

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN SISTEM
DETEKTOR FOTOAKUSTIK BERBASIS
TRANSDUSER TCT40-12RT DAN
MIKROKONTROLER STM32 NUCLEO-G474RE
UNTUK SISTEM PENCITRAAN FOTOAKUSTIK**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh :

Haikal Zefhan Lazuardi

20106020015

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2024

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1159/Ua.02/DST/PP.00.9007/2024

Tugas Akhir dengan judul : Rancang Bangun dan Pengujian Sistem Detektor Fotoakustik Berbasis Transduser TCT40-12RT dan Mikrokontroler STM32 Nucleo-G474RE untuk Sistem Pencitraan Fotoakustik.

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : HAIKAL ZEFHAN LAZUARDI
Nomor Induk Mahasiswa : 20106020015
Telah diujikan pada : Rabu, 10 Juli 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Frida Agung Rahmadi, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 801606714640



Penguji I

Dr. Widyadana Sidiyasa, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 80160671262626



Penguji II

Dr. Usman Fikri Niyartama, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 801606711619



Yogyakarta, 10 Juli 2024

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khuzal Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 801606719239

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Haikal Zefhan Lazuardi

NIM : 20106020015

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Rancang Bangun dan Pengujian Sistem Detektor Fotoakustik Berbasis Transduser TCT40-12RT dan Mikrokontroler STM32 Nucleo untuk Sistem Pencitraan Fotoakustik" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 10 Juni 2024

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Penulis
Haikal Zefhan Lazuardi
NIM. 20106020015

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : HAIKAL ZEPHAN LAZUARDI
NIM : 20106020015
Judul Skripsi : Rancang Bangun dan Pengujian Sistem Detektor Fotoakustik Berbasis Transduser TCT40-12RT dan Mikrokontroler STM32 Nucleo untuk Sistem Pencitraan Fotoakustik

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Pembimbing I

Frida Agung Rahmad, S.Si., M.Sc.
NIP. 19780510 200501 1 003

Yogyakarta, 2 Juli 2024
Pembimbing II

Rochan Rifai, S.Si., M.Sc.
NIP. 19980208 000000 1 301

HALAMAN MOTTO

“make a habits, habits make you”

-John Dryden-

“seperti lembar terakhir pada sebuah buku. Padamu, pulangku menuju”

“i will always enjoy the show. our journey, our days, our dreams, our memories,
and also our loves”

-Althaf-

“hate has four letter, but so does love – cry has three letter, but so does joy –
failure has seven letters, but so does success. You always have a choice, so choose
the better side of it”

-Zaky Tyree-



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini penulis persembahkan untuk :

Allah Swt.

Mama Astri Syafarika dan Ayah Ihsan Pattikawa Pohan

Ahdan Zhafif Pohan dan Cyra Chelsea Pohan

Eyang dan Wak Imelda Alini Pohan

Prodi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Al-thaf Haura Imtinan Burhani

Keluarga Besar D'Jalis dan Situmorang's

Instrumentasi Gangs

Sahabat/i Sapphire

Warga Graviteez



KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah *rabbi'l'alamin*, puji syukur atas kehadiran Allah Swt. yang telah memberikan rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN SISTEM DETEKTOR FOTOAKUSTIK BERBASIS TRANSDUSER TCT40-12RT DAN MIKROKONTROLER STM32 NUCLEO UNTUK SISTEM PENCITRAAN FOTOAKUSTIK” dengan baik dan lancar tanpa ada halangan yang berarti. Tidak lupa *shalawat* serta salam semoga tetap tercurahkan kepada beliau, baginda Rasulullah Muhammad Saw, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya di *yaumul qiyamah* kelak. *Aamiin*.

Penyusunan skripsi ini merupakan suatu kewajiban bagi penulis untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan serta untuk mendapatkan predikat sarjana. Penulis sangat berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang terkait demi perkembangan dan kemajuan ilmu pengetahuan. Dalam penyusunan serta pelaksanaan tugas akhir ini penulis telah mengalami dinamika dan mendapatkan banyak bantuan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Oleh karena itu, sepatutnya penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Kepada Mama, Ayah, Ahdan dan Chelsea yang senantiasa memberikan dukungan semangat dan tentu saja doa.

2. Bapak Prof. Dr. Phil. Al-Makin, S.Ag., M.A. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
5. Ibu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc. Selaku dosen pembimbing skripsi yang senantiasa memberikan arahan dan masukan dalam penelitian ini.
7. Mas Rochan Rifai, S.Si., M.Si selaku pembimbing skripsi yang senantiasa kebersamai dalam proses penelitian ini.
8. Seluruh Dosen Prodi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan bimbingan beserta ilmunya.
9. Teman-teman instrumentasi seperbimbingan, seperfotoakustikan dan seperjuangan yaitu Handi, Nika, Dinan, Bintang dan Namira.
10. Al-Thaf Haura Imtinan Burhani yang selalu mendukung, menyemangati, kebersamai, dan memberikan doa terbaik kepada penulis. *Thanks a bunch, dear!*
11. Sahabat-sahabati Korp Sapphire PMII Rayon Aufklarung.
12. Teman-teman warga Graviteez.
13. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan laporan penelitian ini dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Selain ucapan terima kasih, penulis juga memohon maaf apabila dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak sekali kekurangan dan kesalahan baik dari sistematika penyusunan, isi, hingga hasil yang telah dilaporkan ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, bagi penulis pribadi maupun bagi para pembaca

Wassalammu'alaikum Wr. Wb..

Yogyakarta, 26 Mei 2024



Penulis



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN DETEKTOR FOTOAKUSTIK BERBASIS TRANSDUSER TCT40-12RT DAN MIKROKONTROLER STM32 NUCLEO UNTUK SISTEM PENCITRAAN FOTOAKUSTIK

Haikal Zefhan Lazuardi

20106020015

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo untuk sistem pencitraan fotoakustik. Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahap dimulai dari perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem detektor. Perancangan sistem detektor dilakukan dengan membuat skema rangkaian dan membuat desain *casing* sistem detektor menggunakan perangkat lunak Fritzing dan SketchUp. Tahapan pembuatan dilakukan dengan mencetak *casing* sistem detektor, merakit blok detektor, membuat program pada blok program dan perakitan keseluruhan detektor. Program pada blok program dibuat menggunakan perangkat lunak STM32Cube IDE yang merupakan *integrated software* milik mikrokontroler STM32 Nucleo. Pengujian sistem detektor dilakukan dengan menguji respon detektor terhadap perubahan frekuensi, nilai SNR (*signal-to-noise ratio*), nilai akurasi, dan nilai presisi keterulangan. Parameter pengujian dilakukan dengan membandingkan keluaran frekuensi dari detektor dengan keluaran frekuensi modulasi pada osiloskop. Sistem detektor telah berhasil dirancang, dibuat, dan diuji sehingga telah didapatkan respon detektor terhadap frekuensi terbaik pada frekuensi 40 kHz dengan amplitudo 17,29 V, nilai SNR tertinggi yaitu 17,2 pada frekuensi 40 kHz, nilai akurasi sebesar 99,99%, dan nilai presisi keterulangan sebesar 99,99%. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa sistem detektor memiliki kemampuan mendeteksi gelombang dengan baik, serta telah memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh SNI ISO-17025. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam bidang fotoakustik, terutama dalam proses akuisisi data agar proses rekonstruksi citra lebih optimal.

Kata Kunci : Detektor Fotoakustik, Respon Detektor, STM32 Nucleo, TCT40-12RT.

**DESIGN AND TESTING OF PHOTOACOUSTIC DETECTORS BASED ON
TCT40-12RT TRANSDUCER AND STM32 NUCLEO
MICROCONTROLLERS FOR PHOTOACOUSTIC IMAGING SYSTEMS**

Haikal Zefhan Lazuardi

20106020015

ABSTRACT

This research aims to design, manufacture, and test a photoacoustic detector system based on a TCT40-12RT transducer and a STM32 Nucleo-G474RE microcontroller for a photoacoustic imaging system. This research was conducted in three stages, starting with the design, manufacture, and testing of the detector system. The design of the detector system is done by making a circuit scheme and making a detector system casing design using Fritzing and SketchUp software. The manufacturing stage is carried out by printing the detector system casing, assembling the detector block, creating a program on the program block, and assembling the entire detector. The program on the program block is made using STM32Cube IDE software, which is integrated software belonging to the STM32 Nucleo-G474RE microcontroller. Testing the detector system is done by testing the detector's response to changes in frequency, SNR (signal-to-noise ratio) value, accuracy value, and repeatability precision value. Parameter testing is done by comparing the frequency output from the detector with the modulation frequency output on an oscilloscope. The detector system has been successfully designed, made, and tested so that the detector response to the best frequency has been obtained at a frequency of 40 kHz with an amplitude of 17.29 volts, SNR highest value of 17,3 at 40 kHz, an accuracy value of 99.99%, and a repeatability precision value of 99.99%. The test results show that the detector system has the ability to detect waves well, and has met the standards set by SNI ISO-17025. The results of this research are expected to make a positive contribution in the field of photoacoustics, especially in the data acquisition process so that the image reconstruction process is more optimal.

Keywords: *Photoacoustic Detector, Sensitivity, STM32 Nucleo, TCT40-12RT.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
INTISARI.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Studi Pustaka	8
2.2 Landasan Teori	11
2.2.1 Pencitraan Fotoakustik.....	11
2.2.2 Citra.....	13
2.2.3 Prinsip Pembangkitan dan Pendeteksian Sinyal Fotoakustik.....	16
2.2.4 Radiasi Non Stasioner	22
2.2.5 Detektor Sinyal Fotoakustik.....	24
2.2.6 Transduser Ultrasonik TCT40-12RT	25
2.2.7 STM32 Nucleo-64	27
2.2.8 Transformasi Fourier	29
2.2.9 <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT).....	30
2.2.10 Perangkat lunak STM32CubeIDE.....	31

2.2.11	LabVIEW	32
2.2.12	SNR (<i>signal-to-noise ratio</i>).....	35
2.2.13	Akurasi	36
2.2.14	Presisi	37
2.2.15	Wawasan Islam Tentang Ilmu Pengetahuan dan Teknologi	40
BAB III METODE PENELITIAN		42
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	42
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	43
3.2.1	Alat Perancangan Sistem.....	43
3.2.2	Alat dan Bahan Pembuatan Sistem	43
3.2.3	Alat Pengujian Sistem	44
3.3	Prosedur Penelitian	45
3.3.1	Perancangan Sistem.....	45
3.3.2	Pembuatan Sistem	47
3.3.3	Pengujian Sistem.....	54
3.4	Rencana Pembahasan Hasil.....	60
3.4.1	Pembahasan Hasil Perancangan dan Pembuatan Sistem.....	60
3.4.2	Pembahasan Hasil Pengujian Sistem.....	61
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		63
4.1	Hasil	63
4.1.1	Hasil Perancangan Sistem	63
4.1.2	Hasil Pembuatan Sistem.....	65
4.1.3	Hasil Pengujian Sistem.....	70
4.2	Pembahasan	73
4.2.1	Hasil Perancangan dan Pembuatan Sistem.....	74
4.2.2	Hasil Pengujian Sistem.....	78
4.2.3	Integrasi-Interkoneksi.....	83
BAB V PENUTUP.....		85
5.1	Kesimpulan.....	85
5.2	Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA		87
LAMPIRAN.....		92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip pencitraan fotoakustik (Wang dan Yao, 2016 cit Oey, 2021)	13
Gambar 2. 2 Susunan piksel dalam citra (Darma, 2010).	14
Gambar 2. 3 Proses akuisisi citra (Sumijan & Purnama, 2021).	15
Gambar 2. 4 Hasil proyeksi citra. (a) Proyeksi gambar kontinu ke array sensor. (b) Hasil pengambilan sampel dan kuantisasi citra (Sumijan & Purnama, 2021).	16
Gambar 2. 5 Mekanisme pembangkitan sinyal fotoakustik (El-Sharkawy)	18
Gambar 2. 6 Deteksi mode maju (A) dan mundur (B) dari detektor fotoakustik (Vo-Dinh, 2002)	22
Gambar 2. 7 Skema penggunaan teknik spektroskopi fotoakustik (Bageshwar dkk, 2010).	24
Gambar 2. 8 Grafik respon terhadap frekuensi transduser TCT40-12RT	27
Gambar 2. 9 Transduser TCT40-12RT	27
Gambar 2. 10 STM32 Nucleo G474RE board	29
Gambar 2. 11 Proses transformasi (Anike, 2015)	30
Gambar 2. 12 Komponen-komponen VI (Kodosky, 2020)	33
Gambar 2. 13 Hubungan antara presisi dan akurasi	38
Gambar 3.1 Diagram blok sistem	47
Gambar 3. 2 Diagram alir pembuatan blok program	53
Gambar 3. 3 Skema pengujian sistem detektor fotoakustik	55
Gambar 4. 1 Desain casing sistem detektor tampak (a) atas, (b) depan, dan (c) bawah	64
Gambar 4. 2 Hasil perancangan keseluruhan sistem	65
Gambar 4. 3 Hasil pembuatan casing sistem tampak (a) atas, (b) depan, dan (c) bawah	66
Gambar 4. 4 Hasil perakitan blok detektor (a) tampak atas (b) tampak depan dan (c) tampak keseluruhan	67
Gambar 4. 5 Hasil perakitan keseluruhan sistem detektor fotoakustik	68
Gambar 4. 6 Diagram alir representasi hasil pembuatan kode program pada blok mikrokontroler	70
Gambar 4. 7 Grafik respon detektor terhadap perubahan frekuensi	71
Gambar 4. 8 Grafik nilai SNR (signal-to-noise ratio) sistem detektor	72

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Timeline penelitian	42
Tabel 3. 2 Alat perancangan sistem.....	43
Tabel 3. 3 Alat pembuatan sistem	44
Tabel 3. 4 Bahan pembuatan sistem	44
Tabel 3. 5 Alat pengujian sistem	44
Tabel 3. 6 Konfigurasi pin blok detektor dan blok program	52
Tabel 3. 7 Data respons detektor sistem detektor.....	57
Tabel 3. 8 Data rekaman signal dan noise sistem detektor.....	57
Tabel 3. 10 Hasil penghitungan nilai SNR (signal-to-noise ratio)	58
Tabel 3. 11 Hasil penghitungan nilai akurasi sistem detektor.....	59
Tabel 3. 12 Hasil pengujian presisi keterulangan detektor fotoakustik.....	60
Tabel 4. 1 Hasil pengujian nilai SNR (signal-to-noise ratio)	72
Tabel 4. 2 Hasil pengujian nilai akurasi sistem detektor.....	73
Tabel 4. 3 Hasil pengujian nilai presisi keterulangan sistem detektor	73



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pencitraan atau *imaging system* telah mengalami perkembangan yang cukup pesat di seluruh dunia termasuk di Indonesia. Kemajuan teknologi seperti pencitraan medis telah memungkinkan peningkatan yang signifikan dalam menganalisis sebuah citra dan pemahaman informasi visual. Pencitraan merupakan elemen kunci dalam sektor kesehatan karena digunakan untuk diagnosa medis dan pemantauan pasien, diagnosis hasil pencitraan medis memiliki peran krusial dalam perawatan kesehatan masyarakat. Perkembangan sistem pencitraan telah menghasilkan sistem pencitraan yang lebih canggih dan efisien dalam penggunaannya, salah satu contohnya adalah pencitraan fotoakustik yang berpotensi menghasilkan citra berkualitas untuk diagnosis penyakit (Matua dan Widodo, 2017).

Sistem pencitraan fotoakustik adalah teknik pencitraan yang menggabungkan prinsip-prinsip foto dan akustik untuk menghasilkan citra dari sebuah material. Metode pencitraan yang digunakan adalah hibrid non-invasif yang dalam proses paparan nya menghasilkan sinyal akustik yang disebut efek fotoakustik (Setiawan dkk, 2018). Prinsip sistem ini adalah menghasilkan citra dari struktur material yang terpapar (Ma dkk, 2023). Proses pencitraan fotoakustik dimulai dengan memancarkan serangkaian pulsa cahaya dengan frekuensi tertentu ke dalam suatu molekul yang

kemudian terjadi penyerapan oleh molekul tersebut. Pada saat yang hampir bersamaan, serapan energi cahaya menghasilkan ekspansi termal jangka pendek yang menghasilkan gelombang akustik (Sanjaya dkk, 2022). Gelombang akustik ini kemudian ditangkap oleh detektor akustik yang kemudian diproses dan digunakan untuk menghasilkan citra dari struktur molekul (Zhou dkk, 2016).

Sistem fotoakustik terdiri dari beberapa perangkat optik yang berfungsi menghasilkan gelombang bunyi yang selanjutnya direkam oleh mikrofon. Komponen utama dalam sistem ini adalah laser diode dan mikrofon kondenser, laser diode berfungsi menghasilkan cahaya getaran pendek dengan frekuensi tertentu (Zhou dkk, 2016). Adapun mikrofon kondenser berperan sebagai detektor akustik yang berfungsi merekam gelombang akustik sehingga didapatkan parameter fisis dari material yang terpapar radiasi (Sanjaya dkk, 2022).

Pencitraan fotoakustik terus mengalami peningkatan terutama dari sisi kontras dan resolusi. Detektor akustik yang berfungsi menerima dan merekam gelombang akustik menjadi bagian penting dalam menghasilkan kontras dan resolusi yang baik. Terdapat banyak sekali detektor fotoakustik yang beredar di pasaran, mulai dari mikrofon kondenser yang kerap ditemukan pada perangkat fotoakustik, fotodetektor, *array mikrofon*, dan detektor ultrasonik. Dari banyaknya detektor akustik yang beredar, hanya detektor ultrasonik yang memiliki rentang frekuensi tertinggi dengan frekuensi hingga beberapa puluh Megahertz atau lebih tinggi. Hal ini

menyebabkan detektor ultrasonik menjadi pilihan utama untuk mengembangkan sistem detektor fotoakustik. Detektor ultrasonik memanfaatkan gelombang bunyi dengan frekuensi di atas 20 KHz dalam prinsip kerjanya (Supriyadi dan Widyantoko, 2020).

Gelombang bunyi dengan frekuensi pada rentang 20 sampai 20kHz adalah gelombang bunyi yang dapat didengar oleh manusia (Fitri dkk, 2023). Fenomena mengenai mendengar bunyi tersaji pada firman Allah Swt. dalam Al-Qur'an Surat al-kahfi ayat 11 yang berbunyi:

فَضْرَبْنَا عَلَىٰ آذَانِهِمْ فِي الْكَهْفِ سِنِينَ عَدَدًا

Artinya; *“Maka kami tutup telinga mereka di dalam gua itu, selama beberapa tahun.”*(Al-Atsar, 2022).

Pada ayat tersebut, fenomena bunyi dapat terdengar diperjelas oleh penggalan ayat *فَضْرَبْنَا عَلَىٰ آذَانِهِمْ* (Maka kami tutup telinga mereka) yang memiliki makna mereka tidak dapat mendengarkan suara apapun dikarenakan indra pendengar yaitu telinga tertutup (Al-Asyqar).

Menurut sains, gelombang bunyi merupakan sebuah gelombang longitudinal yang merambat melalui medium dan dapat didengar. Gelombang bunyi mengalami perambatan dengan laju yang berbeda tergantung sifat medium yang dirambatinya (Ulinuha, 2018). Detektor ultrasonik sebagai detektor fotoakustik menangkap gelombang akustik (bunyi) yang dihasilkan melalui proses ekspansi termal jangka pendek (Sanjaya dkk, 2022).

Belakangan ini, banyak sekali detektor ultrasonik yang dikembangkan pada sistem pencitraan fotoakustik. Detektor ultrasonik

dinilai mampu mendeteksi gelombang akustik dengan kelajuan tinggi dan memberikan informasi yang lebih akurat, sehingga menghasilkan citra dengan kontras yang lebih baik (Erfanzadeh dan Zhu, 2019). Salah satu detektor ultrasonik yang beredar di pasaran adalah transduser TCT40-12RT yang memiliki kemampuan merespon frekuensi hingga 40 kHz. Frekuensi ultrasonik berada di atas batas pendengaran frekuensi manusia yaitu 20 Hz sampai 20 kHz. Keunggulan dari transduser TCT40-12RT yaitu dapat menghasilkan resolusi spasial yang lebih tinggi dibandingkan mikrofon kondenser yang hanya dapat menangkap gelombang dengan rentang frekuensi hingga 20 kHz (Nurdialit, 2020). Resolusi spasial yang tinggi dapat mendukung pencitraan yang lebih rinci karena resolusi spasial menunjukkan tingkat kedetailan suatu obyek pada citra (Hadi, 2019). Kombinasi sistem pencitraan fotoakustik dengan detektor ultrasonik mampu menghasilkan gambar resolusi tinggi dengan kedalaman penetrasi yang baik (Matua dan Widodo, 2017). Selain itu, transduser TCT40-12RT juga memiliki harga yang relatif murah.

Berdasarkan pemaparan di atas, penelitian ini hendak mengembangkan detektor fotoakustik menggunakan transduser TCT40-12RT yang memiliki kemampuan merespon frekuensi hingga rentang 40 kHz atau dua kali lipatnya mikrofon kondenser yaitu 20 kHz (Nurdialit, 2020). Namun, frekuensi yang tinggi memerlukan sistem pengolahan sinyal yang dapat mengolah sinyal dengan cepat dan akurat, hal ini tentu saja untuk mendukung maksimalnya citra yang akan dihasilkan. STM32 Nucleo

menjadi mikrokontroler yang sangat potensial diterapkan pada sistem detektor fotoakustik karena STM32 Nucleo adalah sebuah mikrokontroler berbasis arsitektur ARM (*Advanced Risc Machine*) yang handal dalam hal transfer data. Kecepatan *clock*-nya bisa mencapai 168 MHz dan memiliki resolusi ADC hingga 32 bit (Norris, 2018).

Proses pengembangan detektor memerlukan beberapa tahapan mulai dari perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem detektor fotoakustik agar detektor yang dihasilkan handal dalam menerima data. Pengujian yang dilakukan meliputi respon detektor terhadap perubahan frekuensi, nilai SNR (*signal-to-noise ratio*) detektor dan presisi keterulangan detektor. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem detektor fotoakustik dalam menangkap gelombang akustik.

Sebelum dilakukan pembuatan sistem, perlu dilakukan perancangan sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT untuk sistem pencitraan fotoakustik terlebih dahulu. Perancangan dilakukan dengan tujuan untuk memberikan gambaran tentang bagaimana sistem dibuat, sehingga proses pembuatan sistem selanjutnya akan lebih mudah, efisien dan meminimalisir kesalahan. Dari penelitian ini diharapkan dapat dihasilkan sebuah sistem detektor fotoakustik berbasis ultrasonik yang handal dengan harga yang juga relatif murah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, rumusan masalah pada penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Bagaimana rancangan sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo untuk sistem pencitraan fotoakustik?
2. Bagaimana hasil pembuatan sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo untuk sistem pencitraan fotoakustik?
3. Bagaimana kinerja sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo untuk sistem pencitraan fotoakustik?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tiga tujuan. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo untuk sistem pencitraan fotoakustik.
2. Membuat sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo untuk sistem pencitraan fotoakustik.
3. Menguji sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo untuk sistem pencitraan fotoakustik.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut.

1. *Board* mikrokontroler yang digunakan dalam sistem detektor adalah STM32 Nucleo-G474RE 64 bit.

2. Parameter pengujian sistem detektor adalah respon detektor terhadap perubahan frekuensi, SNR (*signal-to-noise ratio*), akurasi dan presisi keterulangan.
3. Proses pengujian menggunakan transduser TCT40-12T sebagai pemancar gelombang ultrasonik.
4. Pengujian yang dilakukan hanya dalam skala laboratorium.
5. Penelitian ini terbatas pada pengembangan sistem detektor fotoakustik dengan pengujian dari gelombang ultrasonik buatan untuk mengetahui karakteristik detektor.

1.5 Manfaat Penelitian

Hadirnya sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo untuk sistem pencitraan fotoakustik bermanfaat untuk:

1. Memperoleh sistem detektor fotoakustik berbasis ultrasonik yang handal dengan harga yang lebih murah 20x lipat dibandingkan mikrofon kondenser yang biasa digunakan pada alat pencitraan fotoakustik.
2. Meningkatnya respons detektor pada sistem pencitraan fotoakustik hingga rentang 40 kHz menggunakan transduser ultrasonik.
3. Memberikan informasi mengenai karakteristik sistem detektor fotoakustik yang berpotensi menjadi acuan dalam penggunaan pada alat pencitraan fotoakustik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo-G474RE untuk sistem pencitraan fotoakustik. Sistem dirancang menggunakan perangkat lunak SketchUp dan Fritzing. Sistem dibuat berdasarkan acuan pada hasil rancangan sistem yang telah dibuat. Adapun sistem diuji berdasarkan : respon detektor terhadap perubahan frekuensi, SNR (*signal-to-noise ratio*), akurasi, dan presisi keterulangan. Berdasarkan hasil penelitian beserta pembahasannya, maka dapat ditarik kesimpulan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo-G474RE untuk sistem pencitraan fotoakustik telah berhasil dirancang. Hasil rancangan berupa desain *casing* sistem dan skema rangkaian sistem yang digunakan dalam proses pembuatan sistem. Hasil perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.
2. Sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo-G474RE untuk sistem pencitraan fotoakustik telah berhasil dibuat. Hasil pembuatan berupa perangkat keras sistem detektor fotoakustik yang berfungsi dengan baik untuk merekam gelombang akustik seperti terlihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

3. Sistem detektor fotoakustik berbasis transduser TCT40-12RT dan mikrokontroler STM32 Nucleo-G474RE untuk sistem pencitraan fotoakustik telah berhasil diuji kemampuannya. Hasil pengujian berupa 4 parameter meliputi respon detektor terhadap perubahan frekuensi, nilai SNR, nilai akurasi dan nilai presisi keterulangan. Keempat parameter tersebut dapat dilihat secara urut pada Gambar 4.7, Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3.
4. Hasil pengujian memberikan informasi mengenai kemampuan sistem yang telah dibuat meliputi respon detektor terhadap perubahan frekuensi terbaik pada 40 kHz dengan amplitudo 17,29 V, nilai SNR pada setiap variasi frekuensi sebesar 7,4;9,8;11,3;17,3;11,8;9,0;7,2;10,1 dengan nilai SNR tertinggi pada frekuensi 40 kHz yaitu 17,3; serta nilai akurasi dan presisi keterulangan masing-masing 99,99% yang dinilai baik karena telah melebihi nilai standar ISO 17025-2017 yaitu minimal 98% untuk akurasi dan presisi keterulangan.

5.2 Saran

Sistem detektor fotoakustik yang telah dibuat telah memberikan informasi mengenai kemampuan sistem detektor dalam mendeteksi gelombang. Namun, belum dilakukan uji kelayakan hasil perekaman sinyal sistem detektor untuk kemudian di proses menjadi citra. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian kelayakan sinyal hasil perekaman sistem detektor untuk diproses menjadi sebuah citra.

DAFTAR PUSTAKA

- Albagli, D., Dark, M., von Rosenberg, C., Perelman, L., Itzkan, I., & Feld, M. S. 1994. Laser-induced thermoelastic deformation: A three-dimensional solution and its application to the ablation of biological tissue. *Medical Physics*, 21(8), 1323–1331. <https://doi.org/10.1118/1.597202>
- Anike, M. 2015. Analisis Pengolahan Citra Menggunakan Metode Transformasi Fourier. *Konferensi Nasional Sistem & Informatika*.
- Arifah, A. N., Kartikasari, Y., & Murniati, E. 2017. Analisis Perbandingan Nilai Signal To Noise Ratio (SNR) Pada Pemeriksaan MRI Ankle Joint dengan Menggunakan Quad Knee Coil dan Flex/Multipurpose Coil. *JlmeD*, 3(1), 220–224.
- Ashari, H. 2018. *STM32 ARM CORTEX-M SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bageshwar, D., Pawar, A. S., Khanvilkar, V., & Kadam, V. 2010. Photoacoustic Spectroscopy and Its Applications – A Tutorial Review. *Eurasian Journal Of Analytical Chemistry*, 187–203.
- Barnes, C., Henke, L., Henke, L., Krukov, I., & Hildreth, O. 2023. SwiftVISA: Controlling Instrumentation with a Swift-based Implementation of the VISA Communication Protocol. *Journal of Open Source Software*, 8(83), 4752. <https://doi.org/10.21105/joss.04752>
- BSN. 2018. *Implementasi SNI ISO/IEC 17025:2017*. Badan Standardisasi Nasional.
- Budianto, M. R. R., Galih, T. R. S. W., & Kurnia, S. F. 2021. Perspektif Islam Terhadap Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. *Islamika : Jurnal Ilmu-Ilmu Keislaman*, 21(01), 55–61.
- El-Sharkawy, Y. H., & El-Sherif, A. F. 2011. Laser ultrasound characterization of normal and decayed teeth by measuring elastic properties of surface layers. *In Proc. of SPIE*, 78971K--1.
- Erfanzadeh, M., & Zhu, W. 2019. Photoacoustic imaging with low-cost sources; A review. *Elsevier*, 14, 1–11.
- Fitri, N. A., Sa'adah, N., Fikriya, S., Suryandari, K. C., & Fatimah, S. 2023. Analisis Gelombang Bunyi Melalui Alat Peraga Sederhana dan Relevansinya dalam Pembelajaran di SD. *Social, Humanities, and Educational Studies (SHES): Conference Series*, 6(1), 617. <https://doi.org/10.20961/shes.v6i1.71198>

- Fraden, J. 2016. *Handbook of Modern Sensors* (Fifth Edition). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19303-8>
- Fukuyama, M. 2018. Society 5.0: Aiming for a new human-centered society. *Japan Spotlight*, 27, 47–50.
- Gultom, I., Hasibuan, N. A., & Saputra, I. 2018. Implementasi metode transformasi fourier dan similarity measurement untuk perbaikan citra underwater. *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi Dan Komputer)*, 2(1). <http://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/komik>
- Hadi, B. S. 2019. *PENGINDERAAN JAUH : Pengantar ke Arah Pembelajaran Spasial* (S. Amalia, N. Fitria, & Fathoni, Eds.; 1st ed.). UNY Press.
- Haq, A. D., Santoso, I., Ajulian, A., & Macrina, Z. 2012. Estimasi Signal To Noise Ratio (SNR) Menggunakan Metode Korelasi. *TRANSIENT*, 1.
- Hidayat, D., Wibawa, B. M., & Syafei, N. S. 2019. Pengukuran Frekuensi Respon Piezoelektrik Untuk Komponen Elemen Aktif Transduser Ultrasonik. *SINERGI (Seminar Nasional Energi & Teknologi)*.
- Isnawati, A. F., Susanto, I., & Purwanita, R. A. 2010. Analisis Jarak Terhadap Redaman, SNR (Signal To Noise Ratio), dan Kecepatan Download Pada Jaringan ADSL. *Jurnal Infotel*, 2.
- Jading, A., Reniana, & Paga, B. O. 2020. *Buku Ajar Pengukuran dan Instrumentasi*. Deepublish.
- Janna, M., Mitrayana, M., & Widyaningrum, R. 2022. Pengaruh Pemberian Agen Kontras Pewarna Sintetik pada Jaringan Biologis terhadap Hasil Pencitraan Fotoakustik. *INDONESIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, 12(2), 176. <https://doi.org/10.13057/ijap.v12i2.57219>
- Jumrianto, Wahyudi, & Syakur, A. 2022. Pengujian Sensitivitas Sensor Arus dan Sensor Tegangan pada Sistem Pengukuran Electrical Tracking Test. *Journal of Syses, Information Technology, and Electronics Engineering*, 1(2), 30–39. <http://e-journal.ivet.ac.id/index.php/jsitee>
- Kodosky, J. 2020. LabVIEW. *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, 4(HOPL), 1–54. <https://doi.org/10.1145/3386328>
- Kolkman, R. G. M., Steenbergen, W., & van Leeuwen, T. G. 2006. In vivo photoacoustic imaging of blood vessels with a pulsed laser diode. *Lasers in Medical Science*, 21(3), 134–139. <https://doi.org/10.1007/s10103-006-0384-z>
- Kusumanto, R. D., & Tompunu, A. N. 2011. Pengolahan Citra Digital Untuk Mendeteksi Obyek Menggunakan Pengolahan Warna Model Normalisasi RGB. In *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan*.

- Ma, J., Zhao, J., Chen, H., Sun, L.-P., Li, J., & Guan, B.-O. 2023. Transparent microfiber Fabry-Perot ultrasound sensor with needle-shaped focus for multiscale photoacoustic imaging. *Elsevier*, 30.
- Matua, G., & Wahyu Widodo, T. 2017. Penerapan Sistem Kendali XY-Stage dan Modulasi Laser Pada Tomografi Fotoakustik Menggunakan Arduino. *IJEIS*, 7(2), 149–160.
- Miklós, A., & Hess, P. 2000. Peer Reviewed: Modulated and Pulsed Photoacoustics in Trace Gas Analysis. *Analytical Chemistry*, 72(1), 30 A-37 A. <https://doi.org/10.1021/ac002681m>
- Miklós, A., Schäfer, S., & Hess, P. 1999. Photoacoustic Spectroscopy, Theory*. In *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (pp. 2151–2158). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374413-5.00360-2>
- Morris, A. S., & Langari, R. 2012. Measurement and Instrumentation : Theory and Application. *Elsevier*.
- Munir, R. 2021. *Pembentukan Citra dan Digitalisasi Citra*.
- Nasrulloh, M. D., Waluyo, & Darmono, H. 2019. Perancangan Sistem Audio Crossover Berbasis Digital Filter Menggunakan STM32L4. *JARTEL*, 9(4).
- Norris, D. 2018. *Programming with STM32: Getting Started with the Nucleo Board and C/C++*. McGraw-Hill Education.
- Nurdialit, D. G. 2020. *Sistem Fotoakustik Tomografi Untuk Pencitraan Jaringan Biologis*. Universitas Gadjah Mada.
- Nurkholis, Junaidi, & Surtono, A. 2014. Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Resonansi gelombang Bunyi Menggunakan Transduser Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. In *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika* (Vol. 02, Issue 02).
- Oey, L. S. 2021. *Aplikasi Sistem Tomografi Fotoakustik Untuk Pencitraan Forensik Studi Kasus Monitoring Dekomposisi Daging Babi*. Universitas Gadjah Mada.
- Pao, Y.-H. 1977. *Optoacoustic Spectroscopy and Detection* (1st Edition). Academic Press.
- Reddy, V., & Prasad, J. 2011. Color Image Registration and Template Matching Using Quaternion Phase Correlation. *UbiCC*, 06(01), 714–721.
- Riyanto. 2014. *Validasi & Verifikasi Metode Uji Sesuai Dengan ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian Dan Kalibrasi*. Deepublish.

- Rizal, M. 2020. *Pengukuran Teknik: Dasar & Aplikasi* (A. Fahrina & Muchamad. Masduki Khamdan, Eds.). SYIAH KUALA UNIVERSITY PRESS.
- Rosencwaig, A., & Gersho, A. 1976. Theory of the photoacoustic effect with solids. *Journal of Applied Physics*, 47(1), 64–69.
<https://doi.org/10.1063/1.322296>
- Sanjaya, E. R., Muninggar, J., Setiawan, A., & Ultrasonografi, A. 2022. *Uji Coba Metode Pencitraan Multimodalitas Ultrasonografi Dan Fotoakustik* (Vol. 7, Issue 1).
- Setiawan, A., Suparta, G. B., Mitrayana, & Nugroho, W. 2018. Surface crack detection with low-cost photoacoustic imaging system. *International Journal of Technology*, 9(1), 159–169. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i1.1506>
- Setiawan, I. 2009. *Sensor dan Transduser*. Program Studi Sistem Komputer Fakultas teknik.
- Sharon, D. 1982. *Principles of Analysis Chemistry*. Harcourt Brace College Publisher.
- Shihab, M. Q. 1995. *Membumikan Al-Qur'an*. Mizan.
- Sparzinanda, E., & Nurhidayah, dan. 2017. Pengaruh Faktor Eksposi Terhadap Kualitas Citra Radiografi. *JoP*, 3, 14–22.
- STMicroelectronics. 2015. *UM1956 User manual STM32 Nucleo-32 boards*. <http://mbed.org>.
- STMicroelectronics. 2020. *Datasheet STM32G474xB STM32G474xC STM32G474xE*. www.st.com
- Sumijan, & Purnama, P. A. W. 2021. *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra Digital Penerapan dalam Bidang Citra Medis* (S. J. Insani & Y. Alhidayah, Eds.). Insan Cendekia Mandiri.
- Suparti. 2005. Perbandingan Estimator Regresi Nonparametrik Menggunakan Metode Fourier dan Metode Wavelet. *Jurnal Matematika*, 08(03), 8894.
- Supriyadi, E., & Widyantoko, W. 2020. PERANCANGAN BANGUN ALAT DETECTOR START FINISH BERBASIS NodeMCU. *Sainstech*, 30(2).
- Ulinuha, A. H. 2018. *BUNYI DALAM PRESPEKTIF AL QURAN DAN SAINS*. 1(1).
- Utama, J. 2011. Akuisisi Citra Digital Menggunakan Pemrograman MatLab. *Maajalah Ilmiah UNIKOM*, 9, 71–80.
- Vo-Dinh, T. 2002. *Biomedical Photonics Handbook*. CRC Press LLC.
<https://doi.org/10.1201/9780203008997>

- Wang, L. V., & Wu, H. 2009. *Biomedical Optics*. Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9780470177013>
- Wijanto, E., Harsono, B., Renandy, R., Septian, A., & Sutanto, K. 2018. Pengujian Sistem Konversi Energi Suara menjadi Energi Listrik menggunakan Piezoelektrik. *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 17(1).
- Wiranata, L. F. 2021. Pengukuran Laju Aliran Udara dalam Pipa secara Simultan dengan Transduser Ganda Ultrasonik. *Indonesian Physical Review*, 4.
<https://doi.org/10.29303/i>
- Xu, M., & Wang, L. V. 2006. Photoacoustic imaging in biomedicine. *Review of Scientific Instruments*, 77(4). <https://doi.org/10.1063/1.2195024>
- Yohanes Sipasulta, R., Lumenta, A. S., & RUA Sompie, S. 2014. *Simulasi Sistem Pengacak Sinyal Dengan Metode FFT (Fast Fourier Transform)*.
- Yudha, S., & Dewilza, N. 2023. *Radiografi Digital*. Deepublish.
- Yusro, M., & Diamah, A. 2019. *SENSOR & TRANSDUSER : Teori dan Aplikasi*. Universitas Negeri Jakkarta.
- Zhao, H., Cheng, J., & Jin, J. 2009. NI vision based automatic optical inspection (AOI) for surface mount devices: Devices and method. *2009 International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices*, 356–360. <https://doi.org/10.1109/ASEMD.2009.5306622>
- Zhou, Y., Yao, J., & Wang, L. V. 2016. Tutorial on photoacoustic tomography. *Journal of Biomedical Optics*, 21(6), 061007.
<https://doi.org/10.1117/1.jbo.21.6.061007>