

***ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY (EIT) UNTUK
MENDETEKSI FRAKTUR TULANG DENGAN
MODUL RED PITAYA***

SKRIPSI



NUR SYAVINAS

PROGRAM STUDI S1 - TEKNIK BIOMEDIS

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS AIRLANGGA

SURABAYA

2022

***ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY (EIT) UNTUK
MENDETEKSI FRAKTUR TULANG DENGAN MODUL RED PITAYA***

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Bidang Teknik Biomedis
Pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

Nur Syavinas
NIM. 081811733008

Disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Khusnul Ain, S.T., M. Si.
NIP. 197207051997021001



Osmalina Nur Rahma, S.T., M.Sc.
NIP. 199109302019032018

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : *Electrical Impedance Tomography* (EIT) Untuk
Mendeteksi Fraktur Tulang Dengan Modul Red Pitaya
Penyusun : Nur Syavinas
NIM : 081811733008
Tanggal Ujian : 4 Oktober 2022

Disetujui oleh,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Khusnul Ain, S.T., M. Si.
NIP. 197207051997021001



Osmalina Nur Rahma, S.T., M.Sc.
NIP. 199109302019032018

Mengetahui:

Ketua Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

Koordinator Program Studi
S1 Teknik Biomedis
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga



Herri Trilaksana, S.Si., M. Si., Ph.D.
NIP. 197712282003121003



Dr. Riries Rulaningtyas, S.T., M. T.
NIP. 197903152003122002

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga, diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah. Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nur Syavinas
NIM : 081811733008
Program Studi : Teknik Biomedis
Fakultas : Sains dan Teknologi
Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul:

ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY (EIT) UNTUK MENDETEKSI FRAKTUR TULANG DENGAN MODUL RED PITAYA

Apabila suatu saat terbukti melakukan kegiatan tindakan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya 25 Oktober 2022

A handwritten signature in black ink is written over a red METRAI TEMPEL stamp. The stamp includes the text 'METRAI TEMPEL' and a serial number '4FAJX995407056'. To the left of the stamp is a vertical red stamp with the number '10000'.

Nur Syavinas

NIM. 081811733008

Syavinas, Nur. 2022. *Electrical Impedance Tomography (EIT) untuk Mendeteksi Fraktur Tulang dengan Modul Red Pitaya*. Skripsi dibawah bimbingan Dr. Khusnul Ain, S.T., M.Si dan Osmalina Nur Rahma, S.T., M.Sc. Program Studi S1 Teknik Biomedis, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang alat *Electrical Impedance Tomography* (EIT) untuk mendeteksi fraktur tulang dengan modul Red Pitaya. Pengujian kinerja alat dilakukan pada *phantom* tabung akrilik dengan objek 3D printing tulang. Dilakukan tiga kali repetisi pengambilan data menggunakan 16 elektroda pada frekuensi 10 kHz dan 30 kHz dengan keadaan *phantom* diisi air, *phantom* diisi air dengan objek 3D printing tulang normal dan *phantom* diisi air dengan objek 3D printing tulang fraktur. Hasil pengambilan data berupa 256 data tegangan yang akan direkonstruksi menggunakan *software* EIDORS dengan data air sebagai data referensi dan data 3D printing tulang digunakan sebagai data objek.

Hasil rekonstruksi berupa citra relatif yang menggambarkan perbedaan konduktivitas objek. Bahan 3D printing tulang normal dan fraktur memiliki nilai konduktivitas kecil sehingga direpresentasikan dengan warna biru pada hasil rekonstruksi. Hasil rekonstruksi 3D printing tulang normal memiliki luas area lebih besar yaitu 3.132 sedangkan tulang fraktur memiliki luas area 2.735 serta terdapat potongan pada elektroda ke-7 hingga elektroda ke-9.. Variasi rekonstruksi juga dilakukan dengan menjadikan 3D printing tulang normal sebagai data referensi dan 3D printing tulang fraktur sebagai data objek, hasil rekonstruksi menunjukkan hanya bagian fraktur saja yang memiliki konduktivitas lebih besar daripada area tulang sehingga ditunjukkan dengan warna merah.

Kata Kunci: *Electrical Impedance Tomography (EIT), 3D printing tulang, Fraktur Tulang, Rekonstruksi Citra*

Syavinas, Nur. 2022. **Electrical Impedance Tomography (EIT) to Detect Bone Fractures with the Red Pitaya Module**. This undergraduate thesis was under guidance of Dr. Khusnul Ain, S.T., M.Si and Osmalina Nur Rahma, S.T., M.Sc. Biomedical Engineering Study Program, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Airlangga University, Surabaya.

ABSTRACT

This study aims to design an Electrical Impedance Tomography (EIT) to detect bone fractures using the Red Pitaya module. Performance testing of the tool was carried out on a phantom acrylic tube with 3D printing bone as objects. Three repetitions of data collection using 16 electrodes at a frequency of 10 kHz and 30 kHz with the phantom state filled with water, the phantom is filled with water with 3D printed normal bone as an object and the phantom is filled with water with 3D printing fractured bone as an object. The results of data collection are 256 voltage data which will be reconstructed using EIDORS software with water data as reference data and bone 3D printing data used as objects data.

The result of the reconstruction is a relative image that describes the conductivity difference of the object. The 3D printed material of normal and fractured bone has a small conductivity value so it is represented in blue in the reconstruction results. The results of 3D printing reconstruction of normal bone have a larger area of 3,132 while fractured bone has an area of 2,735 and there are cuts on the 7th to 9th electrodes. Reconstruction variations are also carried out by using 3D printing of normal bones as reference data and 3D printing the fractured bone as object data, the results of the reconstruction only show that the fracture has a conductivity greater than the bone area, so it is shown in red.

Keywords: Electrical Impedance Tomography (EIT), 3D printing of bones, Bone Fracture, Image Reconstruction

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya naskah skripsi dengan judul “***Electrical Impedance Tomography (EIT) Untuk Mendeteksi Fraktur Tulang Dengan Modul Red Pitaya***” dapat penulis selesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Terwujudnya skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak baik secara materil maupun moril. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat serta motivasi dan menguatkan penyusun sehingga naskah skripsi ini dapat selesai dikerjakan.
2. Bapak yang selalu mendorong agar selalu tetap bekerja keras, fokus pada tujuan dan mengajarkan tanggung jawab sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Herri Trilaksana, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
4. Ibu Dr. Riries Rulaningtyas, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Biomedis yang telah menyetujui dan menerima naskah skripsi penulis.
5. Bapak Dr. Khusnul Ain, S.T., M.Si selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dalam segala hal, baik dari segi ilmu pengetahuan, masukan, dorongan, semangat serta fasilitas yang diberikan selama proses pembuatan skripsi ini.
6. Ibu Osmalina Nur Rahma, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan dan petunjuk dalam penulisan skripsi ini.
7. Bapak Dr. Imam Sapuan, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji I yang telah memberikan saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
8. Ibu Endah Purwanti, S.Si., M.T. selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini.

9. Mas Bayu selaku laboran Fisika Modern yang banyak membantu selama proses penelitian dan rekan diskusi selama mengerjakan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
10. Seluruh dosen dan staf karyawan Departemen Fisika, khususnya program studi S-1 Teknik Biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga dan seluruh pihak yang telah membantu penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
11. Angel, Ame yang menjadi teman seperjuangan di laboratorium Fisika Modern yang selalu memotivasi dan memberikan semangat serta teman diskusi selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi.
12. Izmi, Mela, Lucy teman-teman yang selalu memberi semangat selama proses penelitian ini.
13. Teman-teman S-1 Teknik Biomedis angkatan 2018 yang ikut memberikan semangat selama penyusunan skripsi ini.

Penulis telah menyusun naskah skripsi ini dengan sebaik-baiknya, namun penulis sadar tentu masih banyak kekurangan dalam penulisan naskah skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga membuat naskah skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Diharapkan naskah skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan juga dunia kesehatan, khususnya untuk bidang Teknik Biomedis di Indonesia.

Surabaya, 18 Oktober 2022

Penyusun,

Nur Syavinas

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Fraktur Tulang.....	8
2.2 Konduktivitas Jaringan Tubuh	11
2.3 Impedansi.....	15
2.4 <i>Electrical Impedance Tomography</i> (EIT).....	16
2.4.1 Konfigurasi dan koneksi elektroda	19
2.4.2 Akuisisi data	21
2.4.3 Pengolahan data	22
2.4.3.1 <i>Forward problem</i>	22
2.4.3.2 <i>Inverse problem</i>	23

2.4.4 Rekonstruksi citra	24
2.4.5 <i>Electrical Impedance Tomography</i> (EIT) untuk tulang	26
2.5 Modul Red Pitaya.....	26
2.6 Rangkaian Penurun Offset	30
2.7 Rangkaian Buffer	31
2.8 VCCS (<i>Voltage Controlled Current Source Development</i>).....	32
2.9 Instrument Amplifier	34
2.10 Demultiplexer.....	35
2.11 Multiplexer.....	37
2.12 <i>Band Pass Filter</i> (BPF).....	38
2.13 EIDORS	39
BAB III METODE PENELITIAN	42
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	42
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	42
3.2.1 Alat penelitian	42
3.2.2 Bahan penelitian.....	42
3.3 Metode Penelitian.....	43
3.3.1 Studi literatur.....	43
3.3.2 Persiapan alat dan bahan.....	44
3.3.3 Perancangan dan pengujian <i>hardware</i>	44
3.3.3.1 Modul red pitaya.....	45
3.3.3.2 Perancangan rangkaian penurun offset	47
3.3.3.3 Perancangan rangkaian buffer	47
3.3.3.4 Perancangan VCCS	47
3.3.3.5 Perancangan instrument amplifier	48
3.3.3.6 Perancangan multiplexer	49
3.3.3.7 Perancangan demultiplexer	49
3.3.3.8 Perancangan <i>band pass filter</i>	50
3.3.3.9 Perancangan 3D printing tulang femur	51

3.3.4 Pengintegrasian <i>hardware</i>	51
3.3.5 Perancangan <i>software</i>	52
3.3.5.1 Matlab	52
3.3.5.2 EIDORS	52
3.3.6 Pengambilan data.....	53
3.3.6.1 Metode pengambilan data	53
3.3.6.2 Rekonstruksi citra menggunakan EIDORS	54
3.3.7 Analisis hasil	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	58
4.1 Hasil Persiapan Bahan.....	58
4.2 Hasil Perancangan dan Pengujian Alat	58
4.2.1 Perangkat keras (<i>hardware</i>)	58
4.2.1.1 Modul Red Pitaya	58
4.2.1.2 Rangkaian penurun offset.....	65
4.2.1.3 VCCS	67
4.2.1.4 Multiplexer dan demultiplexer	70
4.2.1.5 Instrument amplifier.....	72
4.2.1.6 <i>Band pass filter</i>	78
4.2.1.7 Uji elektroda	80
4.2.1.8 Pembuatan <i>phantom</i> tulang	80
4.3 Hasil Pengintegrasian Alat	82
4.4 Hasil Pengambilan Data	83
4.5 Hasil Rekonstruksi Citra.....	89
4.6 Pembahasan	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	107
5.1 Kesimpulan	107
5.2 Saran.....	108
DAFTAR PUSTAKA	109
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Sifat listrik jaringan biologis pada pengukuran frekuensi 10 kHz	14
2.2	Tabel konduktivitas beberapa jaringan tubuh	15
2.3	Deskripsi bagian-bagian red pitaya	28
2.4	Petunjuk penggunaan <i>function generator</i>	30
2.5	Parameter akuisisi data pada red pitaya.....	30
2.6	Tabel kebenaran demultiplexer	36
2.7	Tabel kebenaran multiplexer	37
4.1	Tabel kebenaran hasil uji multiplexer	72

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Bentuk fraktur tulang berdasarkan arah frakturnya	9
2.2	Struktur tulang dari skala nano hingga makro.....	10
2.3	Pemodelan sel sebagai rangkaian elektronika	12
2.4	Pemodelan jaringan tubuh dalam bentuk rangkaian elektronika	13
2.5	Diagram blok <i>Electrical Impedance Tomography</i> (EIT).....	17
2.6	Posisi peletakan elektroda yang ideal	20
2.7	Konfigurasi elektroda 2 dimensi.....	20
2.8	Konfigurasi elektroda 3 dimensi.....	21
2.9	Metode <i>neighboring</i> untuk akuisisi data dengan 16 elektroda	22
2.10	Instrument Red Pitaya	27
2.11	Bagian-bagian pin modul red pitaya	27
2.12	Web browser red pitaya	29
2.13	Rangkaian penurun offset.....	31
2.14	Rangkaian buffer.....	32
2.15	Rangkain VCCS howland	33
2.16	Rangkaian instrument amplifier	35
2.17	Blok diagram demultiplexer	36
2.18	Blok diagram multiplexer.....	37
2.19	Rangkaian <i>band pass filter</i>	38
2.20	Respon frekuensi <i>band pass filter</i>	38
2.21	Contoh hasil rekonstruksi menggunakan eiders	40
2.22	Contoh rangkaian <i>mesh</i>	40
3.1	Diagram alir prosedur penelitian.....	43
3.2	Diagram blok perancangan alat.....	44
3.3	Konfigurasi IC AD620	48
3.4	Algoritma rekonstruksi menggunakan EIDORS.....	55
4.1	Tampilan SCPI server pada website Red Pitaya	60
4.2	Rangkaian pengujian <i>function generator</i> pada red pitaya	61
4.3	Hasil tangkapan osiloskop pada frekuensi input 1khz	62
4.4	Grafik pengujian <i>function generator</i>	63
4.5	Rangkaian pengujian akuisisi sinyal pada red pitaya	64
4.6	Hasil akuisisi sinyal pada pin <i>extension connector</i> IN2	64
4.7	Rangkaian penurun offset	66
4.8	Hasil uji rangkaian penurun offset pada osiloskop	66
4.9	Grafik hasil pengujian rangkaian penurun offset	67

4.10	Rangkaian pengujian VCCS	69
4.11	Grafik pengujian VCCS	70
4.12	Rangkaian untuk menguji modul multiplexer	71
4.13	Rangkaian pengujian IC AD620 sebagai instrument amplifier	74
4.14	Hasil uji instrumen amplifier dengan penguatan 1x	75
4.15	Hasil uji instrumen amplifier dengan penguatan 5,94x	75
4.16	Hasil uji instrumen amplifier dengan penguatan 9,8x	76
4.17	Hasil uji instrumen amplifier dengan penguatan 50,4x	76
4.18	Grafik uji instrumen amplifier	77
4.19	Rangkaian pengujian <i>band pass filter</i>	79
4.20	Grafik hasil pengujian <i>band pass filter</i>	79
4.21	Tabung akrilik dan elektroda	81
4.22	3D printing tulang normal kanan, tulang fraktur kiri	82
4.23	Rangkaian EIT dalam satu PCB	83
4.24	Sistem EIT ketika pengambilan data	84
4.25	Data air 3x perulangan pada frekuensi 10 kHz	85
4.26	Data air 3x perulangan pada frekuensi 30 kHz	85
4.27	Pengambilan data 3D printing tulang normal	86
4.28	Data 3D printing tulang normal pada frekuensi 10 kHz	87
4.29	Data 3D printing tulang normal pada frekuensi 30 kHz	87
4.30	Data 3D printing tulang fraktur pada frekuensi 10 kHz	88
4.31	Data 3D printing tulang fraktur pada frekuensi 30 kHz	89
4.32	Plot data sebelum dan sesudah diberikan objek	91
4.33	Hasil pembuatan FEM	91
4.34	Hasil rekonstruksi citra 3d printing tulang normal frekuensi 10 kHz ...	92
4.35	Hasil rekonstruksi citra 3d printing tulang normal frekuensi 30 kHz ...	92
4.36	Hasil rekonstruksi citra 3d printing tulang fraktur frekuensi 10 kHz ...	93
4.37	Hasil rekonstruksi citra 3d printing tulang fraktur frekuensi 30 kHz ...	93
4.38	Rekonstruksi citra bagian fraktur frekuensi 10 kHz	94
4.39	Rekonstruksi citra bagian fraktur frekuensi 30 kHz	95
4.40	Citra konduktivitas	99
4.41	Perbandingan hasil rekonstruksi	101
4.42	Proses perhitungan luas area menggunakan ImageJ	106

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul
1.	Skematik Rangkaian <i>Electrical Impedance Tomography</i> (EIT)
2.	Skematik Pengujian <i>Function Generator</i>
3.	Skematik Pengujian Rangkaian Penurun Offset
4.	Skematik Pengujian VCCS
5.	Skematik Pengujian Multiplexer
6.	Skematik Pengujian Instrumen Amplifier
7.	Skematik Pengujian <i>Band Pass Filter</i>
8.	Tabung Akrilik Tampak Keseluruhan Dengan 16 Elektroda
9.	Kode Program Membangkitkan Sinyal Generator
10.	Kode Program Akuisisi Sinyal
11.	Kode Program Pengujian Multiplexer
12.	Kode Program EIT Keseluruhan
13.	Fungsi Untuk Membangkitkan Sinyal Generator
14.	Fungsi Set Akuisisi Sinyal
15.	Fungsi Untuk Memulai Akuisisi Data
16.	Fungsi Untuk Set Pin Output Multiplexer
17.	Fungsi Untuk Set <i>Channel</i> Output Untuk Multiplexer
18.	Kode Program Rekonstruksi Data Hasil Pengukuran