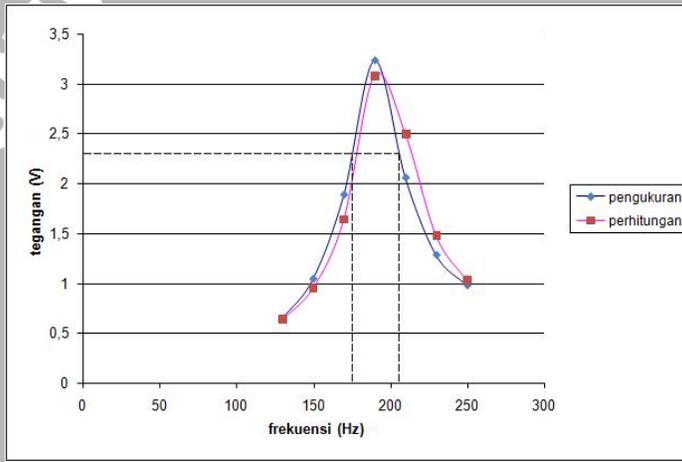
Frekuensi (Hz)	Masukan (volt)	Keluaran (volt)		Kesalahan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
20	0.651	0.264	0.323	18.27
40	0.658	0.797	0.791	0.76
60	0.661	1.755	1.702	3.11
80	0.659	3.282	3.295	0.39
100	0.656	2.347	2.306	1.78
120	0.656	1.494	1.467	1.84
140	0.654	1.073	1.073	0



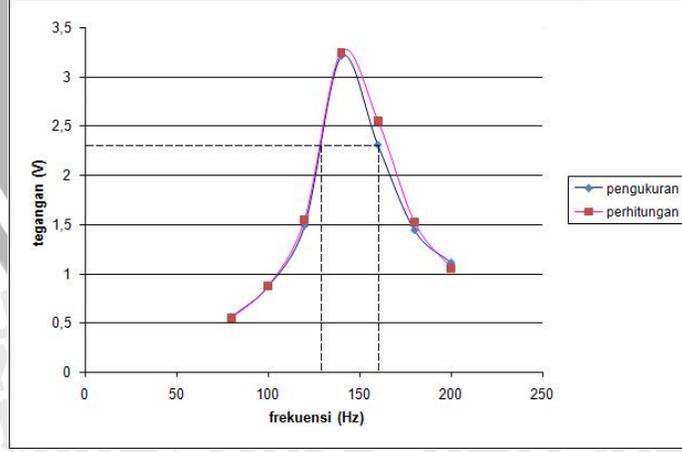
**Gambar 5.4** Tanggapan Frekuensi Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 1 dengan Frekuensi Tengah 329.628 Hz dan Bandwidth 30 Hz



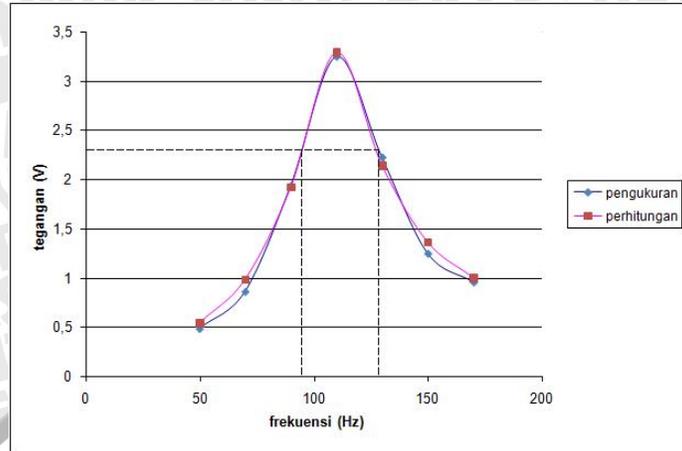
Gambar 5.5 Tanggapan Frekuensi Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 2 dengan Frekuensi Tengah 246,942 Hz dan Bandwidth 30 Hz



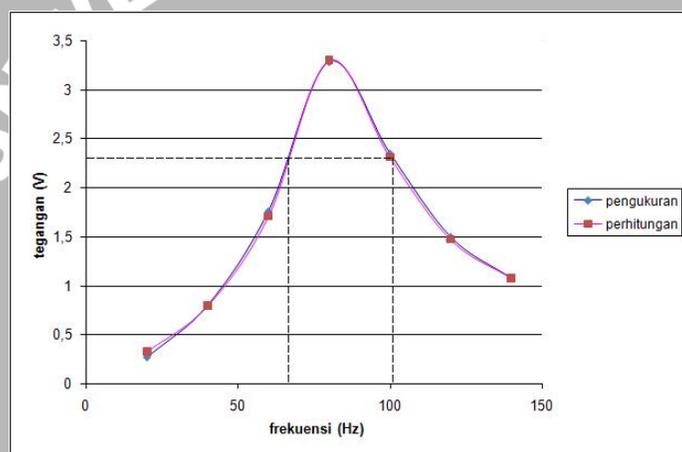
Gambar 5.6 Tanggapan Frekuensi Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 3 dengan Frekuensi Tengah 195,998 Hz dan Bandwidth 30 Hz



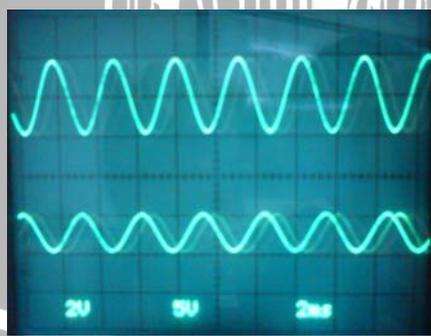
Gambar 5.7 Tanggapan Frekuensi Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 4 dengan Frekuensi Tengah 146,832 Hz dan Bandwidth 30 Hz



**Gambar 5.8** Tanggapan Frekuensi Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 5 dengan Frekuensi Tengah 110 Hz dan Bandwidth 30 Hz



**Gambar 5.9** Tanggapan Frekuensi Filter Bandpass untuk Senar Gitar Nomor 6 dengan Frekuensi Tengah 82,4069 Hz dan Bandwidth 30 Hz

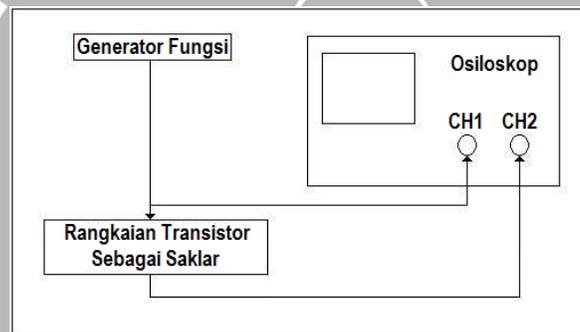


**Gambar 5.10** Hasil Pengujian Rangkaian Filter Bandpass pada Osiloskop masukan (bawah) 2 V/div, keluaran (atas) 5 V/div & T/div 2 ms/div.

Dari hasil pengujian filter bandpass yang dapat dilihat dalam Tabel 5.2 hingga 5.7 dan dalam Gambar 5.4 hingga 5.9 menunjukkan bahwa secara keseluruhan filter bekerja cukup baik dan dapat digunakan pada alat ini.

### 5.3 Pengujian Rangkaian Transistor Sebagai Saklar

Pengujian rangkaian transistor sebagai saklar ini bertujuan untuk melihat apakah keluaran rangkaian transistor sebagai saklar yang telah dirancang dapat mengubah gelombang sinusoida menjadi gelombang kotak. Dalam pengujian ini, peralatan yang digunakan antara lain adalah: Osiloskop GOS 6010, DC *Tracking Stabilizer* 725 38, dan *Function Generator* 200KHz 725 51. Blok diagram pengujian rangkaian transistor sebagai saklar dapat dilihat dalam Gambar 5.11.



**Gambar 5.11** Blok Diagram Rangkaian Pengujian Rangkaian Transistor Sebagai Saklar

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah dengan menghubungkan keluaran generator fungsi dengan masukan rangkaian transistor sebagai saklar. Keluaran generator fungsi ini juga dihubungkan dengan kanal 1 osiloskop, sedangkan keluaran rangkaian transistor sebagai saklar dihubungkan dengan kanal 2 osiloskop. Generator fungsi diatur sedemikian rupa untuk menghasilkan gelombang yang berbentuk sinusoida. Untuk melihat apakah bentuk gelombang keluaran rangkaian transistor sebagai saklar sudah berupa gelombang kotak ataukah belum dapat diamati melalui tampilan osiloskop.

Gambar hasil pengujian masukan dan keluaran rangkaian osilator sebagai saklar pada osiloskop dapat dilihat dalam Gambar 5.12.

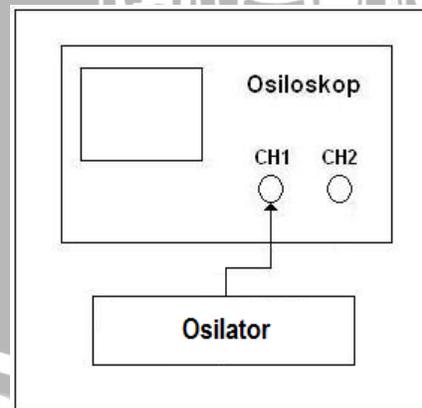


**Gambar 5.12** Hasil Pengujian Rangkaian Transistor Sebagai Saklar pada Osiloskop  
Volt/div 1 V/div & T/div 0,5 ms/div.

Dari hasil pengujian rangkaian transistor sebagai saklar yang dapat dilihat dalam Gambar 5.12 menunjukkan bahwa rangkaian ini telah dapat mengubah gelombang sinusoida menjadi gelombang kotak sehingga rangkaian ini dapat digunakan pada alat ini.

#### 5.4 Pengujian Rangkaian Osilator

Pengujian rangkaian osilator ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian osilator yang dirancang dapat menghasilkan gelombang sinusoida dengan frekuensi tertentu yang telah ditentukan. Dalam pengujian ini, peralatan yang digunakan antara lain adalah: Osiloskop GOS 6010, *DC Tracking Stabilizer* 725 38, dan Ohmmeter. Blok diagram rangkaian pengujian osilator dapat dilihat dalam Gambar 5.13.



**Gambar 5.13** Blok Diagram Rangkaian Pengujian Osilator

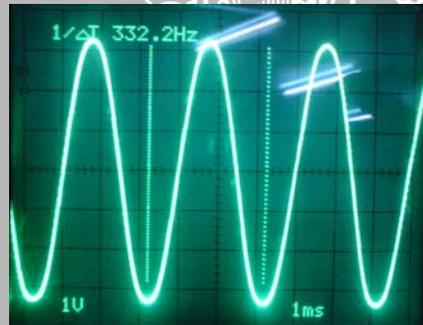
Prosedur pengujian yang dilakukan adalah dimulai dengan menghubungkan keluaran osilator dengan kanal 1 osiloskop. Untuk mengamati besar frekuensi yang

dihasilkan oleh rangkaian osilator maka nilai resistor yang terhubung dengan pin 7,  $R_1$ , diubah-ubah nilainya sesuai dengan perhitungan sehingga bentuk gelombang dan besar frekuensi keluarannya dapat terlihat pada osiloskop.

Hasil pengujian rangkaian osilator dapat dilihat dalam Tabel 5.8. Gambar hasil pengujian rangkaian osilator pada osiloskop dapat dilihat dalam Gambar 5.14.

**Tabel 5.8** Hasil Pengujian Rangkaian Osilator

Senar	Frekuensi (Hz)	Nilai Resistor (k $\Omega$ )		Kesalahan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
1 (E')	329,628	6,31	6,454	2,231
2 (B)	246,942	8,49	8,616	1,462
3 (G)	195,998	10,68	10,856	1,621
4 (D)	146,832	14,24	14,49	1,725
5 (A)	110,000	19,10	19,342	1,251
6 (E)	82,4069	25,612	25,819	0,802

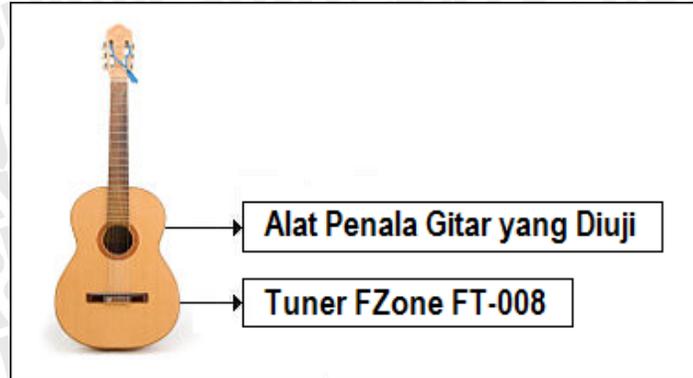


**Gambar 5.14** Hasil Pengujian Rangkaian Osilator pada Osiloskop  
V/div 1 V/div, T/div 1 ms/div.

Dari hasil pengujian osilator menunjukkan bahwa osilator dapat bekerja dengan baik dengan kesalahan tidak lebih daripada 3%.

### 5.5 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui unjuk kerja alat apakah telah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan atau belum. Peralatan yang digunakan dalam pengujian sistem secara keseluruhan ini antara lain adalah: Gitar Yamaha G-55 dan tuner Fzone FT-008. Blok diagram rangkaian pengujian penguat awal ini dapat dilihat dalam Gambar 5.15.



**Gambar 5.15** Blok Diagram Rangkaian Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah dimulai dengan memberi masukan pada alat yang berupa suara gitar yang berasal dari gitar Yamaha G-55 yang sebelumnya frekuensi senar gitar tersebut telah diatur sesuai dengan standar frekuensi yang benar. Hasilnya diamati melalui tampilan LED yang ada dan dibandingkan dengan hasil pengujian dengan menggunakan alat penala buatan industri, yang dalam pengujian ini menggunakan *tuner* Fzone FT-008.

Pengujian dilakukan dengan memetik dawai gitar dimulai dengan dawai paling kecil (senar pertama atau senar E kecil), kemudian setelah beberapa detik setelah alat memberikan keluaran pada tampilan LED, dilakukan pemetikan dawai untuk yang kedua kali dan seterusnya. Pemetikan dawai yang sama dilakukan berulang-ulang sebanyak 50 kali.

Hasil pengujian sistem secara keseluruhan dapat dilihat dalam Tabel 5.9. Gambar hasil pengujian sistem secara keseluruhan dapat dilihat dalam Gambar 5.16 hingga Gambar 5.18.

**Tabel 5.9** Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Senar	Keluaran alat menunjukkan nada tepat	Keluaran alat menunjukkan nada kurang	Keluaran alat menunjukkan nada lebih	Kesalahan (%)
1 (E')	47 kali	-	3 kali	6
2 (B)	50 kali	-	-	0
3 (G)	50 kali	-	-	0
4 (D)	48 kali	2 kali	-	4
5 (A)	48 kali	-	2 kali	4
6 (E)	47 kali	3 kali	-	6



Gambar 5.16 Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan untuk Nada Tepat



Gambar 5.17 Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan untuk Nada Lebih



Gambar 5.18 Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan untuk Nada Kurang



Kadang-kadang alat menunjukkan keluaran berada di bawah atau di atas nada yang seharusnya. Kesalahan seperti ini bisa disebabkan karena frekuensi gelombang suara yang dihasilkan memang berubah turun atau naik dari frekuensi gelombang suara yang seharusnya. Naik turunnya frekuensi gelombang tersebut bisa disebabkan oleh beberapa hal, antara lain karena pemetikan dawai yang terlalu keras atau terlalu lemah sehingga ketegangan dawai menjadi berubah sesaat, kondisi *pick-up* yang kurang menempel dan bisa juga disebabkan karena adanya frekuensi harmonisa yang masih

lolos. Dari pengujian secara keseluruhan kesalahan-kesalahan tersebut masih bisa ditoleransi, karena alat tidak pernah menyimpang jauh dalam menala nada dari suara gitar. Besar kesalahan yang terjadi tidak lebih daripada 10%.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian alat penala gitar akustik yang dilengkapi dengan osilator pembangkit frekuensi ini dapat dirumuskan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat penala gitar ini dapat digunakan sebagai alat bantu untuk belajar menala gitar bagi seorang pemula karena dilengkapi dengan osilator pembangkit frekuensi yang dapat menghasilkan bunyi dengan frekuensi standar gitar sehingga dapat digunakan sebagai patokan untuk menala.
2. Alat mampu menala nada senar gitar dalam keadaan *open string* (tanpa menekan senar pada fret tertentu) dalam *range* frekuensi 60-350 Hz.
3. Ketepatan nada yang ditala ditampilkan dalam bentuk tampilan LED.
4. Alat mempunyai toleransi penyimpangan penalaan di bawah 10%.
5. Osilator yang dihubungkan dengan *speaker* dapat menghasilkan bunyi yang besar toleransi kesalahannya di bawah 3%.

#### 6.2 Saran

Walaupun alat yang telah dibuat telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, untuk pengembangan lebih lanjut, ada beberapa hal yang perlu ditingkatkan, di antaranya adalah:

1. Ukuran alat masih terlalu besar sehingga diperlukan perubahan desain dan pemilihan komponen yang dimensinya lebih kecil.
2. Tampilan dapat diperbaiki yaitu dengan menggunakan LCD yang dapat menampilkan nama-nama nada yang sedang ditala.
3. Pemilihan filter dan osilator dapat dilakukan secara otomatis pada saat terdeteksi adanya gelombang suara gitar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmel. 2006. *ATmega8535/ATmega8535L, 8-bit AVR Microcontroller with 8 Kbytes in-System Programmable Flash*. California: Atmel Corporation. [www.atmel.com/literature](http://www.atmel.com/literature). Diakses tanggal: 3 April 2008.
- Bejo, Agus. 2008. *C dan AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATmega8535*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Carter, Bruce. 2001. *Handbook of Operational Amplifier Applications*. Texas: Texas Instruments.
- Coughlin, Robert. 1994. *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Franco, Sergio. 1988. *Design With Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- GNU Free Documentation License. <http://en.wikipedia.org/wiki/Guitar>. Diakses tanggal: 18 Januari 2008.
- Halliday, David & Robert Resnick. 1988. *Fundamentals of Physics*. New York: John Willey & Sons.
- Halliday, David. 1988. *Fisika*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Iswanto, Juni. 1996. *Perancangan dan Pembuatan Alat Penala Nada Instrumen Musik Menggunakan Mikrokontroler MC68705R396*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Malvino, Albert Paul. 2003. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Mancini, Ron. 2002. *Op Amps for Everyone Design Reference*. Texas: Texas Instruments.
- Sears, Francis Weston. 1950. *Mechanics, Heat and Sound*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Siregar, Chandra Nelson. 2004. *Instrumen Penala Gitar Berbasis MC AT89C51*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Subekti, Markus. 2000. *Konsep-Konsep Fisika*. Klaten: Intan Pariwara.
- Wahyudi, Achmad. 2007. *Penala Nada Gitar Bersuara Sebagai Alat Bantu Bagi Tuna Netra*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

## DAFTAR GAMBAR

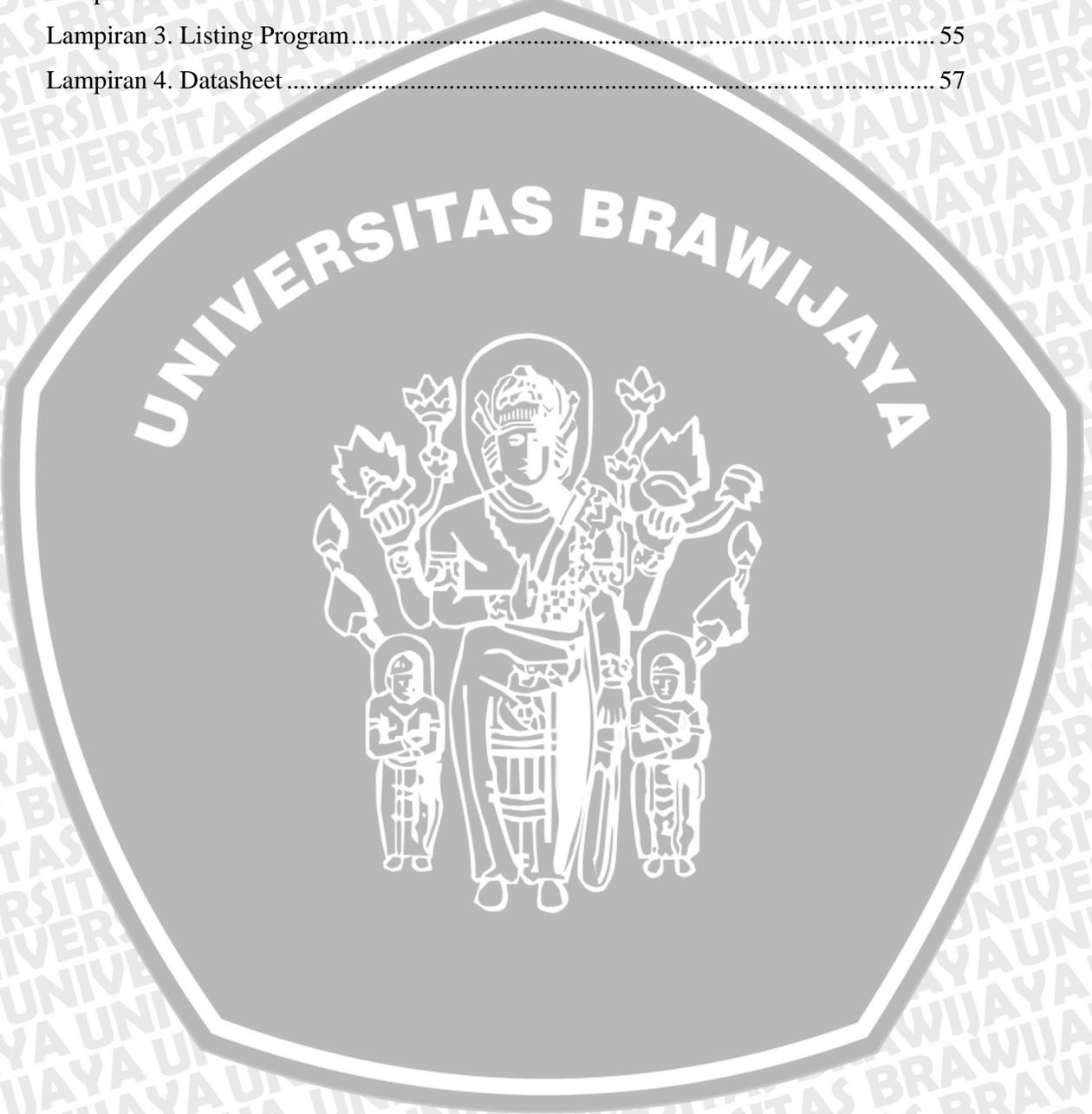
Gambar 2.1	Hubungan Antara Panjang Senar dengan Panjang Gelombang .....	5
Gambar 2.2	Gitar Akustik .....	6
Gambar 2.3	Rangkaian Osilator XR-2206 untuk Menghasilkan Gelombang Sinusoida .....	8
Gambar 2.4	Grafik Perbandingan Nilai R dengan Frekuensi Osilasi .....	8
Gambar 2.5	Grafik Amplitudo Keluaran Sebagai Fungsi dari Resistor $R_3$ pada Pin 3 .....	8
Gambar 2.6	Simbol Operational Amplifier .....	9
Gambar 2.7	Penguat Tak Membalik .....	10
Gambar 2.8	Filter Bandpass dengan Topologi <i>Multiple Feedback</i> .....	12
Gambar 2.9	Tanggapan Frekuensi Filter Bandpass .....	12
Gambar 2.10	Rangkaian Transistors Bias Basis .....	14
Gambar 2.11	Kurva Kolektor Transistor .....	14
Gambar 2.12	Garis Beban dc Transistor .....	15
Gambar 2.13	Konfigurasi pin ATmega8535 .....	17
Gambar 2.14	Blok Diagram Mikrokontroler AVR ATmega8535 .....	18
Gambar 2.15	Gambar <i>MCU Control Register</i> (MCUCR) .....	20
Gambar 2.16	Gambar <i>General Interrupt Control Register</i> (GICR) .....	21
Gambar 4.1	Blok Diagram Sistem .....	27
Gambar 4.2	Rangkaian Osilator XR-2206 .....	29
Gambar 4.3	Koil Relay pada Saat Aktif Ekuivalen dengan Hambatan Koil .....	31
Gambar 4.4	Rangkaian Penguat Tak Membalik .....	31
Gambar 4.5	Sinyal Keluaran pick-up Dilihat dengan Osiloskop .....	31
Gambar 4.6	Rangkaian <i>Bandpass Filter</i> dengan Topologi <i>Multiple Feedback</i> .....	32
Gambar 4.7	Rangkaian Transistor Sebagai Saklar .....	34
Gambar 4.8	Rangkaian Mikrokontroler .....	36
Gambar 4.9	Diagram Alir Perangkat Lunak Alat Penala Gitar yang Dilengkapi dengan Osilator Pembangkit Frekuensi .....	38
Gambar 5.1	Blok Diagram Rangkaian Pengujian Penguat Awal .....	39
Gambar 5.2	Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Awal pada Osiloskop .....	40
Gambar 5.3	Blok Diagram Rangkaian Pengujian <i>Bandpass Filter</i> .....	41

Gambar 5.4	Tanggapan Frekuensi <i>Bandpass Filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 1 dengan Frekuensi Tengah 329.628 Hz dan Bandwidth 30 Hz.....	43
Gambar 5.5	Tanggapan Frekuensi <i>Bandpass Filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 2 dengan Frekuensi Tengah 246,942 Hz dan Bandwidth 30 Hz.....	44
Gambar 5.6	Tanggapan Frekuensi <i>Bandpass Filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 3 dengan Frekuensi Tengah 195,998 Hz dan Bandwidth 30 Hz.....	44
Gambar 5.7	Tanggapan Frekuensi <i>Bandpass Filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 4 dengan Frekuensi Tengah 146,832 Hz dan Bandwidth 30 Hz.....	44
Gambar 5.8	Tanggapan Frekuensi <i>Bandpass Filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 5 dengan Frekuensi Tengah 110 Hz dan Bandwidth 30 Hz.....	45
Gambar 5.9	Tanggapan Frekuensi <i>Bandpass Filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 6 dengan Frekuensi Tengah 82,4069 Hz dan Bandwidth 30 Hz.....	45
Gambar 5.10	Hasil Pengujian Rangkaian <i>Bandpass Filter</i> pada Osiloskop.....	45
Gambar 5.11	Blok Diagram Rangkaian Pengujian Rangkaian Transistor Sebagai Saklar .....	46
Gambar 5.12	Hasil Pengujian Rangkaian Transistor Sebagai Saklar pada Osiloskop .	47
Gambar 5.13	Blok Diagram Rangkaian Pengujian Osilator .....	47
Gambar 5.14	Hasil Pengujian Rangkaian Osilator pada Osiloskop.....	48
Gambar 5.15	Blok Diagram Rangkaian Pengujian Sistem Secara Keseluruhan .....	49
Gambar 5.16	Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan untuk Nada Tepat.....	50
Gambar 5.17	Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan untuk Nada Lebih.....	50
Gambar 5.18	Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan untuk Nada Kurang .....	50



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skematik Rangkaian.....	53
Lampiran 2. Foto Alat.....	54
Lampiran 3. Listing Program.....	55
Lampiran 4. Datasheet.....	57



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nama <i>pitch</i> Keenam Senar Gitar Mulai dari <i>nut</i> (fret 0) Hingga Fret Ke-12... 6	6
Tabel 2.2 Alamat Vektor Interupsi ATMEGA8535..... 19	19
Tabel 2.3 Pemicu Interupsi INT0/INT1..... 20	20
Tabel 2.4 Mode <i>Timer/Counter 2</i> ..... 22	22
Tabel 2.5 Skala <i>Clock Timer/Counter 2</i> ..... 22	22
Tabel 4.1 Tabel Nilai Resistor R yang Dibutuhkan dalam Rangkaian Osilator..... 30	30
Tabel 4.2 Tabel Nilai Resistor R <sub>3</sub> , Beserta Nilai Pendekatannya dan Faktor Mutu <i>Bandpass Filter</i> ..... 33	33
Tabel 4.3 <i>Range</i> Frekuensi Standar dengan Toleransi 2% ..... 37	37
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Awal ..... 40	40
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Bandpass filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 1 dengan Frekuensi Tengah 329.628 Hz ..... 42	42
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Bandpass filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 2 dengan Frekuensi Tengah 246.942 Hz ..... 42	42
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Bandpass filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 3 dengan Frekuensi Tengah 195.998 Hz ..... 42	42
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Bandpass filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 4 dengan Frekuensi Tengah 146.832 Hz ..... 42	42
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Bandpass filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 5 dengan Frekuensi Tengah 110.000 Hz ..... 43	43
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Bandpass filter</i> untuk Senar Gitar Nomor 6 dengan Frekuensi Tengah 82.4069 Hz ..... 43	43
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Rangkaian Osilator..... 48	48
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan ..... 49	49

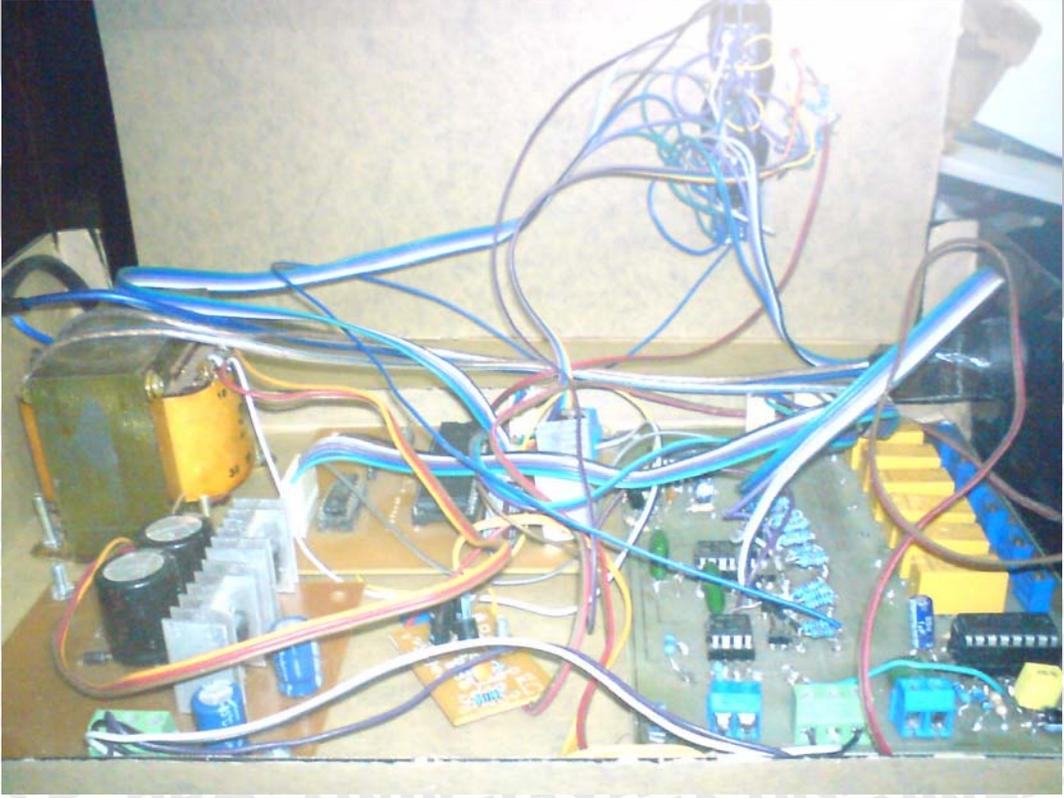
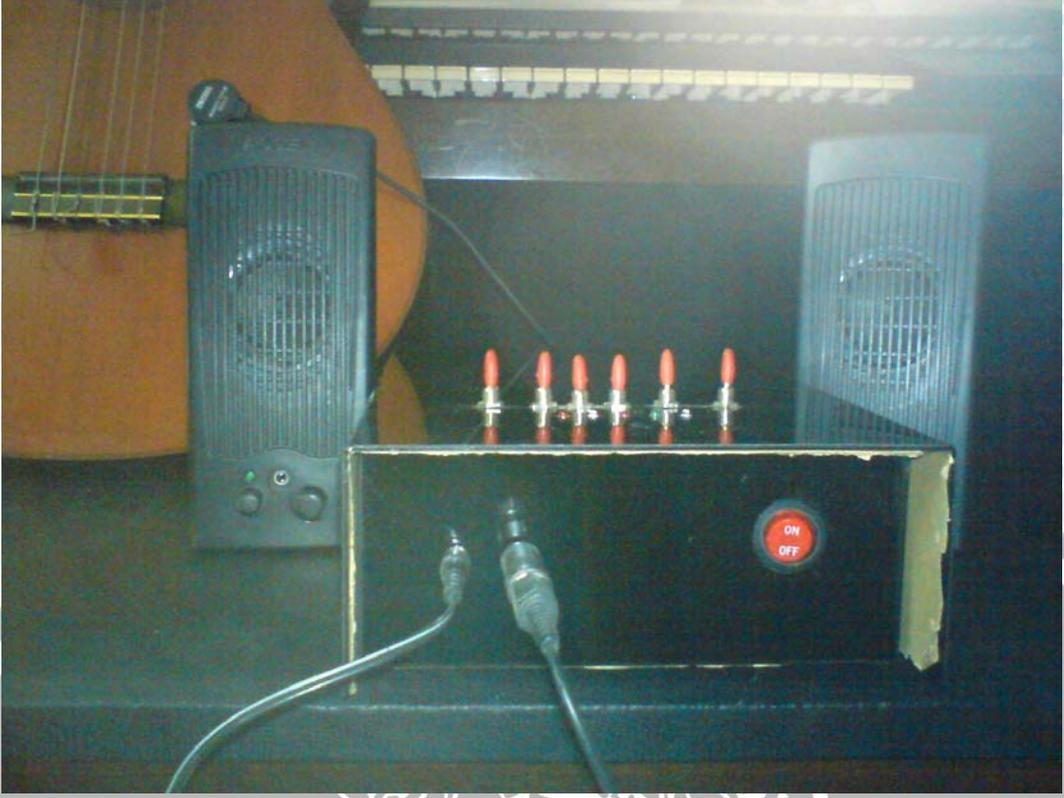
DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Skematika Penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Musik.....	4
2.1.1 Gelombang Bunyi.....	4
2.1.2 Hubungan Panjang Gelombang dan Frekuensi.....	4
2.1.3 Gitar Akustik.....	6
2.2 Osilator.....	7
2.3 Penguat Operasional.....	8
2.4 Filter Bandpass.....	10
2.5 Rangkaian Transistor Sebagai Saklar.....	13
2.6 Mikrokontroler AVR ATmega 8535.....	16
2.6.1 Interupsi.....	19
2.6.2 <i>Timer/Counter</i> .....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	23
3.1 Penentuan Spesifikasi Alat.....	23
3.2 Studi Literatur.....	23
3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	24
3.4 Pengujian Alat dan Analisis.....	24
3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	25



<b>BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT</b> .....	27
4.1 Perencanaan Sistem.....	27
4.2 Spesifikasi Alat.....	28
4.3 Perencanaan Perangkat Keras .....	29
4.3.1 Rangkaian Osilator.....	29
4.3.2 Rangkaian Penguat Awal .....	31
4.3.3 Rangkaian Filter Bandpass.....	32
4.3.4 Rangkaian Transistor Sebagai Saklar.....	34
4.3.5 Mikrokontroler .....	35
4.4 Perancangan Perangkat Lunak .....	36
<b>BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA</b> .....	39
5.1 Pengujian Rangkaian Penguat Awal .....	39
5.2 Pengujian Rangkaian Filter Bandpass.....	41
5.3 Pengujian Rangkaian Transistor Sebagai Saklar.....	46
5.4 Pengujian Rangkaian Osilator.....	47
5.5 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan .....	48
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	52
6.1 Kesimpulan.....	52
6.2 Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	53
<b>LAMPIRAN</b>	





## LISTING PROGRAM

```

/*-----*/
/*PROGRAM ALAT PENALA GITAR*/
/*-----*/

/* File include */
#include <mega8535.h>
#include <delay.h>

/* Pendefinisian */
#define f1    PINC.0    // |
#define f2    PINC.1    // |
#define f3    PINC.2    // > input dari saklar untuk memilih filter
#define f4    PINC.3    // | dan frekuensi osilator
#define f5    PINC.4    // |
#define f6    PINC.5    // |

#define n6    PORTD.7    // |
#define n5    PORTD.6    // | output untuk mengaktifkan IC ULN2003
#define n4    PORTD.5    // > untuk mangaktifkan relay guna
#define n3    PORTD.4    // | mengaktifkan osilator pembangkit frekuensi
#define n2    PORTD.3    // |
#define n1    PORTD.1    // |

#define gen    PORTD.0    // output pemacu kerja osilator

#define ledbs  PORTA.1    // output LED saklar salah
#define ledk   PORTA.2    // output LED frekuensi kurang
#define ledt   PORTA.3    // output LED frekuensi tepat
#define ledl   PORTA.4    // output LED frekuensi lebih

/* Inisialisasi variabel global */
unsigned char a,tf;
int b,b1;
float frek,frek1;

/*Inisialisasi input output */
void init_port()
{
    DDRC=0b11000000; // pin C0..5 sebagai input, C6..7 sebagai output
    DDRD=0b11111011; // pin D0..1 dan D3..7 sebagai output, D2 sebagai input
    DDRA=0b11111110; // pin A0 sebagai input, A1..A7 sebagai output
    PORTC=0b00111111;
}

void init_timer2()
{
    TCCR2=2; // skala clock = 8
    TIMSK=TIMSK|0x40; // timer/counter2 overflow interrupt enable
}

```

```

TIFR=TIFR|0x40; // timer/counter2 overflow flag
TCNT2=-50;
}

void init_ext_interrupt()
{
    MCUCR=0x02; // interrupt0 aktif pada saat transisi turun
    GICR=GICR|0x40; // mengaktifkan interupsi eksternal 0
}

interrupt [5] void timer2_overflow(void)
{
    b++; // |
    TCNT2=-50; // |
    TIFR=TIFR|0x40; // | perhitungan jumlah luapan
// | yang terjadi pada saat
// > transisi turun pada gelombang
// | masukan hingga terjadi
// | transisi turun berikutnya
}

interrupt [2] void external_int0(void)
{
    // |
    // |
    b1=b; // |
    b=0; // |
}

char hitfrek()
{
    return(!f6*32+!f5*16+!f4*8+!f3*4+!f2*2+!f1); // pemberian nilai awal tiap saklar
}

void clearled()
{
    ledk=1; // mematikan LED frekuensi kurang
    ledt=1; // mematikan LED frekuensi tepat
    ledl=1; // mematikan LED frekuensi lebih
    ledbs=1; // mematikan LED saklar salah
}

/* Program Utama */
void main()
{
    /* Inisialisasi */
    init_port();
    init_timer2();
    init_ext_interrupt();
    b1=0; // pemberian nilai awal pada jumlah luapan yang terjadi
    tf=0; // pemberian nilai awal 0 pada tanda untuk mengaktifkan osilator
// agar tidak terjadi perulangan untuk mengaktifkan osilator
    gen=1; // mematikan osilator
    clearled(); // memanggil fungsi untuk mematikan LED
    do
    {

```

```

frek=b1; // jumlah luapan yang terjadi
frek=10000/frek; // perhitungan frekuensi
a=hitfrek();
if(a==1 || a==2 || a==4 || a==8 || a==16 || a==32)
{
    ledbs=1; // LED salah mati
}
else
{
    ledbs=0; // LED salah menyala
}

/* mengaktifkan dan menonaktifkan osilator*/
if(a==1 && tf!=1) // saat saklar untuk senar 6 aktif dan tanda bukan 1
{
    tf=1; // tanda diberi nilai 1
    gen=0; // memicu kerja osilator
    n1=1; // mangaktifkan relay frek1 melalui IC ULN2003
    delay_ms(2000); // menghasilkan tunda waktu selama 2 detik
    gen=1; // mematikan osilator
    n1=0; // menonaktifkan relay
}
else if(a==2 && tf!=2) // saat saklar untuk senar 5 aktif dan tanda bukan 2
{
    tf=2; // tanda diberi nilai 2
    gen=0; // memicu kerja osilator
    n2=1; // mangaktifkan relay frek2 melalui IC ULN2003
    delay_ms(2000); // menghasilkan tunda waktu selama 2 detik
    gen=1; // mematikan osilator
    n2=0; // menonaktifkan relay
}
else if(a==4 && tf!=3) // saat saklar untuk senar 4 aktif dan tanda bukan 3
{
    tf=3; // tanda diberi nilai 3
    gen=0; // memicu kerja osilator
    n3=1; // mangaktifkan relay frek3 melalui IC ULN2003
    delay_ms(2000); // menghasilkan tunda waktu selama 2 detik
    gen=1; // mematikan osilator
    n3=0; // menonaktifkan relay
}
else if(a==8 && tf!=4) // saat saklar untuk senar 3 aktif dan tanda bukan 4
{
    tf=4; // tanda diberi nilai 4
    gen=0; // memicu kerja osilator
    n4=1; // mangaktifkan relay frek4 melalui IC ULN2003
    delay_ms(2000); // menghasilkan tunda waktu selama 2 detik
    gen=1; // mematikan osilator
    n4=0; // menonaktifkan relay
}
else if(a==16 && tf!=5) // saat saklar untuk senar 2 aktif dan tanda bukan 5

```

```

    {
        tf=5; // tanda diberi nilai 5
        gen=0; // memicu kerja osilator
        n5=1; // mangaktifkan relay frek5 melalui IC ULN2003
        delay_ms(2000); // menghasilkan tunda waktu selama 2 detik
        gen=1; // mematikan osilator
        n5=0; // menonaktifkan relay
    }
else if(a==32 && tf!=6) // saat saklar untuk senar 1 aktif dan tanda bukan 6
    {
        tf=6; // tanda diberi nilai 6
        gen=0; // memicu kerja osilator
        n6=1; // mangaktifkan relay frek6 melalui IC ULN2003
        delay_ms(2000); // menghasilkan tunda waktu selama 2 detik
        gen=1; // mematikan osilator
        n6=0; // menonaktifkan relay
    }
else if(a==0) // saat tidak ada saklar yang aktif
    {
        tf=0; // tanda diberi nilai 0
    }

/*pemeriksaan frekuensi yang terhitung dengan frekuensi standar*/
if(a==1) // saat saklar untuk senar 6 aktif
    {
        if(frek>=80 && frek<=84) // jika frek dalam rentang 80-84 Hz
            {
                frek1=frek;
                clearled(); // semua LED mati
                ledt=0; // LED frekuensi tepat menyala
            }
        else if(frek<80) // jika frek. kurang dari 80 Hz
            {
                clearled(); // semua LED mati
                ledk=0; // LED frekuensi kurang menyala
            }
        else if(frek>84) // jika frek. lebih dari 84 Hz
            {
                clearled(); // semua LED mati
                ledl=0; // LED frekuensi lebih menyala
            }
    }
else if(a==2) // saat saklar untuk senar 5 aktif
    {
        if(frek>=108 && frek<=112) // jika frek. dalam rentang 108-112 Hz
            {
                frek1=frek;
                clearled(); // semua LED mati
                ledt=0; // LED frekuensi tepat menyala
            }
    }

```

```

else if(frek<108) // jika frek. kurang dari 108 Hz
{
    clearled(); // semua LED mati
    ledk=0; // LED frekuensi kurang menyala
}
else if(frek>112) // jika frek. lebih dari 112 Hz
{
    clearled(); // semua LED mati
    ledl=0; // LED frekuensi lebih menyala
}
}
else if(a==4) // saat saklar untuk senar 4 aktif
{
    if(frek>=144 && frek<=150) // jika frek. dalam rentang 144-150 Hz
    {
        frek1=frek;
        clearled(); // semua LED mati
        ledt=0; // LED frekuensi tepat menyala
    }
    else if(frek<144) // jika frek. kurang dari 144 Hz
    {
        clearled(); // semua LED mati
        ledk=0; // LED frekuensi kurang menyala
    }
    else if(frek>150) // jika frek. lebih dari 150 Hz
    {
        clearled(); // semua LED mati
        ledl=0; // LED frekuensi lebih menyala
    }
}
else if(a==8) // saat saklar untuk senar 3 aktif
{
    if(frek>=192 && frek<=200) // jika frek. dalam rentang 192-200 Hz
    {
        frek1=frek;
        clearled(); // semua LED mati
        ledt=0; // LED frekuensi tepat menyala
    }
    else if(frek<192) // jika frek. kurang dari 192 Hz
    {
        clearled(); // semua LED mati
        ledk=0; // LED frekuensi kurang menyala
    }
    else if(frek>200) // jika frek. lebih dari 200 Hz
    {
        clearled(); // semua LED mati
        ledl=0; // LED frekuensi lebih menyala
    }
}
else if(a==16) // saat saklar untuk senar 2 aktif

```

```

{
    if(frek>=242 && frek<=252) // jika frek. dalam rentang 242-252 Hz
    {
        frek1=frek;
        clearled(); // semua LED mati
        ledt=0; // LED frekuensi tepat menyala
    }
    else if(frek<242) // jika frek. kurang dari 242 Hz
    {
        clearled(); // semua LED mati
        ledk=0; // LED frekuensi kurang menyala
    }
    else if(frek>252) // jika frek. lebih dari 252 Hz
    {
        clearled(); // semua LED mati
        ledl=0; // LED frekuensi lebih menyala
    }
}
else if(a==32) // saat saklar untuk senar 1 aktif
{
    if(frek>=324 && frek<=336) // jika frek. dalam rentang 324-336 Hz
    {
        frek1=frek;
        clearled(); // semua LED mati
        ledt=0; // LED frekuensi tepat menyala
    }
    else if(frek<324) // jika frek. kurang dari 324 Hz
    {
        clearled(); // semua LED mati
        ledk=0; // LED frekuensi kurang menyala
    }
    else if(frek>336) // jika frek. lebih dari 336 Hz
    {
        clearled(); // semua LED mati
        ledl=0; // LED frekuensi lebih menyala
    }
}
}while(1);
}

```

### SKEMATIK RANGKAIAN

