

Pembuatan dan Penerapan Sistem *Lock-In Amplifier*

Berbasis Perangkat Lunak LabVIEW

Untuk Pencitraan Fotoakustik

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh derajat sarjana S-1

Program Studi Fisika



diajukan oleh:

Dinan Nur Khofifah

20106020031

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
YOGYAKARTA

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2024



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-1582/Un.02/DST/PP.00.9/08/2024

Tugas Akhir dengan judul : Pembuatan dan penerapan Sistem Lock-in Amplifier Berbasis Perangkat Lunak LabVIEW Untuk Pencitraan Fotoakustik

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : DINAN NUR KHOFIFAH
Nomor Induk Mahasiswa : 20106020031
Telah diujikan pada : Kamis, 22 Agustus 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 Rakhmadi, S.Si., M.Sc.

SIGNED

Valid ID: 66cb03acaf391



Penguji I

Dr. Widayanti, S.Si. M.Si.

SIGNED

Valid ID: 66ca86f45a511



Penguji II

Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D.

SIGNED

Valid ID: 66c9bece73c1a



Yogyakarta, 22 Agustus 2024

UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.

SIGNED

Valid ID: 66cbffd119adc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dinan Nur Khofifah
NIM : 20106020031
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Pembuatan dan Penerapan Sistem *Lock-in Amplifier* Berbasis Perangkat Lunak LabVIEW Untuk 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, 15 Agustus 2024

Penulis



Dinan Nur Khofifah
NIM. 20106020031

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



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 : Dinan Nur Khofifah
NIM : 20106020001
Judul Skripsi : Pembuatan dan Penerapan Sistem *Lock-in Amplifier* Untuk 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.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY *Wassalamu'alaikum wr. wb.*

SUNAN KALIJAGA

Yogyakarta, 15 Agustus 2024

Pembimbing II

Pembimbing I

Rochan Rifa'i, S.Si., M.Sc
NIP. 19980208 000000 1 301

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

**PEMBUATAN DAN PENERAPAN LOCK-IN AMPLIFIER BERBASIS
PERANGKAT LUNAK LABVIEW UNTUK PENCITRAAN
FOTOAKUSTIK**

Dinan Nur Khofifah

20106020031

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk Merancang, membuat dan menguji *lock-in amplifier* untuk mengukur sinyal akustik yang teredam oleh derau. Penelitian ini dilakukan dengan melalui tahapan perancangan, pembuatan dan pengujian simulasi dan sistem *lock-in amplifier*. Pembuatan simulasi dan sistem *lock-in amplifier* dilakukan dengan membuat *front panel* atau *interface* dan pembuatan blok diagram sistem. Pengujian simulasi dan sistem *lock-in amplifier* dilakukan dengan menghitung nilai rasio sinyal dengan derau (SNR) dan nilai presisi *repeatability root mean square* (RMS) output. Nilai SNR sinyal yang diperoleh dibandingkan antara tanpa simulasi dan sistem *lock-in amplifier* dengan SNR sinyal menggunakan simulasi dan sistem *lock-in amplifier*. Simulasi *lock-in amplifier* telah berhasil dibuat dan diuji untuk meningkatkan sinyal simulasi dengan didapatkan informasi bahwa penggunaan simulasi dapat meningkatkan nilai SNR sinyal. Sehingga, simulasi *lock-in amplifier* dapat digunakan sebagai panduan untuk membuat sistem *lock-in amplifier*. Pada pengujian sistem *lock-in amplifier* untuk sinyal akustik didapatkan hasil bahwa sistem *lock-in amplifier* dapat meningkatkan sinyal akustik. Adapun hasil nilai presisi *repeatability* output simulasi dan sistem *lock-in amplifier* masing-masing adalah 99,99% dan 98,50%. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam bidang fotoakustik, terutama dalam peningkatan sinyal untuk pengolahan citra fotoakustik.

Kata kunci: SNR, Lock-in Amplifier, LabVIEW, Pencitraan Fotoakustik

COSNTRUCTION AND IMPLEMENTATIO OF A LABVIEW-BASED LOCK-IN AMPLIFIER FOR PHOTOACOUSTIC IMAGING

Dinan Nur Khofifah

20106020031

ABSTRACT

This research aims to design, construct, and test a lock-in amplifier for measuring acoustic signals that are attenuated by noise. The study involves several stages: designing, building, and testing the lock-in amplifier through both simulation and system implementation. The creation of the lock-in amplifier simulation and system includes developing a front panel or interface and creating a system block diagram. The testing of the simulation and the lock-in amplifier system is conducted by calculating the signal-to-noise ratio (SNR) and the precision of repeatability in the root mean square (RMS) output. The obtained SNR values for the signal were compared between scenarios with and without simulation and the lock-in amplifier system. The lock-in amplifier simulation was successfully developed and tested to enhance the simulated signal, showing that the use of simulation can improve the SNR of the signal. Therefore, the lock-in amplifier simulation can serve as a guide for constructing the lock-in amplifier system. Testing of the lock-in amplifier system for acoustic signals revealed that it could enhance the acoustic signals. The precision of repeatability output values for the simulation and lock-in amplifier system were 99.99% and 98.50%, respectively. The findings of this research are expected to make a positive contribution to the field of photoacoustics, particularly in signal enhancement for photoacoustic image processing.

Keywords: SNR, Lock-in Amplifier, LabVIEW, Photoacoustic Imaging

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

Tidak ada kata terlambat untuk orang yang mau berusaha

"Dream big and dare to fail." - Norman Vaughan



HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini penulis persembahkan untuk:

Allah Swt.

Diri saya sendiri

Bapak Muhammad Sulthoni dan Ibu Mukhrimah

Mba Fitroh Rezeki Khoirunnisa

Mba Alif Luthfi Azizah

Adek Haidar Rafa

Keluarga Graviteez

Sc Fisika Instrumentasi

Prodi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur atas kehadiran Allah Swt. yang telah memberikan rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “PEMBUATAN DAN PENERAPAN SISTEM *LOCK-IN AMPLIFIER* BERBASIS PERANGKAT LUNAK LABVIEW UNTUK 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 mendapat syafaatnya di *yaumul qiyamah*. *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 terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, mba Kiki, mba Vivi, dan dek Rafa yang senantiasa membeikan dukungan berupa materi maupun doa.
2. Bapak Prof. Noorhadi, M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga.

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. Bapak Andi, M.Sc., 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. Bapak Rochan Rifai, S.Si., M.Si. selaku pembimbing skripsi yang senantiasa kebersamai dalam proses penelitian.
8. Seluruh Dosen Prodi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan bimbingan beserta ilmunya.
9. Teman-teman instrumentasi seperbimbingan, seperbimbingan, seperfotoakustikan, dan seperjuangan yaitu Handi, Haikal, Bintang, Nika, dan Namira.
10. Teman-teman Gravitezz 2020.
11. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan yang 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. *Aamiin*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
INTISARI	iii
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Studi Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori.....	14
2.2.1 Efek Fotoakustik.....	14
2.2.2 Pencitraan Fotoakustik.....	16
2.2.3 Lock-in Amplifier.....	18
2.2.4 Sinyal.....	21
2.2.5 Pengolahan Sinyal.....	22
2.2.6 Amplifier.....	23
2.2.7 Transformasi Fourier.....	24
2.2.8 Filter.....	25
2.2.9 Perangkat Lunak LabVIEW.....	29
2.2.10 SNR (<i>Signal-to-Noise Ratio</i>).....	31
2.2.11 Presisi.....	32
2.2.12 Wawasan Islam Tentang Perkembangan Teknologi.....	33
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	35

3.1.1 Waktu Penelitian	35
3.1.2 Tempat Penelitian	35
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	35
3.2.1 Alat Penelitian	35
3.2.2 Bahan Penelitian.....	37
3.3 Prosedur Penelitian.....	37
3.3.1 Perancangan Sistem.....	38
3.3.2 Pembuatan Simulasi Sistem <i>Lock-in Amplifier</i>	40
3.3.3 Pembuatan Sistem <i>Lock-in Amplifier</i>	41
3.3.4 Pengujian Sistem	43
3.4 Rencana Pembahasan Hasil.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Hasil.....	49
4.1.1 Hasil Perancangan Sistem.....	49
4.1.2 Hasil Pembuatan Sistem <i>Lock-in Amplifier</i>	50
4.1.3 Hasil Pengujian Sistem	53
4.2 Pembahasan.....	56
4.2.1 Pembahasan Perancangan dan Pembuatan Simulasi Sistem <i>Lock-in Amplifier</i>	56
4.2.2 Pembahasan Hasil Perancangan dan Pembuatan Sistem <i>Lock-in Amplifier</i>	58
4.2.3 Pembahasan Hasil Pengujian	59
4.3 Integrasi-Interkoneksi.....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	71
Lampiran 1. Perancangan dan Pembuatan <i>Front Panel</i> dan Blok Diagram <i>Lock-in Amplifier</i>	71
Lampiran 2. Pengujian Sistem <i>Lock-in Amplifier</i>	72
Lampiran 3. Pengolahan Data	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi Literatur Penelitian	12
Tabel 3.1 Alat perancangan sistem	36
Tabel 3.2 Alat pembuatan sistem	36
Tabel 3.3 Alat pengujian sistem.....	36
Tabel 3.4 Bahan pembuatan sistem <i>lock-in amplifier</i>	37
Tabel 3.5 Pengujian nilai SNR sinyal simulasi.....	46
Tabel 3.6 Pengujian nilai SNR sinyal sistem.....	46
Tabel 3.7 Pengujian presisi <i>repeatability</i> simulasi sistem	47
Tabel 3.8 Pengujian presisi <i>repeatability</i> sistem.....	47
Tabel 4.1 Hasil pengujian SNR simulasi <i>lock-in amplifier</i>	54
Tabel 4.2 Hasil pengujian SNR sistem <i>lock-in amplifier</i>	55
Tabel 4.3 Hasil pengujian nilai presisi <i>repeatability</i> simulasi sistem <i>lock-in amplifier</i>	55
Tabel 4.4 Hasil pengujian nilai presisi <i>repeatability</i> sistem <i>lock-in amplifier</i>	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses pembangkitan sinyal fotoakustik (Yin, 2022).....	16
Gambar 2.2 Prinsip pencitraan fotoakustik (Wang, 2016).....	17
Gambar 2.3 (a) Gambar hasil pencitraan fotoakustik dari otak tikus yang telah dieksisi dan memiliki tumor yang diobati menggunakan nanoshell. (b) Foto dari otak tikus pada gambar (a).....	18
Gambar 2.4 (a) plot magnitudo <i>low pass filter</i> , (b) plot magnitudo <i>high pass filter</i> , (c) plot magnitudo <i>band pass filter</i> (d) plot magnitudo <i>band reject filter</i>	26
Gambar 3.1 Tahapan prosedur penelitian	37
Gambar 3.2 Diagram blok sistem	38
Gambar 3.3 Prinsip kerja virtual <i>lock-in amplifier</i>	39
Gambar 4.1 Diagram alir simulasi sistem <i>lock-in amplifier</i>	49
Gambar 4.2 Diagram alir sistem <i>lock-in amplifier</i>	50
Gambar 4.3 <i>Front panel</i> simulasi <i>lock-in amplifier</i>	51
Gambar 4.4 Blok diagram simulasi <i>lock-in amplifier</i>	52
Gambar 4.5 <i>Front panel</i> sistem <i>lock-in amplifier</i>	53
Gambar 4.6 Blok diagram sistem <i>lock-in amplifier</i>	53

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar Lampiran 1.1 Proses pembuatan blok diagram <i>lock-in amplifier</i>	71
Gambar Lampiran 1.2 Proses pembuatan <i>front panel lock-in amplifier</i>	72
Gambar Lampiran 2.1 Pengujian sistem <i>lock-in amplifier</i>	72
Gambar Lampiran 2.2 Tampilan simulasi <i>lock-in amplifier</i>	73
Gambar Lampiran 2.3 Tampilan sistem <i>lock-in amplifier</i>	73
Tabel Lampiran 2.1 Data RMS sinyal dan derau simulasi <i>lock-in amplifier</i>	73
Tabel Lampiran 2.2 Data sinyal dan derau sistem <i>lock-in amplifier</i>	74
Tabel Lampiran 2.3 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 10 kHz.	74
Tabel Lampiran 2.4 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 11 kHz.	74
Tabel Lampiran 2.5 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 12 kHz.	75
Tabel Lampiran 2.6 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 13 kHz.	75
Tabel Lampiran 2.7 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 14 kHz.	75
Tabel Lampiran 2.8 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 15 kHz.	76
Tabel Lampiran 2.9 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 16 kHz.	76
Tabel Lampiran 2.10 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 17 kHz	76
Tabel Lampiran 2.11 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 18 kHz	77
Tabel Lampiran 2.12 Data RMS sinyal output simulasi pada frekuensi 19 kHz	77
Tabel Lampiran 2.13 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 10 kHz ..	77
Tabel Lampiran 2.14 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 11 kHz ..	78
Tabel Lampiran 2.15 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 12 kHz ..	78
Tabel Lampiran 2.16 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 13 kHz ..	78
Tabel Lampiran 2.17 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 14 kHz ..	79
Tabel Lampiran 2.18 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 15 kHz ..	79
Tabel Lampiran 2.19 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 16 kHz ..	79
Tabel Lampiran 2.20 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 17 kHz ..	80
Tabel Lampiran 2.21 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 18 kHz ..	80
Tabel Lampiran 2.22 Data RMS sinyal output sistem pada frekuensi 19 kHz ..	80

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal yang merambat melalui suatu medium seperti gas, cairan, atau padatan (Halliday, 2010). Berdasarkan frekuensinya, gelombang bunyi dapat dikategorikan menjadi tiga kategori utama yaitu gelombang infrasonik (frekuensi <20 Hz), gelombang akustiksonik (gelombang bunyi dengan frekuensi antara 20 Hz hingga 20 kHz yang dapat didengar oleh telinga manusia), dan gelombang ultrasonik (gelombang bunyi dengan frekuensi >20 kHz). Dalam konteks ini, akustik menjadi salah satu bidang ilmu yang mempelajari tentang gelombang bunyi dan pengaplikasiannya (Hirose, 1895).

Seiring berkembangnya teknologi yang canggih, pemanfaatan dan pengaplikasian gelombang akustik juga semakin maju, salah satunya yaitu pencitraan fotoakustik. Pencitraan fotoakustik merupakan suatu metode pencitraan medis yang dilakukan tanpa memerlukan intervensi atau penetrasi langsung ke dalam tubuh atau objek yang diamati serta tidak menggunakan radiasi pengion (Janna dkk, 2022). Pencitraan fotoakustik memanfaatkan prinsip efek fotoakustik. Efek fotoakustik pertama kali diselidiki dan dikembangkan pada tahun 1880 oleh Alexander Graham Bell. Metode ini menggunakan gelombang bunyi yang dihasilkan oleh materi setelah menyerap radiasi elektromagnetik, seperti cahaya atau sinar inframerah untuk membentuk citra. Pencitraan fotoakustik dapat menghasilkan citra struktur internal tubuh dengan tingkat resolusi dan kedalaman

penetrasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode pencitraan yang lain (Sanjaya dkk, 2022).

Pengaplikasian pencitraan fotoakustik memerlukan sistem khusus yang dirancang untuk menghasilkan dan merekam gelombang akustik yang diinduksi oleh penyerapan cahaya. Sistem tersebut membutuhkan komponen utama yaitu laser yang termodulasi. Sinar dari laser ini kemudian diteruskan ke dalam jaringan melalui kombinasi serat optik. Detektor akustik dapat berupa transduser ultrasonik dengan elemen tunggal atau *array* yang memiliki berbagai frekuensi puncak. Selain itu, dibutuhkan juga sebuah mikroprosesor yang digunakan untuk mengelola akuisisi data, merekonstruksi citra, dan menampilkan hasilnya. Dengan menggunakan komponen-komponen dasar tersebut, sistem pencitraan fotoakustik dapat diatur dan disesuaikan dalam konfigurasi yang berbeda (Manohar, 2016).

Detektor pada fotoakustik dapat berupa mikrofon yang dirancang khusus untuk mendeteksi gelombang sebagai detektor sinyal akustik pada proses pencitraan fotoakustik. Tetapi, sinyal yang ditangkap oleh mikrofon seringkali memiliki amplitudo yang rendah, terutama jika lingkungan memiliki tingkat kebisingan yang tinggi, sehingga sinyal yang ditangkap oleh detektor perlu diperkuat untuk membantu meningkatkan kualitas sinyal dan akurasi deteksi (Murniati, 2003).

Guna mendukung peningkatan kualitas sinyal pada pencitraan fotoakustik, maka dibutuhkan sebuah sistem *lock-in amplifier* yang memiliki kemampuan untuk menyaring derau yang berasal dari sumber AC atau DC sebelum sinyal diolah oleh sistem. Sinyal yang diolah bisa mendapatkan nilai rata-rata dengan konstanta waktu

yang lebih singkat, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih cepat dan akurat. Jenis *Lock-in amplifier* yang sering digunakan adalah *lock-in amplifier* analog atau digital.

Lock-in amplifier digital dinilai lebih unggul jika dibandingkan dengan *lock-in amplifier* analog. Salah satu contoh *lock-in amplifier* digital adalah OL 4000 DSP *lock-in amplifier* yang dapat meningkatkan rasio *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) sampai 100 dB pada pengujian sinyal AC yang tercampur dengan derau yang berarti *lock-in amplifier* tersebut memungkinkan untuk mengatasi derau 100.000 kali lebih besar daripada sinyal tanpa memerlukan penyaringan awal untuk memberishkan derau, di mana nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan *lock-in amplifier* analog seperti OL 730D Programmable *Lock-in Amplifier* yang hanya dapat meningkatkan SNR sampai 60 dB atau dapat menangani derau yang 1000 kali lebih besar daripada sinyal yang diukur. *Lock-in amplifier* digital juga mampu menyaring kebisingan dengan akurasi sudut fasa tunggal sebesar 0.001° , sedangkan *lock-in amplifier* analog hanya mampu pada sudut fasa sebesar 1° . Pada *lock-in amplifier* digital, sinyal data yang memiliki derau masuk ke *mixer* yang menghasilkan sinyal pada frekuensi tertentu saja. Sinyal keluaran *mixer* yang dikuatkan memiliki frekuensi yang sama dengan sinyal referensi, untuk sinyal yang memiliki frekuensi yang berbeda dengan sinyal referensi tidak dikuatkan. Dengan demikian, ketika memasuki *Low Pass Filter* (LPF), sinyal dengan frekuensi selain frekuensi referensi diredam. Hal ini menyebabkan peningkatan secara signifikan pada efisiensi transmisi sinyal yang diinginkan (Rahmannuri, 2017).

Lock-in amplifier digital juga memiliki beberapa keunggulan seperti harganya yang lebih terjangkau, memiliki fitur integrasi yang lebih tinggi, lebih fleksibel dalam hal konfigurasi dan pengaturan parameter, serta memiliki respon filter yang mendekati ideal jika dibandingkan *lock-in amplifier* analog. Secara keseluruhan, keunggulan-keunggulan tersebut dapat memudahkan pengguna dalam memanfaatkan *lock-in amplifier* digital sesuai dengan kebutuhan spesifik mereka. Selain itu, *lock-in amplifier* digital juga dapat dibuat secara virtual menggunakan perangkat lunak LabVIEW.

Berdasarkan uraian di atas yang mengungkapkan adanya keunggulan dan fleksibilitas pada *lock-in amplifier* digital, maka terbuka peluang untuk membuat dan menerapkan *lock-in amplifier* digital menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Selanjutnya, hasil dari peningkatan kualitas sinyal yang menggunakan *lock-in amplifier* dapat dibandingkan dengan kualitas sinyal yang tidak menggunakan *lock-in amplifier* berbasis perangkat lunak LabVIEW.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana rancangan simulasi dan sistem *lock-in amplifier* berbasis perangkat lunak menggunakan LabVIEW untuk pencitraan fotoakustik?
2. Bagaimana hasil pembuatan simulasi dan sistem *lock-in amplifier* berbasis perangkat lunak menggunakan LabVIEW untuk pencitraan fotoakustik?
3. Bagaimana kinerja simulasi dan sistem *lock-in amplifier* berbasis perangkat lunak LabVIEW untuk pencitraan fotoakustik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah penelitian, diturunkan tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Merancang simulasi dan sistem *lock-in amplifier* berbasis perangkat lunak menggunakan LabVIEW untuk pencitraan fotoakustik.
2. Membuat simulasi dan sistem *lock-in amplifier* berbasis perangkat lunak LabVIEW untuk pencitraan fotoakustik.
3. Menguji simulasi dan sistem *lock-in amplifier* berbasis perangkat lunak LabVIEW untuk pencitraan fotoakustik.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada hal berikut.

1. Perangkat lunak yang digunakan adalah LabVIEW dengan *tools signal processing*.
2. Penerapan sistem *lock-in amplifier* dilakukan pada sinyal akustik yang dihasilkan oleh *sound generator*.
3. Karakterisasi sinyal dilakukan dengan membandingkan nilai SNR yang diolah dengan *lock-in amplifier* dan tanpa *lock-in amplifier*, serta menguji presisi *repeatability* nilai RMS sinyal output.
4. Filter yang digunakan pada sistem *lock-in amplifier* adalah *Low Pass Filter*
5. Rentang frekuensi pada *lock-in amplifier* 10kHz - 19kHz.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh manfaat antara lain.

1. Dapat digunakan sebagai solusi untuk masalah pengukuran dan analisis sinyal dalam berbagai konteks eksperimental.
2. Didapatkannya *lock-in amplifier* yang murah dan fleksibel

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sistem *lock-in amplifier* berbasis perangkat lunak LabVIEW untuk pencitraan fotoakustik telah berhasil dirancang, dibuat dan diuji. Hasil yang dibuat berupa simulasi sistem *lock-in amplifier* dan sistem *lock-in amplifier* yang terintegrasi dengan detektor akustik. Hasil pengujian pada simulasi sistem menunjukkan bahwa nilai SNR sinyal meningkat saat menggunakan *lock-in amplifier* jika dibandingkan dengan nilai SNR sinyal tanpa *lock-in amplifier*. Sehingga, simulasi sistem *lock-in amplifier* berbasis perangkat lunak LabVIEW dapat digunakan sebagai acuan untuk membuat sistem *lock-in amplifier*. Pengujian pada sistem *lock-in amplifier* menunjukkan SNR sinyal yang menggunakan *lock-in amplifier* memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan SNR sinyal yang tidak menggunakan sistem *lock-in amplifier*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *lock-in amplifier* yang dibuat dapat meredam derau secara lebih baik. Selain itu, nilai presisi *repeatability* sistem yang didapatkan sebesar 98,50% yang telah memenuhi standar SNI-ISO 1075.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa kekurangan yang masih perlu diperbaiki untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya. Berikut ini beberapa catatan peneliti berkaitan dengan saran terhadap penelitian yang dapat dilakukan selanjutnya

1. Sistem *lock-in amplifier* yang telah dibuat dapat mengembalikan sinyal yang tertimbun oleh derau. Pengembangan selanjutnya bisa ditingkat untuk sistem *phase-locking* sehingga performa sistem dapat meningkat.
2. Penelitian yang dilakukan ini baru sampai tahap pengujian dengan menggunakan *sound generator* sebagai sinyal input, perlu adanya pengujian pada sistem pencitraan fotoakustik pada penelitian selanjutnya untuk mengetahui kinerja sistem pada penerapan pencitraan fotakustik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiati, R. F., Kusumawardhani, A., & Setijono, H. 2017. Analisis Parameter Signal to Noise Ratio dan Bit Error Rate dalam Backbone Komunikasi Fiber Optik Segmen Lamongan-Kebalen. *Jurnal Teknik ITS*, **Vol.6 No.2 Juli 2017**: A758-761.
- Antoniou, A. 2006. *Digital signal processing: Signals, systems and filters*. Canada: McGraw-Hill.
- Bhattacharyya, S., Ahmed, R. N., Purkayastha, B. B., & Bhattacharyya, K. 2016. Implementation of Digital Lock-in Amplifier. *Journal of Physics: Conference Series*, **Vol.759 No.1 Oktober 2016**: 1-8.
- Brigham, E. O. 1988. *The fast Fourier transform and its applications*. United States of America: Prentice Hall.
- BSN. 2018. Implementasi SNI ISO/IEC 17025: 2017. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Chen, M., Yang, J., Zhang, N., & You, S. 2015. Optical signal-to-noise ratio monitoring based on four-wave mixing. *Optical Engineering*, **Vol.54 No.5 Mei 2015**: 1-6.
- Dimurtadha, Melinda, Elizar, & Meutia, E. D. 2019. Analisis Filter Finite Impulse Response (FIR) pada Sinyal Electroencephalogram (EEG). *Seminar Nasional Dan Expo Teknik Elektro 2019*: 101-104.
- Effendy, M. 2006. Desain Filter Chebyshev Menggunakan Teknologi HDL Berbasis FPPA. *GAMMA*, **Vol.1 No.2 Maret 2006**: 136-143.
- Farida, F. 2017. Optimasi Lowpass Filter Mikrostrip Frekuensi 10,6 GHz Dengan Metode Step-Impedansi. *Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan*. **Vol.6 No.2 Oktober 2007**: 89-95
- Febriana, I. 2021. Simulasi Akuisisi Sinyal Suara Dengan Menggunakan MATLAB. *SinarFe7*, **Vol.4 No.1 Desember 2021**: 209-213.
- Halliday, D., & Resnick, R. 2010. Fisika Dasar Edisi 7 Jilid 1. (Tim Pengajar Fisika ITB, Terjemahan). Jakarta: Erlangga.
- Halvorsen, H.-P. 2016. *Introduction to LabVIEW*. University College of Southeast Norway.
- Hidayat, I., Askar, A., & Zaitun, Z. 2022. Teknologi Menurut Pandangan Islam. *Prosiding Kajian Islam dan Integrasi Ilmu di Era Society 5.0 (KIIIES 5.0)*.

Pascasarjana Universitas Islam Negeri Datokarama Palu 2022, Vol.1 Agustus 2022: 456-460.

- Hirose, A., & Karl. 1895. *Introduction to Wave Phenomena*. New York: John Wiley and Sons.
- Hung, P., & Vuong, V. D. 2021. Analog Signal and Digital Signal Processing in Telecommunication System. *Journal La Multiapp, Vol.1 No.6 Desember 2020: 6-11.*
- 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, Vol.12 No.2 Oktober 2022: 176-187.*
- Kalkman, C. J. 1995. LabVIEW: A software system for data acquisition, data analysis, and instrument control. *Journal of Clinical Monitoring, Vol.1 No.11 Januari 1955: 51-58.*
- Karris, S. T. 2008. *Electronic devices and amplifier circuits with MATLAB® computing* (2nd ed). United States of America: Orchard Pub.
- Manohar, S., & Razansky, D. 2016. Photoacoustics: A historical review. *Advances in Optics and Photonics, Vol.8 No.4 Desember 2016: 586-617.*
- Muliadi, A., & Muttaqin, K. 2021. Filtering Sinyal Menggunakan Bandpass Filter. *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer, Vol.2 No.01 April 2021: 12-16.*
- Murniati. 2003. Spektrometer Fotoakustik Untuk Pelacakan Gas Etilen (C₂H₄). *Jurnal Penelitian Sains, No.13 April 2003: 21-29.*
- Nahar, W. S., & Umbarawati, R. 2017. Simulasi Virtual Lock-In Amplifier Fase Tunggal dengan Rujukan Internal Berbasis LabVIEW. *Fakultas MATEmatika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung.*
- NI. 2001. *Getting Started with LabVIEW*. United States of America: National Instrumentation Corporation.
- NI. 2005. *NI Vision for LabVIEW User Manual*. United States of America: North Mopac Expressway.
- Pah, N. D. 2018. *Pemrosesan Sinyal Digital*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Putra, H. I. R. 2010. *Virtual Lock-In Amplifier Berbasis Daq 9215a*. (Skripsi), Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

- Rahmannuri, H. 2017. *Desain Penguat lock-in Digital untuk Deteksi Gas Berkonsentrasi Rendah*. (Tesis), Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh November.
- Rofiqoh, D., Rivai, M., & Budiman, F. 2019. Implementasi Penguat Lock-in Digital Untuk Deteksi Gas. *Jurnal Teknik ITS*, **Vol.7 No.2 Februari 2019**: 391-395.
- Rohman, S. N. A. 2019. Perancangan Filter Bandpass Pada Frekuensi 2.9-3.1 GHz Sebagai Penunjang Kinerja Radar Coastal di Wilayah Perairan Indonesia. (Tugas Akhir). Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sani, R. A. 2012. *Pengembangan Laboratorium Fisika*. Unimed Press.
- Sanjaya, E. R., Muninggar, J., & Setiawan, A. 2022. Uji Coba Metode Pencitraan Multimodalitas Ultrasonografi Dan Fotoakustik. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, **Vol.7 No.1 April 2022**: 8–14.
- Setiawan, A., & Ramdan, S. D. 2022. Penerapan Dan Memahami Pada Rangkaian Amplifier. *Rapoteknologi.id*, **Vol.2 No.1 Februari 2022**: 1-9.
- Setiawan, F. B., & Kariman, P. 2023. Optimasi Simulasi HPF dan LPF Orde Dua Upaya Penguatan Sinyal Digital. *Proceedings of the National Conference on Electrical Engineering, Informatics, Industrial Technology, and Creative Media*, **Vol.3 No.1 Desember 2023**: 140-149.
- Sipasulta, R. Y. 2014. Simulasi Sistem Pengacak Sinyal Dengan Metode FFT (Fast Fourier Transform). *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, **Vol.3 No.2 Mei 2014**: 1-9.
- Sukaridhoto, S. 2016. *Komunikasi Data dan Komputer*. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Utami, A. R. 2017. Verifikasi Metode Pengujian Sulfat Dalam Air dan Air Limbah Sesuai SNI 6989.20: 2009. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, **Vol.2 No.1 Juli 2017**: 19-25.
- Wibowo, A. 2021. *Sistem Pemrosesan Sinyal*. Semarang: Universitas STEKOM.