

Pendeteksian Bola Pingpong Terantul pada Permukaan Meja Kayu Berbasis Piezoelektrik

Eril Mozef¹, Fatmawati Putri Rohman²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : erilmozef@gmail.com

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : fatmawati.putri.tkom18@polban.ac.id

ABSTRAK

Beberapa kejadian penting akan menghasilkan getaran dari suatu benturan seperti misalnya tabrakan mobil, terbenturnya peluru yang ditembakkan, terbenturnya sesuatu yang dilemparkan, jatuhnya sesuatu benda ke lantai, dan lain-lain. Beberapa aplikasi membutuhkan terdeteksinya getaran dari benturan objek. Seperti misalnya pada robot pelatih tenis meja yang sedang dikembangkan, membutuhkan pendeteksian benturan bola pingpong pada permukaan meja kayu yang handal dan bekerja secara waktu nyata (*real-time*) dengan *delay* sekecil mungkin. Untuk itu digunakan sensor piezoelektrik dikarenakan bentuknya yang tipis dan sensitivitasnya yang tinggi terhadap getaran. Permasalahan yang muncul adalah turut terprosesnya getaran lain disekitar meja dan suara lingkungan karena piezoelektrik juga peka terhadap suara. Pada penelitian ini dibahas rangkaian pengkondisi untuk tujuan tersebut. Penelitian ini telah menghasilkan sebuah modul perangkat keras yang sanggup mendeteksi dan mengekstraksi benturan bola pada meja kayu pada lingkungan yang bising dan terdapat getaran lain disekitar meja. Disamping handal, modul juga telah sanggup bekerja secara waktu nyata untuk meminimalisir *delay* menggunakan solusi rangkaian analog. Modul menghasilkan *output* berupa pulsa positif sebesar 40 ms setiap kali ada pantulan bola ke meja sebagai sarana pemicu mode interaktif pada robot pelontar bola pingpong yang sedang dikembangkan.

Kata Kunci

deteksi bola pingpong terantul, meja kayu, tenis meja, sensor piezoelektrik, lingkungan bising, robot pingpong interaktif.

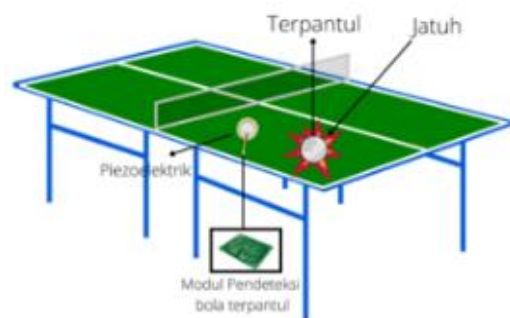
1. PENDAHULUAN

Beberapa kejadian penting akan menghasilkan getaran dari suatu benturan seperti misalnya tabrakan mobil, terbenturnya peluru yang ditembakkan, terbenturnya sesuatu yang dilemparkan, jatuhnya sesuatu benda ke lantai, dan lain-lain. Beberapa aplikasi membutuhkan terdeteksinya getaran dari benturan objek. Seperti misalnya pada aplikasi pendeteksi koordinat jatuhnya bola golf pada layar target [1], aplikasi pendeteksian kemacetan kertas pada printer [2], aplikasi etalase interaktif [3], aplikasi pembuka kunci pintu dengan ketukan [4], aplikasi pengamanan brangkas [5], aplikasi pendeteksian koordinat pada meja pingpong dengan info visual [6].

Penelitian ini difokuskan pada pendeteksian benturan bola pingpong pada permukaan meja kayu (Gambar 1) sebagai pendukung pengembangan robot pelatih tenis meja [7] yang memerlukan unsur interaktif antara robot dan pemain.

Pada penelitian terdahulu [8], telah dilakukan penelitian untuk mencari koordinat bola terantul pada meja pingpong namun hasilnya belum cukup handal dikarenakan sensor mikrofon (terbuat dari *speaker*) yang digunakan selain ukurannya cukup besar juga mudah terganggu oleh suara lingkungan dan getaran lain. Untuk itu, pada penelitian ini digunakan sensor piezoelektrik sebagai sarana pendeteksi getaran bola

terantul dikarenakan bentuknya yang tipis dan sensitivitas yang tinggi terhadap getaran. Permasalahan yang muncul pada penggunaan piezoelektrik adalah turut terprosesnya suara lingkungan dikarenakan piezoelektrik juga peka terhadap suara. Namun getaran lain dan suara yang ikut terproses intensitasnya tidak sebesar kalau digunakan mikrofon (kondensator ataupun dinamik).

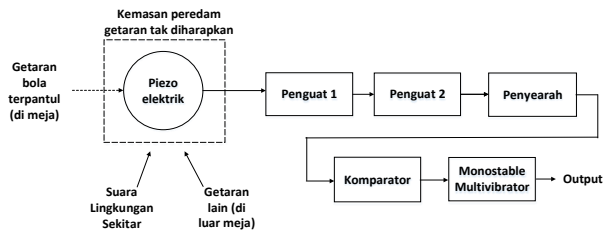


Gambar 1. Ilustrasi Sistem

Pada penelitian ini dibahas rangkaian pengolah sinyal analog yang dapat mengekstraksi suara benturan bola pingpong pada meja kayu dengan handal dan mengeluarkan pulsa lojik yang siap digunakan oleh mikrokontroler untuk memicu lontaran bola pada robot yang sedang dikembangkan tersebut [7].

2. METODE

2.1 Blok Diagram



Gambar 2. Blok Diagram

Mengacu pada Gambar 2, blok diagram sistem terdiri dari bagian Sensor, Peredam getaran, Penguat 1, Penguat 2, Penyearah, Komparator dan *Monostable Multivibrator*.

- Sensor, sebagai *input* getaran.
- Peredam getaran adalah semacam kemasan yang dirancang khusus untuk bisa membedakan getaran yang ditimbulkan akibat benturan bola dan getaran lain disekitar meja serta getaran suara.
- Penguat 1 berfungsi untuk menguatkan sinyal tahap 1.
- Penguat 2 berfungsi untuk menguatkan sinyal tahap 2.
- Penyearah berfungsi untuk menyearahkan sinyal benturan AC menjadi sinyal DC.
- Komparator berfungsi untuk menjenuhkan puncak-puncak sinyal yang masih lemah ke level VCC dan GND.
- *Monostable multivibrator* berfungsi untuk memperpanjang pulsa dari komparator agar memiliki lebar pulsa yang tetap.

2.2 Pengujian Respon Piezoelektrik Terhadap Getaran Bola Terpantul dan Suara

Sensor piezoelektrik adalah komponen yang dapat menghasilkan tegangan listrik pada lingkungan yang bergetar [9]. Pengujian piezoelektrik dilakukan diawal ini dimaksudkan agar saat perancangan skematik nanti, kita sudah mendapatkan gambaran tentang seberapa besar durasi dan amplitudo sinyal getaran bola terpantul pada meja yang dihasilkan. Pengujian ini juga dimaksudkan agar kita dapat mengetahui respon piezoelektrik terhadap getaran bola terpantul, gangguannya berupa getaran lain dan suara. Pengujian dilakukan menggunakan osiloskop (Gambar 3).



Gambar 3. Pengujian Piezoelektrik

Untuk dapat meredam getaran lain selain getaran yang diakibatkan oleh bola terpantul, maka digunakanlah kemasan fleksibel berbahan karet menutupi piezoelektrik (Gambar 4).



Gambar 4. Kemasan Peredam Getaran yang Ditimbulkan dari Luar Meja

Dapat dilihat pada Gambar 5 hasil pengujian piezoelektrik ketika ada bola terbentur di meja. Terlihat adanya "burst" atau pulsa singkat berdurasi kurang lebih 20 ms pada frekuensi kurang lebih 80 Hz.



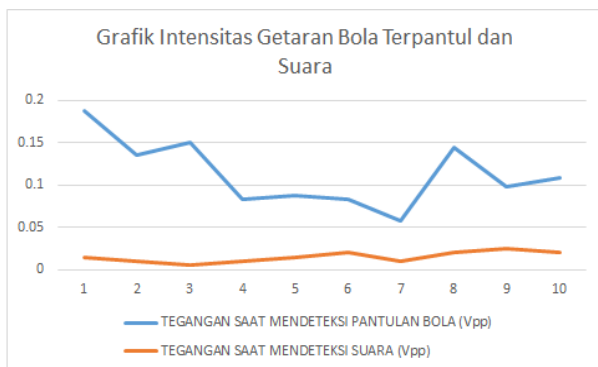
Gambar 5. Tampilan pada Layar Osiloskop Saat Piezo Mendeteksi Pantulan Bola

Untuk mengetahui respon piezoelektrik terhadap gangguan suara maka pada Tabel 1 ditunjukkan data pengujian untuk membandingkan respon piezoelektrik terhadap sinyal benturan akibat bola dan suara.

Grafik pada Gambar 6 membuktikan bahwa intensitas tegangan saat benturan bola ke meja selalu berada di atas level intensitas tegangan suara. Rentang tegangan bola terbentur berada diantara 50 mV-200 mV. Sedangkan rentang tegangan suara bising yang terdeteksi berada diantara 5 mV-25 mV.

Tabel 1. Data Percobaan Piezoelektrik

DATA HASIL PERCOBAAN PIEZOELEKTRIK		
NO	TEGANGAN SAAT MENDETEKSI PANTULAN BOLA (Vpp)	TEGANGAN SAAT MENDETEKSI SUARA (Vpp)
1	0.187	0.015
2	0.135	0.01
3	0.15	0.005
4	0.083	0.01
5	0.088	0.015
6	0.083	0.02
7	0.057	0.01
8	0.145	0.02
9	0.098	0.025
10	0.109	0.02



Gambar 6. Grafik Hasil Percobaan Piezoelektrik

2.3 Perancangan Skema Elektronik

Setelah dihasilkan blok diagram pada Gambar 2 dan didapatkan parameter piezoelektrik maka berikutnya dilakukanlah tahap perancangan skema elektronik.

Agar pemrosesan memiliki delay sekecil mungkin dan agar tercapainya aspek waktu nyata (*real-time*) maka pemrosesan sinyal dirancang sepenuhnya secara analog.

Pemilihan sensor dilakukan dengan mempertimbangkan aspek dimensi, bentuk, sensitivitas dan selektivitasnya terhadap getaran. Dari sekian banyak pilihan sensor getaran yang ada maka pilihan jatuh kepada sensor piezoelektrik.

Dari hasil percobaan pendahuluan, diketahui piezoelektrik mengeluarkan sinyal output antara 50 mV-200 mV dan rentang tegangan suara bising yang terdeteksi berada diantara 5 mV-25 mV.

Pemilihan Vcc ditentukan berdasarkan kesamaannya dengan tegangan rangkaian berbasis mikrokontroler yaitu sebesar 5 V.

Dengan kita berasumsi batas antara rentang suara bising dan rentang intensitas getaran pantulan bola berada pada

25 mV dan dikarenakan kita harus mendapatkan sinyal sekitar 5 Vpp maka diperlukan Gain sebesar 200. Gain sebesar ini dapat diperoleh dengan mudah bila kita menggunakan 2 tahap penguatan yaitu penguat 1 dan penguat 2. Misalnya Gain1 = 20 dan Gain2 = 10 atau Gain1= 50, Gain2= 4 atau kombinasi Gain yang lain.

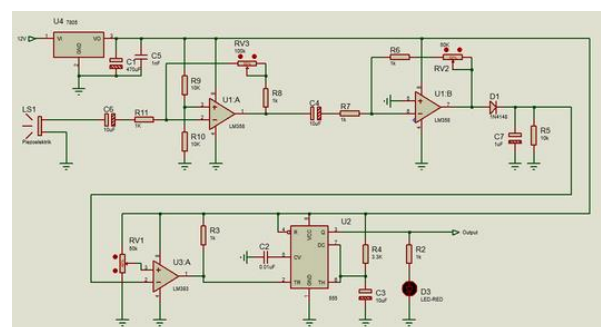
Penguat sinyal dapat dirancang dengan mudah menggunakan rangkaian op-amp (*Operasional Amplifier*). Karena sinyal yang dikuatkan termasuk sinyal kecil dengan frekuensi dibawah 100 Hz maka dipilihlah op-amp LM358.

Untuk itu Penguat 1 dengan Gain = $-R_f/R_i$, didapatkan nilai $R_i = 1K \text{ Ohm}$ dan $R_f = 20K \text{ Ohm}$. Agar penguatan dapat diatur maka R_f digantikan oleh sebuah potensiometer bernilai 100K Ohm agar lebih fleksibel dalam melakukan kalibrasi nantinya.

Dikarenakan catu daya yang digunakan adalah tunggal (tanpa tegangan negatif) maka tegangan output harus diberi offset DC sebesar $1/2V_{cc}$, untuk itu digunakan pembagi tegangan pada input V+ (kaki no 3) berupa 2 buah R dikonfigurasi secara seri masing-masing bernilai 10K.

Dikarenakan dalam 1 kemasan IC LM 358 terdapat 2 buah op-amp maka ini dimanfaatkan sebagai penguat 2. Dengan pertimbangan dan perhitungan yang sama dengan penguat 1 maka nilai $R_i = 1K \text{ Ohm}$ dan R_f digunakan potensiometer sebesar 100K Ohm.

Berbeda dengan penguat 1, penguat 2 offsetnya kita paksa ke 0 V agar sinyal output yang muncul hanya bagian positifnya saja sebesar 5 Vpp di kaki 7. Sinyal yang seluruh bagiannya positif ini berbentuk "burst" (semacam rentetan beberapa pulsa analog berdurasi singkat).



Gambar 7. Skema Elektronika

Sinyal output dari penguat 2 ini selanjutnya diumpungkan ke rangkaian penyearah. Penyearah berfungsi untuk meratakan puncak-puncak sinyal "burst" dari penguat 2 menjadi pulsa positif analog. Agar mempertahankan kesederhanaan maka digunakanlah rangkaian dioda dengan R dan C. Dioda yang digunakan adalah dioda 1N4148 dengan $R = 10K\text{Ohm}$ dan $C = 1 \text{ uF}$.

Agar pulsa positif analog dari rangkaian penyearah ini dapat dikuatkan dan sekaligus dijenuhkan ke level 0 V dan 5 V dan agar terbentuk pulsa logik digital maka digunakanlah rangkaian Komparator yang menggunakan IC LM393. Pulsa logik yang dihasilkan oleh komparator ini berpolaritas negatif atau pulsa negatif. Agar dapat mengatur batas ambang bagian yang dibandingkan maka digunakanlah potensiometer sebagai pembagi tegangan. Dengan potensiometer ini maka kita dapat menentukan batas ambang pembandingan dari 0 V-5V yang akan menghasilkan pulsa negatif dengan durasi yang dapat diatur dan sekaligus dapat menyeleksi dan mengeluarkan hanya bagian yang bermanfaat saja dari sinyal output penguat 2.

Dikarenakan pulsa negatif output dari komparator ini panjang pendeknya durasinya tidak stabil dan masih tergantung oleh kuat lemahnya intensitas getaran pantulan bola maka digunakanlah rangkaian *Monostable multivibrator* menggunakan IC LM555. Rangkaian ini berfungsi untuk memperpanjang pulsa dari komparator sekaligus membuat agar lebar pulsa yang dihasilkan adalah konstan apapun perubahan yang terjadi pada lebar pulsa dari komparator. Besarnya lebar pulsa ini harus lebih besar dari lebar pulsa terbesar keluaran output komparator. Pulsa yang dihasilkan ini berpolaritas positif.

Untuk dapat menghitung nilai R dan C yang akan menentukan konstanta waktu IC LM555 maka kita harus dapat mengasumsikan berapa durasi dari sinyal "burst" yang keluar dari sensor piezoelektrik. Untuk itu maka kita harus melakukan pengukuran terlebih dahulu terhadap sensor piezoelektrik. Pengukuran dapat dilihat pada subbab piezoelektrik. Dari hasil pengukuran piezoelektrik diketahui lebar "burst" sebesar 20 ms. Dikarenakan pulsa output dari monostable ini harus lebih besar dari durasi "burst" tersebut maka dipilihlah konstanta waktu sebesar 30 ms. Dengan demikian kita dapat menghitung nilai R dan C dari rangkaian dengan persamaan berikut:

$$T = 1.1 \times R \times C \quad (2)$$

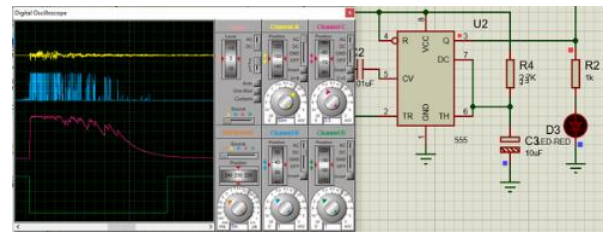
Dengan nilai R normalisasi maka kita mendapatkan R=3300 Ohm dan C=10uF. Dengan demikian maka pada output IC LM555 akan didapat pulsa logik digital sebesar 33 ms. Pulsa ini selanjutnya siap untuk diumpankan ke Mikrokontroler.

Dengan demikian maka perancangan skematik menghasilkan skema berikut (Gambar 7).

2.4 Simulasi Menggunakan Software

Agar nilai-nilai komponen yang telah dihasilkan pada tahap perancangan skematik dapat divalidasi maka perlu

dilakukan tahap simulasi. Simulasi dilakukan menggunakan software Proteus (Gambar 8).

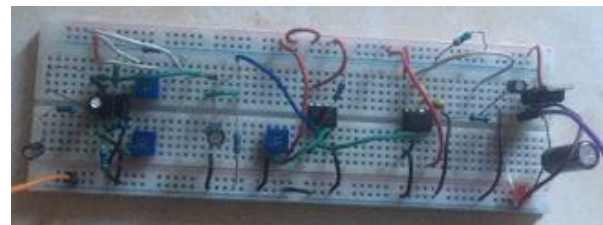


Gambar 8. Simulasi Skema Elektronik

Terlihat pada Gambar 8, output dari piezoelektrik (sinyal kuning) masih sangat lemah. Pada output penguat 2 (sinyal biru) terlihat bahwa output piezoelektrik telah dikuatkan dan dimunculkan hanya bagian positifnya saja. Output dari penyearah (sinyal merah muda) berhasil meratakan sinyal output dari penguat 2. Output dari komparator (sinyal hijau) berhasil mengeluarkan pulsa negatif dengan durasi yang ditentukan oleh potensiometer dan intensitas dari sinyal penguat 2. Output dari monostable (LED warna merah) berhasil mengeluarkan pulsa positif dengan durasi konstan sebesar 33 ms ditandai dengan berkedipnya LED indikator dengan durasi yang singkat.

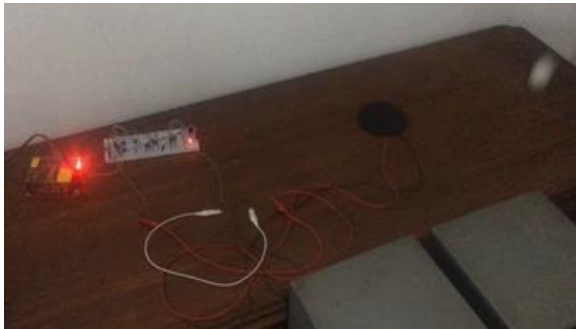
2.5 "Simulasi Hardware" Menggunakan Breadboard

Untuk membuktikan nilai-nilai yang didapat dari hasil simulasi Proteus maka dilakukanlah simulasi "hardware" menggunakan komponen riil. Untuk itu dilakukanlah simulasi di atas breadboard Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian pada Breadboard

Hasil dari simulasi menggunakan breadboard ini berjalan dengan baik. Terbukti dengan didapatkannya sinyal-sinyal output dari berbagai tahap sesuai dengan hasil simulasi software. Pada Gambar 10 menunjukkan LED indikator menyala ketika sensor mendeteksi adanya pantulan bola pada meja.



Gambar 10. Hasil Simulasi dengan Breadboard

2.6 Realisasi Sistem

Setelah simulasi di atas breadboard berhasil selanjutnya kita masuk ke tahap realisasi. Proses realisasi ini diawali dengan merancang layout PCB. Tata letak komponen diatur sedemikian rupa agar terlihat rapih dan tidak memakan tempat yang besar. Pada Gambar terlihat PCB yang telah dicetak berukuran 11 cm × 6 cm. Setelah mencetak PCB kemudian dilakukanlah proses penyolderan untuk menyambungkan komponen pada jalur yang telah dibuat (Gambar 11).

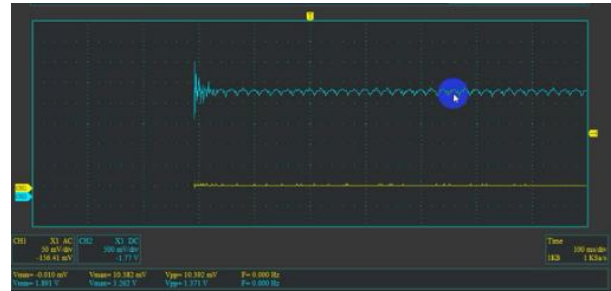


Gambar 11. Hasil Perakitan Komponen di Atas PCB

setelah proses penyolderan maka dilakukanlah pengujian setiap *output* rangkaiannya mulai dari *output* sensor piezoelektrik, penguat, penyearah, komparator hingga *monostable multivibrator*.

2.6.1 Pengujian Output Piezoelektrik dan Penguat 1

Terlihat pada Gambar 12 tegangan piezoelektrik sebesar 10 mV (sinyal kuning) dan tegangan output penguat 1 sebesar 1.1 V. Dengan pengaturan potensio pada 100K Ohm yang berarti Gain= 100 maka didapatkan secara teori tegangan 1 V yang mana ini berarti hasil perhitungan mendekati hasil pengukuran.



Gambar 12. Sinyal Piezo (Kuning) dan Penguat 1 (Biru)

2.6.2 Pengujian Output Penguat 1 dan Penguat 2

Pada Gambar 13, sinyal kuning (*output* penguat 1) menunjukkan adanya offset sebesar $\frac{1}{2}V_{cc}$.



Gambar 13. Sinyal Penguat 1 (Kuning) dan Penguat 2 (Biru)

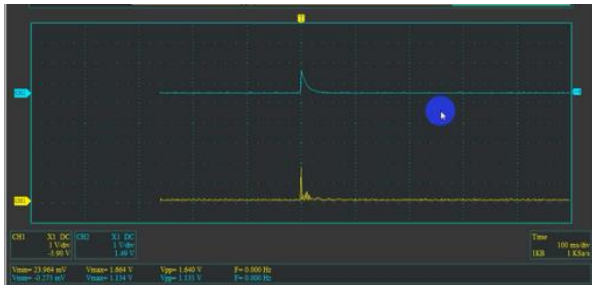
Ini dikarenakan tegangan referensi pada pin 3 IC op-amp terdapat pembagi tegangan $\frac{1}{2} V_{cc}$, sehingga akan terdapat offset tegangan *output* sebesar 2.5 V.

Vref disini bertujuan agar *output* sinyal yang dikuatkan berada di antara $\frac{1}{2} V_{cc}$ dapat dilihat pada sinyal kuning sinyal berada di 2.5 V sehingga seluruh sinyal dapat terlihat pada layar. Sedangkan pada penguat 2 Vref sebesar 0 V sehingga sinyal terpotong (sinyal biru) sehingga yang ditampilkan hanya bagian sinyal positif saja.

Dari hasil penguat 2 tidak tampak seluruh sinyal sehingga sinyal di penguat 2 terlihat lebih kecil dibandingkan dengan penguat 1 sebenarnya pada penguat 2 sinyal dikuatkan 2 kali yang mana 2.9 V seharusnya menjadi 5.8 V tapi tidak memungkinkan, dikarenakan LM358 bukan IC tipe "rail to rail" menyebabkan sinyal ini juga terpotong karena Vref sehingga hanya tampil sinyal 1.7 V.

2.6.3 Pengujian Output Penguat 2 dan Penyearah

Dapat dilihat dari Gambar 14 penyearah digunakan untuk menyearahkan tegangan AC penguat 2 ke DC.

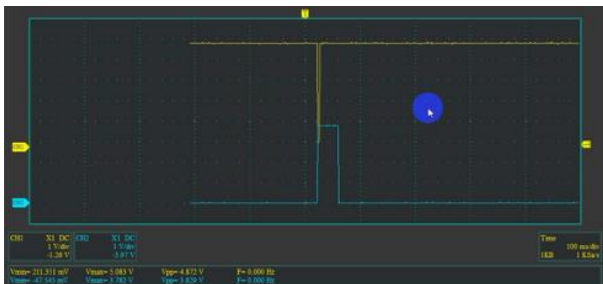


Gambar 14. Sinyal Penguat 2 (Kuning) dan Penyearah (Biru)

Penyearah ini menggunakan diode yang menyearahkan $\frac{1}{2}$ gelombang dan hanya menyearahkan sinyal yang ada di atas "Gnd" saja (nilai positif). Sinyal yang masuk ke dioda dipastikan hanya sinyal positif saja. Dapat dilihat bahwa seluruh output sinyal biru bernilai positif dan lebih turun sebesar 0.7 V dibandingkan sinyal kuning dikarenakan terpotong oleh tegangan bias dioda.

2.6.4 Pengujian Output Komparator dan Multivibrator

Dari Gambar 15, komparator menggunakan LM393 yang bersifat "rail to rail" sehingga hasil *output* bisa sama dengan Vcc yaitu 5V. Sinyal komparator menghasilkan pulsa negatif dengan durasi yang singkat sesuai durasi getaran bola terpantul dan dengan lebar pulsa bervariasi tergantung intensitas sinyal masukannya.



Gambar 15. Sinyal Komparator (Kuning) & Multi (Biru)

Agar dapat memperpanjang pulsa dari komparator dengan lebar pulsa yang konstan maka digunakanlah *Monostable Multivibrator (One Shot Multivibrator)* menggunakan IC 555. Terlihat pada sinyal biru, *output Monostable Multivibrator* dapat memperpanjang pulsa dengan lebar pulsa konstan. Sedangkan hasil pengukuran menunjukkan 40 ms artinya ini tidak berbeda jauh dari perhitungan teori.

2.6.5 Sumber Tegangan

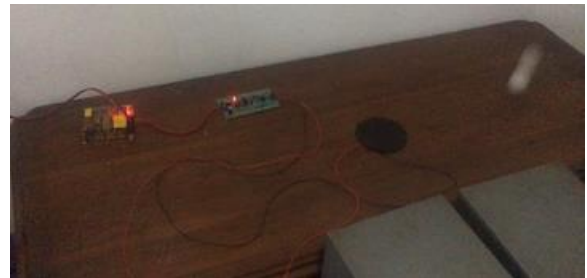
Untuk menghilangkan *noise* pada jalur catu daya maka perlu kita perhatikan pemilihan sumber tegangannya. Penggunaan *switching* regulator pada sistem ini sangat mengganggu karena frekuensi *switching* dapat turut dikuatkan. Begitu juga frekuensi jala-jala listrik 50 Hz juga dapat ikut dikuatkan. Untuk itu penggunaan IC regulator 7805 sebagai regulator tegangan sumber sangat tepat untuk dapat menghindari permasalahan-permasalahan tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil akhir dilakukan pengujian *output* modul yang dapat dilihat melalui LED indikator dan juga pengujian kinerja sistem pada lingkungan bising.

3.1 Pengujian Modul

Dari Gambar 16 terlihat LED indikator pada rangkaian berwarna merah menyala saat bola terpantul dari meja kayu. Hal ini menandakan bahwa modul sensor pendeteksi adanya bola yang terpantul pada permukaan meja kayu bekerja dengan baik. Hasil ini sama dengan hasil pada uji coba menggunakan *breadboard* terdahulu.



Gambar 16. Hasil Pengujian *Output* Modul

3.2 Pengujian Sinyal pada Lingkungan Bising

Pengujian ini dilakukan dengan mendekati *speaker* yang mengeluarkan suara riuh tepuk tangan atau musik yang bervolume tinggi didekatkan dengan sensor piezoelektrik. Hasilnya baik LED indikator tidak menyala yang berarti suara bising di lingkungan tidak mengganggu kinerja sensor dalam mendeteksi adanya pantulan bola di permukaan meja kayu seperti Gambar 17.



Gambar 17. Pengujian di Lingkungan Bising

Kemudian ketika ada bola yang terpantul pada lingkungan bising seperti Gambar 18 LED indikator berwarna merah pada rangkaian baru menyala. Hal ini menandakan suara bising di lingkungan tidak mengganggu kinerja sensor dalam mendeteksi adanya pantulan bola di permukaan meja kayu (Gambar 18).

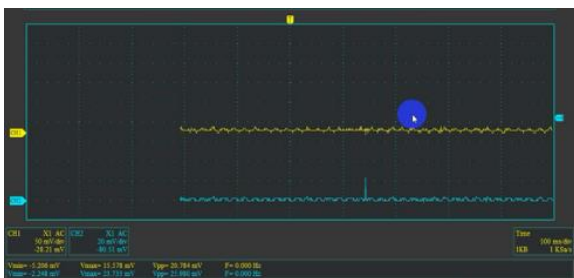


Gambar 18. Pengujian Pantulan Bola di Lingkungan Bising

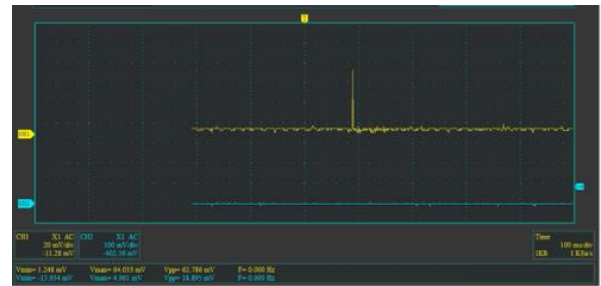
Untuk mendukung hasil *output* menggunakan LED indikator berikut ini ditampilkan hasil pengukuran menggunakan osiloskop pada titik-titik *test point* yang ada pada PCB. Pengujian dilakukan dengan mendekatkan *speaker* yang mengeluarkan musik bervolume tinggi pada sensor piezoelektrik.



Gambar 19. Respon Piezo (Kuning) & Penguat 1 (Biru)



Gambar 20. Respon Penguat 1 (Kuning) & Penguat 2 (Biru)



Gambar 21. Respon Penguat 2 (Kuning) & Penyearah (Biru)

Dari ketiga Gambar 19, 20, dan 21 membuktikan bahwa sensor mendeteksi adanya suara disekitar namun karena responnya kecil sehingga hal ini tidak akan mengganggu pendeteksian bola saat memantul pada permukaan meja kayu yang terdapat modul sensor ini. Dapat dilihat pada Gambar 21 sinyal biru adalah sinyal penyearah yang tidak menampilkan sinyal DCnya karena sinyal terlalu kecil saat masuk ke dioda penyearah sehingga tidak mempengaruhi *output*. Ini dibuktikan dengan LED tidak menyala.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini maka dapat kesimpulan:

- Penggunaan sensor piezoelektrik sudah tepat dan dapat berfungsi dengan baik untuk mendeteksi getaran bola terpantul pada meja pingpong.
- Rangkaian yang dihasilkan sudah mampu mendeteksi dan mengekstraksi getaran bola pingpong terpantul secara handal dari getaran lain disekitar meja dan suara bising lingkungan.
- Modul memiliki respon yang cepat dan mampu bekerja secara waktu nyata.

Untuk selanjutnya hasil penelitian ini akan dikembangkan menjadi sarana melatih reflek dan ketepatan menembak pemain pada suatu titik di meja dengan menerapkan multi-modul pada beberapa titik di meja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Miyahara, "Object Collision Point Detecting Apparatus," 26 december 1995.
- [2] M. Hongo and T. Umi, "Paper Conveying Apparatus with Sound Detector and Recovery Method," 21 october 2014.
- [3] J. A. Paradiso, C. K. Leo, N. Checka and K. Hsiao, "Passive Acoustic Sensing for Tracking Knocks Atop Large Interactive Displays," 12-14 Juni 2002.
- [4] A. Ahmad and M. Ikhlas, "Sistem Membuka Pintu Dengan Ketukan Bernada Menggunakan Mikrokontroler

- Atmega328," *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*, vol. 4 No 2, pp. 368-378, 2020.
- [5] G. W. C. Studach, Steiner, Marki and Ryser, "Structure Borne Sound Detector for an Intruder Alarm System," 11 February 1997.
- [6] X. Xiao, M. S. Bernstein, L. Yao, D. Lakatos, L. Gust, K. Acquah and H. Ishii, "PingPong++: Community Customization in Games and Entertainment," November 2011.
- [7] F. M. Fasha, "Perancangan dan Realisasi Robot Ping Pong dengan Kontrol Nirkabel Menggunakan Smartphone Android," Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro, 2021, Politeknik Negeri Bandung, unpublished
- [8] M. N. Gani and P. Rosmauly, "Penentu Koordinat Objek Bola Memantul pada Bidang Kayu dengan Teknik Pengolahan Suara dan Sinyal," *Prosiding-Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, pp. 535-541, 2020.
- [9] T. H. Ng and W. H. Liao, "Sensitivity Analysis and Energy Harvesting for a Self-Powered Piezoelectric Sensor," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 16, pp. 785-797, 1 October 2005.