



Perancangan Laser Harpa

Bonni¹, Luqman Hakim,² Edilla³

¹Politeknik Caltex Riau, email: bonni.meka12@gmail.com

² Politeknik Caltex Riau, email: luqman@pcr.ac.id

³ Politeknik Caltex Riau, email: edilla@pcr.ac.id

Abstrak

Salah satu alat musik klasik yang hampir ditinggalkan atau jarang dimainkan adalah alat musik harpa. Seperti halnya di Indonesia alat musik harpa sudah sangat jarang dimainkan atau ditampilkan pada pertunjukan alat musik. Agar alat musik harpa tidak dilupakan dan mudah diingat kembali, maka telah diciptakan suatu alat musik harpa yang modern yang berbasis teknologi yang menggunakan laser sebagai pengganti dawai penghasil nadanya. Mikrokontroler ATmega8535 digunakan sebagai otak pengaturan alat ini. Sensor LDR merupakan indikator pengaktifan nada, dan sensor PING dijadikan sebagai pembagi tinggi dan rendahnya oktaf nada tersebut. Dimana dawai laser diputus di atas dan di bawah akan menghasilkan nada yang sama tetapi oktaf nya berbeda. ATmega8535 akan mengeluarkan output dengan frekuensi yang berbeda beda kemudian diteruskan kepada amplifier(penguat) dan speaker digunakan sebagai output akhir berupa bunyi nada. Hasil akhir yang di hasilkan laser harpa adalah suara dengan frekuensi yang sesuai dengan nada-nada standar. Dengan pembuatan laser harpa ini telah menghasilkan generasi muda lebih terpacu dan inovatif dalam mengembangkan ilmu baik di bidang teknologi maupun di bidang seni.

Kata kunci: Harpa, Laser, Sensor LDR, Sensor PING, Penguat (Amplifier), Speaker

Abstract

One of the tools of classical music are almost abandoned or rarely played the harp is a musical instrument. As in Indonesia harp musical instrument is very rarely played or displayed on the performances of musical instruments. In order for harp musical instrument is not forgotten and easy to remember back, so have created a modern harp musical instrument-based technology that uses a laser instead of producing strings tone. ATmega8535 microcontroller is used as the brains of the tool settings. LDR sensor is an indicator of the activation of the tone, and the PING sensor is used as the high and the low octave divider the tone. Where strings laser cut above and below would produce the same tone but is different octaves. ATmega8535 will issue the output with a frequency that is different then forwarded to the amplifier (amplifier) and the speaker used as the final output in the form of a tone. The final results generated laser harp is degan sound frequencies in accordance with the standard tones. With the creation of the laser harp has produced young people more motivated and innovative in developing a good knowledge in the field of technology as well as in the arts.

Keywords: Harp, Laser, LDR Sensor, PING Sensor, Amplifier, Speaker

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi memicu terciptanya perangkat-perangkat elektronika yang beragam dan inovatif diantaranya dibidang alat musik. Kemajuan ini sangat memudahkan manusia dalam menciptakan warna musik yang berbeda-beda. Kemajuan teknologi pada alat musik modern biasanya adalah perkembangan dari sebuah alat musik klasik. Adapun salah satu alat musik klasik yang hampir ditinggalkan atau jarang dimainkan adalah alat musik Harpa. Seperti halnya di Indonesia alat musik harpa sudah sangat jarang dimainkan atau ditampilkan pada pertunjukan alat musik.

Alat musik harpa yang akan dirancang adalah alat musik yang menggunakan laser sebagai pengganti dawai penghasil nadanya, dimana memanfaatkan cahaya laser sebagai sensor dalam node-node (nada-nada) musik tersebut, sensor LDR dan Sensor *PING* adalah komponen sebagai pemberi informasi kepada mikrokontroler ATmega8535. Mikrokontroler akan memproses dan mengeluarkan output kepada *amplifier* dengan frekuensi sesuai dengan frekuensi nada yang di inginkan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Laser Pointer

Laser adalah sebuah perangkat yang mengeluarkan cahaya melalui satu proses disebut rangsangan emisi. Laser adalah kepanjangan dari LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* - Pembesaran Cahaya oleh Pancaran Radiasi yang Terangsang). Laser merupakan perangkat yang menggunakan efek mekanik kuantum, diinduksi atau merangsang emisi, untuk menghasilkan sinar cahaya koheren [1]. Gambar contoh dari laser pointer dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Laser Pointer

Laser dihasilkan dari proses relaksasi *elektron*. Pada saat proses ini maka sejumlah *foton* akan di lepaskan berbeda dengan cahaya senter. Emisi pada *laser* terjadi dengan teratur sedangkan pada lampu senter emisi terjadi secara acak [1]. Pada laser emisi akan menghasilkan cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu [1]. Berbeda dengan lampu senter emisi akan menghasilkan cahaya dengan banyak panjang gelombang. proses yang terjadi adalah *elektron* pada keadaan *ground state* (pada pita valensi) mendapat energi kemudian statusnya naik menuju pita konduksi (keadaan eksitasi) kemudian *elektron* tersebut kembali ke keadaan awal (*ground state*) diikuti dengan beberapa *foton* yang terlepas. Kemudian agar energi yang dibawa cukup besar maka dibutuhkan sebuah *resonator*, *resonator* ini dapat berupa lensa atau cermin yang sering digunakan adalah lensa dan cermin[3]. Ketika di dalam *resonator* maka *foton-foton* tersebut akan saling memantul terhadap dinding *resonator* sehingga cukup kuat untuk meninggalkan *resonator* tersebut. Laser cukup kuat digunakan sebagai alat pemotong misalnya adalah *laser CO2*. laser yang kuat adalah tingkat pelebarannya rendah dan energi fotonnya tinggi[1].

2.2 Harpa

Harpa atau dalam bahasa Inggris disebut dengan *Harp* merupakan jenis alat musik petik. Bentuknya tinggi, umumnya berwarna emas, dan memiliki senar. Alat musik ini

berbentuk segitiga, dengan senar-senar halus di bagian tengahnya. Sebuah harpa dapat dimainkan baik dengan tangan, ataupun dengan tangan dan kaki, seperti yang ditemui pada pedal *harp* [2]. Harpa merupakan salah satu instrument yang tertua, dan konon telah digunakan sejak zaman Mesir Kuno[2].

Sebuah Harpa dapat menciptakan sebuah dentingan yang sangat indah. Harpa memiliki berbagai jenis variasi bentuk, ukuran, dan berat. Namun kesemuanya itu tetap memiliki tiga bagian utama, yaitu: papan suara (*sound board*), leher (*Neck*) dan senar (*String*) [2].

2.3 Bunyi

Bunyi atau suara adalah suatu pemampatan secara mekanis atau gelombang longitudinal yang merambat melalui *medium*. *Medium* atau zat perantara ini dapat berupa zat cair, padat, gas. Jadi, gelombang bunyi dapat merambat misalnya di dalam air, batu, atau udara. Suara atau bunyi secara teoritis dapat dijelaskan dengan kecepatan getar atau frekuensi yang diukur dalam satuan getaran *Hertz* (Hz) dan amplitudo atau kenyaringan bunyi dengan pengukuran dalam satuan tekanan suara desibel (dB) [3].

Manusia mendengar bunyi saat gelombang bunyi, yaitu getaran di udara atau medium lain, sampai ke gendang telinga manusia. Batas frekuensi bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia berkisar antara 20 Hz sampai 20 kHz [3]. Suara di atas 20 kHz disebut *ultrasonik* dan di bawah 20 Hz disebut *infrasonik* [1]. Bunyi merambat di udara dengan kecepatan 1.224 km/jam [3]. Bunyi merambat lebih lambat jika suhu dan tekanan udara lebih rendah. Di udara tipis dan dingin pada ketinggian lebih dari 11 km, kecepatan bunyi 1.000 km/jam [4]. Di air, kecepatannya 5.400 km/jam, jauh lebih cepat daripada di udara [1].

Nada adalah bunyi yang beraturan, yaitu memiliki frekuensi tunggal tertentu. Dalam teori musik, setiap nada memiliki tinggi nada atau tala tertentu menurut frekuensinya ataupun menurut jarak relatif tinggi nada tersebut terhadap tinggi nada patokan. Nada dasar suatu karya musik menentukan frekuensi tiap nada dalam karya tersebut. Nada dapat diatur dalam tangga nada yang berbeda-beda. Berikut merupakan tabel dari Frekuensi nada dapat dilihat dari tabel 1.

Tabel 1 Frekuensi nada

Frekuensi Nada (Hz)												
Oktaf	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B
1	32.703	34.648	36.708	38.891	41.203	43.654	46.249	48.999	51.913	55	58.27	61.735
2	65.406	69.296	73.416	77.782	82.407	87.307	92.499	97.999	103.83	110	116.54	123.47
3	130.81	138.59	146.83	155.56	164.81	174.61	185	196	207.65	220	233.08	246.94
4	261.63	277.18	293.66	311.13	329.63	349.23	369.99	392	415.3	440	466.16	493.88
5	523.25	554.37	587.33	622.25	659.26	698.46	739.99	783.99	830.61	880	932.33	987.77
6	1046.5	1108.7	1174.7	1244.5	1318.5	1396.9	1480	1568	1661.2	1760	1864.7	1975.5
7	2093	2217.5	2349.3	2489	2637	2793.8	2960	3136	3322.4	3520	3729.3	3951.1

2.4 Mikrokontroler

Sistem pemesanan berikutnya mengembangkan aplikasi pemesanan yang bersifat nirkabel dan juga mengembangkan perangkat khusus sebagai antar muka aplikasi tersebut dalam hal ini menggunakan meja makan multi touchable. Perangkat ini dapat diakses secara bersamaan (simultan), selain itu juga aplikasi pemesanan ini terintegrasi dengan layanan lain seperti musik, film dan e-book [5] [6]. Mikrokontroler adalah suatu mikroprosesor *plus*. Mikrokontroler adalah otak dari suatu sistem elektronika seperti halnya mikroprosesor sebagai otak komputer. Nilai Plus bagi mikrokontroler adalah terdapatnya memori dan *Port Input/Output* dalam suatu kemasan IC yang kompak. Kemampuan yang programmable, fitur yang lengkap (*ADC internal*, *EEPROM internal*, *Port I/O*, komunikasi serial, dll). Mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*) merupakan perkembangan terakhir dari produk Atmel^[4].

AVR termasuk kedalam jenis mikrokontroler RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit [4]. AVR atau sebuah kependekan dari *Alf and Vegard's Risc Processor*

merupakan *chip* mikrokontroler yang diproduksi oleh Atmel, yang secara umum dapat dikelompokkan ke dalam 4 kelas :

1. ATtiny
2. ATmega
3. AT90Sxx
4. AT86RFxx

Perbedaan yang terdapat pada masing-masing kelas adalah kapasitas memori, *peripheral*, dan fungsinya. Dalam hal arsitektur maupun instruksinya, hampir tidak ada perbedaan sama sekali. Dalam hal ini ATmega8535 dapat beroperasi pada kecepatan maksimal 16MHz [4].

2.5 Sensor LDR

LDR (Light Dependent Resistor), adalah jenis *resistor* yang berubah hambatannya karena pengaruh cahaya. Bila cahaya gelap nilai tahananannya semakin besar, sedangkan cahayanya terang nilainya menjadi semakin kecil [5]. LDR (Light Dependent Resistor) adalah jenis *resistor* yang biasa digunakan sebagai detector cahaya atau pengukur besaran konversi cahaya. *Light Dependent Resistor*, terdiri dari sebuah cakram semikonduktor yang mempunyai dua buah elektroda pada permukaannya [5].

Resistansi LDR berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya. Dalam keadaan gelap resistansi LDR sekitar 10 M dan dalam keadaan terang sebesar 1 k atau kurang. LDR terbuat dari bahan semikonduktor seperti *cadmium sulfide* [5]. Dengan bahan ini energi dari cahaya yang jatuh menyebabkan lebih banyak muatan yang dilepas atau arus listrik meningkat. Artinya resistansi bahan telah mengalami penurunan [5].

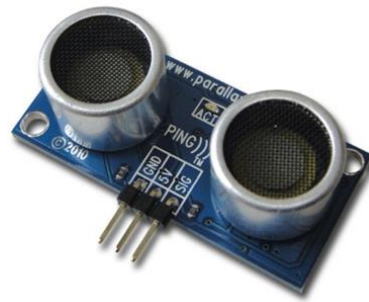
2.5 Amplifier

Penguat (*Amplifier*) adalah rangkaian komponen elektronika yang dipakai untuk menguatkan daya. Dalam bidang *audio*, *amplifier* akan menguatkan *signal* suara berbentuk analog dari sumber suara yaitu memperkuat signal arus dan tegangan listrik berbentuk sinyal dari inputnya menjadi arus listrik dan tegangan yang lebih besar, juga dayanya akan menjadi lebih besar di bagian outputnya [6]. Besarnya penguatan ini sering dikenal dengan istilah gain. Nilai dari gain yang dinyatakan sebagai fungsi penguat frekuensi audio, gain power amplifier antara 20 kali sampai 100 kali dari signal input [6]. Jadi gain merupakan hasil bagi dari daya di bagian output (Pout) dengan daya di bagian inputnya (Pin) dalam bentuk bentuk frekuensi listrik. Ukuran dari gain (G) ini satuannya adalah decibel (dB) [6].

2.6 Sensor Ping

Berikutnya, pada penelitian sistem pemesanan ini menyertakan teknologi RFID, RFID digunakan untuk mengidentifikasi kostumer. Aplikasi ini juga dikombinasikan dengan rekomender menu dan pengembangan algoritma rekomender. Sehingga nanti harapannya aplikasi ini dapat menawarkan menu yang disukai oleh pelanggan, dengan mempelajari kebiasaan dan kecendrungan selera pelanggan lewat daftar pesanan yang telah dilakukan sebelumnya [8, 9]. Sensor PING merupakan sensor *ultrasonik* yang dapat mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang *ultrasonik* dengan frekuensi 40 KHz dan kemudian mendeteksi pantulannya [7].

Sensor ini dapat mengukur jarak antara 3 cm sampai 300 cm [7]. keluaran dari sensor ini berupa pulsa yang lebarnya merepresentasikan jarak. Lebar pulsananya bervariasi dari 115 uS sampai 18,5 mS [7]. Pada dasarnya, Ping terdiri dari sebuah *chip* pembangkit sinyal 40KHz, sebuah speaker ultrasonik dan sebuah mikropon *ultrasonik*. Speaker ultrasonik mengubah sinyal 40 KHz menjadi suara sementara mikropon *ultrasonik* berfungsi untuk mendeteksi pantulan suaranya [7]. Berikut merupakan gambar dari sensor PING yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Sensor PING

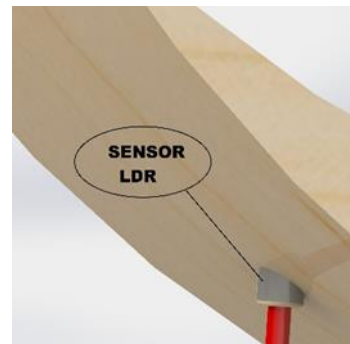
3. Perancangan

3.1 Perancangan harpa

Berikut ini adalah gambar keseluruhan dari laser harpa yang akan dibuat dapat dilihat pada gambar 3. *Laser Harpa* ini di desain dengan konsep yang minimalis. Cahaya *laser* yang memancar sejajar akan membuat alat ini terlihat sangat menarik saat berada pada ruangan yang intensitas cahayanya kurang ataupun tidak ada cahaya. Berikut merupakan gambar dari sensor *LDR* yang dipasang sejajar dengan *Laser* dapat dilihat pada gambar 4.

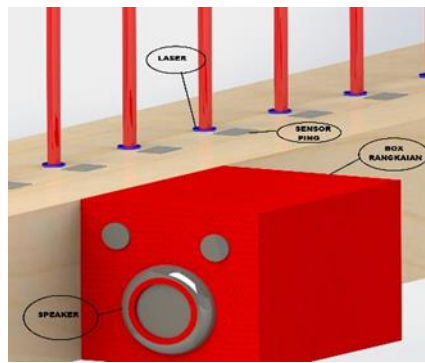


Gambar 3. Laser Harpa



Gambar 4. Sensor LDR

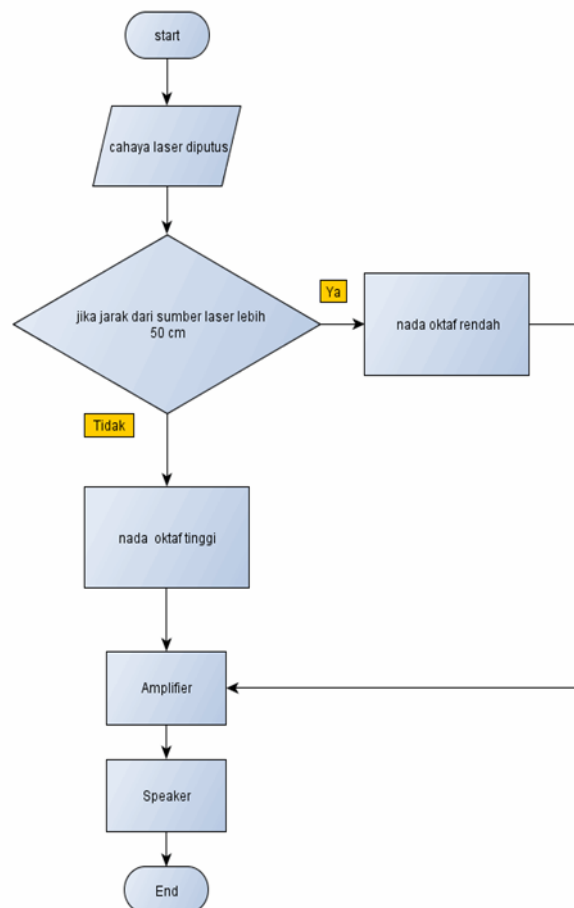
Sensor *LDR* merupakan sensor yang akan memberikan informasi kepada Mikrokontroler. Saat kondisi normal atau cahaya laser belum di putus permukaan sensor LDR akan mendapat intensitas cahaya yang tinggi oleh pancaran sinar laser yang di pasang secara sejajar. Oleh sebab itu saat cahaya laser diputus, mikrokontroler mendapat perintah untuk memproses berapa frekuensi output yang harus dikeluarkan lalu *amplifier* sebagai penguat keluaran dari atmega8535 akan mengeluarkan bunyi dari speaker sebagai *output* terakhir. Berikut ini merupakan gambar dari bagian *base* bawah Laser Harpa dapat dilihat dari gambar 5.



Gambar 5 Base Bawah Laser Harpa

3.2 Perancangan program untuk satu sensor LDR dan satu sensor Ping

Berikut merupakan perancangan program dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Perancangan Program Laser Harpa

Untuk membuat output frekuensi sesuai dengan frekuensi nada yang diinginkan di butuhkan perhitungan pada program agar memperoleh frekuensi yang diinginkan. Sebuah nada dasar pada tangga nada skala mayor memiliki frekuensi tertentu. Misalkan nada “La” atau “a” memiliki frekuensi 440Hz, nada “Do” memiliki frekuensi 523Hz, dan seterusnya. Nah, frekuensi inilah yang akan dikeluarkan oleh mikrokontroler sehingga muncul nada-nada tertentu.

Timer adalah salah satu fitur yang dimiliki oleh ATmega8535. Fungsi timer adalah melakukan perhitungan waktu. Timer yang aktif secara berulang pada waktu tertentu (dalam skala *milisecond*) akan membentuk gelombang. Kalau kita atur waktunya, maka setiap gelombang akan memiliki frekuensi tertentu.

4. PENGUJIAN DAN ANALISA

Untuk pengambilan data dan analisa dari laser harpa ini, yang pertama kita analisa adalah kinerja sensor LDR sebagai input dalam memberikan informasi kepada mikrokontroler.

4.1 Pengujian kinerja sensor LDR

Pengujian ini dilakukan dengan cara memutuskan cahaya laser terhadap sensor LDR kemudian mengukur tegangan yang masuk ke mikrokontroler dengan menggunakan *Voltmeter*. Berikut ini adalah data tegangan yang masuk ke mikrokontroler bisa kita lihat pada tabel 2.

Tabel 2 Data tegangan yang masuk ke mikrokontroler

NO	SENSOR LDR	TEGANGAN (VOLT)
1	LDR 1	3.92
2	LDR 2	3.88
3	LDR 3	3.98
4	LDR 4	3.71
5	LDR 5	3.84
6	LDR 6	3.91
7	LDR 7	3.79
8	LDR 8	3.89
9	LDR 9	4.02
10	LDR 10	4.11
11	LDR 11	4.03
12	LDR 12	4.07

Dari data diatas dapat kita lihat bahwa pada saat cahaya laser diputus, pembagian tegangan dari sensor LDR akan memberikan tegangan masuk ke mikrokontroler sebagai *input*. unjuk kerja dari semua sensor adalah 100%, dan menghasilkan informasi tegangan kepada mikrokontroler. Variasi nilai tegangan pada data terjadi dikarenakan kualitas dari komponen yang digunakan (LDR) serta pengaruh pencahayaan dari lingkungan sekitar

4.2 Pengujian kinerja output suara laser harpa

Untuk mengetahui mikrokontroler dapat memproses hasil *input* dari sensor dilakukan pengujian dengan cara memutus cahaya laser dan mendengar suara yang di hasilkan laser harpa. Berikut ini adalah data kinerja *output* suara laser harpa bisa kita lihat pada tabel 3.

Tabel 3 Data kinerja output suara laser harpa

NO	NADA OKTAF TINGGI & RENDAH	DIAM (TIDAKADA OUTPUT)	BUNYI
1	C	-	√
2	D	-	√
3	E	-	√
4	F	-	√
5	G	-	√
6	A	-	√
7	B	-	√
8	C#	-	√
9	D#	-	√
10	F#	-	√
11	G#	-	√
12	A#	-	√

Dari data diatas dapat kita lihat bahwa pada saat cahaya laser pada oktaf tinggi dan rendah diputus, unjuk kerja dari semua sensor adalah 100%, dan menghasilkan *output* berupa suara.

4.3 Pengujian frekuensi oktaf rendah

Selain data kinerja alat di atas, dapat juga kita ambil beberapa data seperti data frekuensi *output* dari laser harpa. Pengambilan data frekuensi *output* ini menggunakan software *Guitar tuner* yang bisa menghitung nilai frekuensi suara yang diterimanya. Berikut ini merupakan data dari frekuensi *output* dari laser harpa. Untuk melihat *output* frekuensi keluaran dari laser harpa untuk nada oktaf rendah, bisa kita lihat pada tabel 4.

Dari data pada tabel 4 tersebut dapat kita lihat bahwa hasil *output* frekuensi laser harpa tidak jauh berbeda dari frekuensi acuan (frekuensi nada standar). Dan pada perbandingan *error*, nilai maksimumnya adalah 0.61 %. Ini menunjukkan bahwa laser harpa dapat menghasilkan suara dengan nada yang hampir sesuai dengan nada standar.

Tabel 4 Data frekuensi output laser harpa oktaf rendah

NO	NADA OKTAF RENDAH	FREKUENSI ACUAN (Hz)	FREKUENSI OUTPUT (Hz)	ERROR (%)
1	C	261.6	261.3	0.11
2	C#	277.2	275.8	0.50
3	D	293.7	291.9	0.61
4	D#	311.1	310	0.35
5	E	329.6	328.3	0.39
6	F	349.2	350.8	0.46
7	F#	370	369.8	0.05
8	G	392	389.7	0.59
9	G#	415.3	415.6	0.07
10	A	440	439.7	0.07
11	A#	466.2	467.3	0.24
12	B	493.9	493.8	0.02
Rata – rata error				0.28 %

4.4 Pengujian frekuensi oktaf tinggi

Berikut ini merupakan pengujian frekuensi *output* dari nada oktaf tinggi. Nada oktaf tinggi memiliki nilai frekuensi yang lebih besar dari dari frekuensi nada oktaf rendah. Frekuensi nada *output* oktaf tinggi dari laser harpa dapat kita lihat dari tabel 5.

Tabel 5 Data frekuensi output laser harpa oktaf tinggi

NO	NADA OKTAF TINGGI	FREKUENSI ACUAN (Hz)	FREKUENSI OUTPUT (Hz)	ERROR (%)
1	C	523.3	520.1	0.61
2	C#	554.4	551.9	0.45
3	D	587.3	583.4	0.66
4	D#	622.3	620.4	0.30

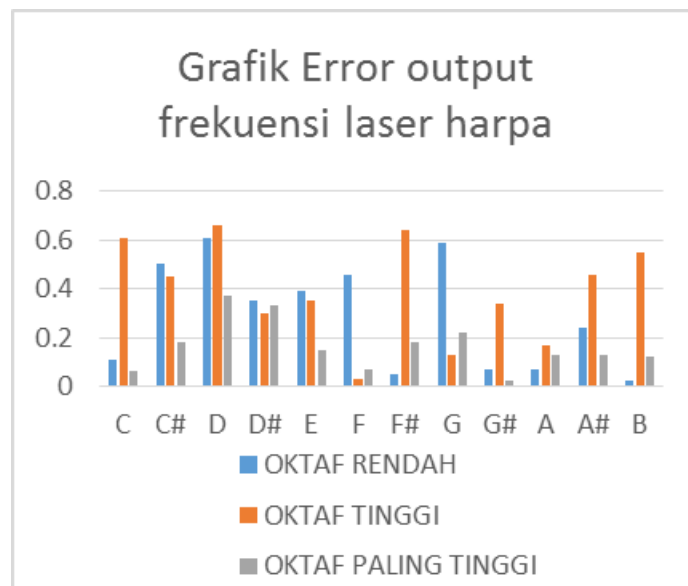
NO	NADA OKTAF TINGGI	FREKUENSI ACUAN (Hz)	FREKUENSI OUTPUT (Hz)	ERROR (%)
5	E	659.3	657	0.35
6	F	698.5	698.3	0.03
7	F#	740	735.2	0.64
8	G	784	785	0.13
9	G#	830.6	833.4	0.34
10	A	880	878.5	0.17
11	A#	932.3	936.6	0.46
12	B	987.8	982.4	0.55
Rata -rata error				0.39 %

Data yang diperoleh dari frekuensi *output* nada oktaf tinggi memiliki nilai *error* yang lebih besar dibandingkan dengan nilai *error* pada oktaf rendah. Untuk menyimpulkan data dari oktaf rendah dan oktaf tinggi. Kita memerlukan sebuah data lagi agar bisa melihat perbandingan *error* output keluaran nada frekuensi dari laser harpa. Berikut ini merupakan data *output* frekuensi paling tinggi dari laser harpa dapat kita lihat tabel 6

Tabel 6 Data frekuensi output laser harpa oktaf paling tinggi

NO	NADA OKTAF PALING TINGGI	FREKUENSI ACUAN (Hz)	FREKUENSI OUTPUT (Hz)	ERROR (%)
1	C	1046.5	1047.2	0.06
2	C#	1108.7	1110.7	0.18
3	D	1174.7	1170.3	0.37
4	D#	1244.5	1240.3	0.33
5	E	1318.5	1320.5	0.15
6	F	1396.9	1395.8	0.07
7	F#	1480	1477.3	0.18
8	G	1568	1566.2	0.22
9	G#	1661.2	1661.6	0.02
10	A	1760	1762.4	0.13
11	A#	1864.7	1862.2	0.13
12	B	1975.5	1977.9	0.12
Rata – rata error				0.16 %

Dari pengambilan data *output* frekuensi paling tinggi ini dapat kita lihat bahwa oktaf paling tinggi memiliki nilai *error* yang paling kecil. Berikut ini adalah grafik nilai *error output* frekuensi dari setiap oktaf nada yang di hasilkan oleh laser harpa dapat kita lihat dari gambar 7.



Gambar 7. Perancangan Program Laser Harpa

Dari grafik di atas dapat kita analisa bahwa nilai error dari setiap oktaf berbeda – beda. Dari data yang di ambil dapat kita lihat bahwa nilai rata – rata error pada oktaf yang rendah adalah 0.28%. nilai rata – rata error pada oktaf yang tinggi adalah 0.39%. dan pada oktaf paling tinggi nilai rata – rata error justru paling kecil yaitu 0.16%. Besar kecilnya persensi error dari setiap oktaf di pengaruhi oleh keterbatasan bahasa program yang hanya bisa memproses bilangan integer. Sedangkan kita membutuhkan nilai frekuensi berupa bilangan desimal. Nilai error dari oktaf yang paling tinggi lebih kecil dari pada nilai error pada oktaf yang rendah. Ini di sebabkan nilai frekuensi acuan pada oktaf paling tinggi berkisar dari 1046.5 Hz – 1977.9 Hz. Selisih frekuensi output terhadap acuan pada oktaf paling tinggi ini akan menghasilkan nilai error yang kecil dikarenakan nilai pembagi (frekuensi acuan) yang besar [5].

4.5 Pengujian jarak aktivasi nada oktaf rendah

Berikut ini merupakan pengujian jarak aktivasi nada oktaf rendah pada laser harpa. Dalam pengambilan data ini. Penulis menggunakan penggaris dalam pengukuran jarak aktivasi nada. Semua pengukuran dihitung dari sumber laser. Dapat kita lihat pada tabel 7.

Tabel 7 Data jarak aktivasi nada oktaf rendah

NO	NADA OKTAF RENDAH	BATAS BAWAH (cm)	BATAS ATAS (cm)
1	C	28	76
2	D	32	73
3	E	27	72
4	F	30	72

NO	NADA OKTAF	BATAS BAWAH	BATAS ATAS
----	------------	-------------	------------

	RENDAH	(cm)	(cm)
5	G	25	72
6	A	29	72
7	B	30	72
8	C#	31	72
9	D#	28	72
10	F#	30	72
11	G#	25	72
12	A#	26	72

Dari data di atas dapat kita lihat bahwa batas terendah dari aktivasi nada oktaf tinggi berbeda-beda. Ini dikarenakan oleh beberapa hal yaitu, sensitifitas sensor yang berbeda-beda, posisi sensor PING yang tidak sama, kondisi permukaan telapak tangan yang memutus laser laser juga akan mempengaruhi jarak aktivasi nada oktaf rendah. jika ingin mengubah nilai aktivasi nada rendah ini bisa kita lakukan dengan merubah posisi sensor PING.

4.6 Pengujian jarak aktivasi nada oktaf tinggi

Berikut ini merupakan pengujian jarak aktivasi nada oktaf tinggi pada laser harpa. Dalam pengambilan data ini menggunakan penggaris dalam pengukuran jarak aktivasi nada. Semua pengukuran dihitung dari sumber laser (dari bawah ke atas). Dapat kita lihat pada tabel 8.

Tabel 8 Data jarak aktivasi nada oktaf tinggi

NO	NADA OKTAF TINGGI	BATAS BAWAH (cm)	BATAS ATAS (cm)
1	C	6	28
2	D	5	32
3	E	6	27
4	F	6	30
5	G	5	25
6	A	6	29
7	B	5	30
8	C#	6	31
NO	NADA OKTAF TINGGI	BATAS BAWAH (cm)	BATAS ATAS (cm)

9	D#	6	28
10	F#	5	30
11	G#	5	25
12	A#	5	26

Dari data diatas dapat kita lihat bahwa nilai dari batas bawah aktivasi nada tinggi tidak sama. Ini dikarenakan oleh beberapa hal yaitu, sensitifitas sensor yang berbeda-beda, posisi sensor yang tidak sama, kondisi permukaan telapak tangan yang memutus laser laser juga akan mempengaruhi jarak aktivasi nada oktaf rendah. dan batas atas dari aktivasi nada oktaf tinggi ini merupakan nilai batas bawah dari aktivasi nada rendah.

5. Kesimpulan

Setelah melakukan serangkaian pengujian dan analisa terhadap penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa ;

1. Pemilihan sensor LDR sebagai indikator aktivasi nada sangat tepat dan dapat bekerja dengan sangat baik.
2. Penggunaan sensor *Ping* sebagai pembagi jarak aktivasi nada oktaf tinggi dan nada oktaf rendah sangat tergantung kepada posisi sensor dan permukaan tangan yang memutus cahaya laser. Ini disebabkan sistem kerja dari sensor *Ping* yang bekerja berdasarkan pantulan sinyal *ultrasonik*.
3. Nilai *error* pada output suara laser harpa di sebabkan karena keterbatasan *listning program* yang hanya mampu memproses bilangan *integer*.

Adapun beberapa hal yang dapat dilakukan untuk pengembangan produk laser harpa ini antara lain yaitu ;

1. Sebaiknya pemilihan sensor pembagi jarak oktaf rendah dan oktaf tinggi adalah sensor yang memiliki *output data digital*.
2. Agar bisa merubah warna bunyi keluaran laser harpa sebaiknya output dari mikrokontroler di teruskan ke PC dan diolah kembali oleh *software* suara pada PC.

Daftar Pustaka

- [1] Asal Mula Harpa. Diakses pada 5 April 2015. <https://sawahluntomuseum.wordpress.com/tag/harpa/>
- [2] Hadiwong, (2010). Sinar Laser, Pengertian & Manfaat Sinar Laser(Online) <http://kutakketik.blogspot.com/2010/12/sinar-laser-pengertianmanfaat-sinar.html> Diakses : 9 Desember 2014.
- [3] Sumoro, Hadi 2007. Frekuensi Dasar, Harmonics, Overtunes Semarang, UNSRI.
- [4] Sensor cahaya LDR. Diakses pada 5 Maret 2015. <http://elektronika-dasar.web.id/komponen/sensor-tranducer/sensor-cahaya-ldr-light-dependent-resistor/>
- [5] Lestari, Putri 2009. Sistem Pengatur Nada (Tone Control) Dengan Penguat Tegangan. Fisika, Universitas Negeri Semarang.
- [6] Sensor Jarak Ultrasonik PING. Diakses pada 8 Maret 2015. <https://myavr.wordpress.com/2009/06/14/sensor-ultrasonik-ping-dengan-atmega16/>.
- [7] Membuat nada pada ATmega 8535. Diakses pada 6 April 2015. <https://mrmerdeka.wordpress.com/2010/08/21/membuat-nada-itiraf-dengan-atmega8535-bag-1/>