

IR- PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

RANCANG BANGUN ALAT *ELECTRICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY* UNTUK DETEKSI FRAKTUR TULANG

SKRIPSI

AMELIA

**PROGRAM STUDI S1-TEKNIK BIOMEDIS
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2022**

IR- PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

RANCANG BANGUN ALAT *ELECTRICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY* UNTUK DETEKSI FRAKTUR TULANG

LEMBAR PERNYATAAN

SKRIPSI

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

Amelia
NIM 081811733005

Disetujui oleh,

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc
NIP. 199207232019031014

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Rancang Bangun Alat *Electrical Impedance Spectroscopy* untuk Deteksi Fraktur Tulang
Penyusun : Amelia
NIM : 081811733005
Tanggal Ujian : 31 Oktober 2022

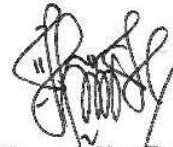
Disetujui oleh,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



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

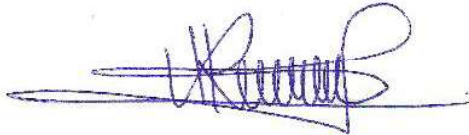


Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc
NIP. 199207232019031014

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 telah dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga. Diperkenankan untuk digunakan sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah. Dokumen skripsi ini merupakan hal milik Universitas Airlangga.

SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Amelia

NIM : 081811733005

Program Studi : Teknik Biomedis

Fakultas : Sains dan Teknologi

Jenjang : Sarjana (S1)

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

RANCANG BANGUN ALAT *ELECTRICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY* UNTUK DETEKSI FRAKTUR TULANG

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 2 November 2022

Amelia

NIM. 081811733005

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya naskah skripsi dengan judul ***“Rancang Bangun Alat Electrical Impedance Spectroscopy Untuk Deteksi Fraktur Tulang”*** dapat diselesaikan. Shalawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai teladan yang baik bagi umat manusia.

Skripsi ini dilatar belakangi oleh tingginya peningkatan fraktur tulang diberbagai negara termasuk Indonesia, dimana metode deteksi yang umum digunakan memiliki efek samping bagi pasien dan tidak ramah lingkungan. Dengan prinsip pengukuran *Electical Impedance Spectroscopy* (EIS) dapat diketahui perbedaan EIS pada tulang normal dan tulang fraktur. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk pengembangan alat deteksi pada fraktur tulang.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dari naskah skripsi ini. Oleh karena itu saran dan masukan yang membangun nantinya akan sangat berguna untuk membantu penulis dalam memperbaiki naskah skripsi ini. Semoga penelitian yang telah direncanakan dapat terlaksana dengan baik dan memberikan manfaat. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih.

Surabaya, 19 September 2022

Penulis,

Amelia

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan naskah skripsi ini dapat berjalan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Azwar dan Ibu Almi Susanti selaku kedua orang tua penulis yang selalu mencurahkan doa dan dukungan kepada penulis
2. Putri dan Adit Setiawan selaku adik kandung dari penulis yang selalu menghibur dan memberikan semangat kepada penulis
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, M.T selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
5. Bapak Dr. Khusnul Ain, S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam penyusunan skripsi, berupa saran, arahan dan waktunya kepada penulis selama penelitian dan menyusun skripsi ini.
6. Bapak Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam penyusunan skripsi, berupa saran, arahan dan waktunya kepada penulis selama penelitian dan menyusun skripsi ini.
7. Bapak Dr. Imam Sapuan, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji I yang memberikan banyak masukan terkait penulisan skripsi ini.
8. Bapak Dr. Jan Ady, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji II yang memberikan banyak masukan terkait penulisan skripsi ini
9. Mas Bayu selaku Laboran Fisika Modren yang telah banyak membantu dalam memberikan pengarahan, informasi terkait alat dan penelitian skripsi ini.

10. Angel dan Vinas yang menjadi teman seperjuangan selama di Laboratorium Fisika Modren yang selalu memberikan motivasi, semangat serta menjadi teman diskusi selama penelitian hingga penyusunan skripsi.
11. Teman-teman kos yaitu Zalsabila, Aini, Mustika, Salwa, Cyber, Esti, dan Melly yang selalu memberikan semangat dan teman diskusi selama pengerjaan skripsi dan perkuliahan.
12. Teman-teman BEATIN (S-1 Teknik Biomedis angkatan 2018) yang menemani dan mensupport selama penelitian dan perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa naskah skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk mengembangkan penelitian skripsi ini.

Amelia, 2022, **Rancang Bangun Alat *Electrical Impedance Spectroscopy* untuk Deteksi Fraktur Tulang**. Skripsi ini dibawah bimbingan Dr. Khusnul Ain, S.T., M.Si. dan Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc. Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRAK

Menurut sebuah penelitian, terdapat peningkatan kasus fraktur tulang dari tahun ke tahun diberbagai negara. *X-ray* merupakan alat deteksi fraktur tulang yang umum digunakan, namun penggunaan jangka panjang dapat menimbulkan efek samping bagi pasien. Oleh karena itu, dirancang alat *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk mendeteksi fraktur tulang. Rancangan alat deteksi ini tersusun atas berbagai komponen yaitu, *Analog Discovery 2*, rangkaian VCCS dan elektroda sebagai penginjeksi arus dan pengukur tegangan. Pengukuran dilakukan dengan empat titik dan dilakukan pada *phantom* yaitu 3D *printed model* tulang femur manusia berbahan *PolyLactide Acid* (PLA) untuk representasi tulang manusia. Pengukuran dilakukan pada dua kondisi *phantom* yaitu kondisi normal dan kondisi fraktur serta dilakukan dengan memberikan empat variasi jarak pelekatan elektroda *voltage sources*. Hasil pengukuran diperoleh bahwa terdapat perbedaan bentuk grafik nyquist antara *phantom* tulang normal dan tulang fraktur, dibuktikan dengan adanya perbedaan nilai komponen R dan C. Pada semua variasi jarak elektroda, menunjukkan bahwa komponen R pada *phantom* tulang fraktur memiliki nilai lebih besar dibandingkan R tulang normal. Sedangkan komponen C pada *phantom* tulang fraktur memiliki nilai lebih kecil dari C tulang normal. Diantara semua variasi jarak, variasi jarak 3 memiliki sensitifitas paling dalam mendeteksi perubahan, yaitu memiliki persentase perbedaan sebesar 25,26%.

Kata Kunci: *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS), Fraktur Tulang.

Amelia, 2022, **Design of Measurement Electrical Impedance Spectroscopy for Bone Fracture Detection**. This thesis is under guidance of Dr. Khusnul Ain, S.T., M.Si and Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc. Department of Physisc, Faculty of Science and Technology, Airlangga University, Surabaya.

ABSTRACT

According to a study, there is an increase in cases of bone fractures from year to year in various countries. X-ray is a commonly used bone fracture detection tool, but its use in the long term will have side effects for patients. Therefore, an Electrical Impedance Spectroscopy (EIS) tool was designed to detect bone fractures. The design of this detection device is composed of various components such as Analog Discovery 2, VCCS circuit, and electrodes for current injection and voltage measurement. Measurements were made with four measurement points and carried out on a phantom, a 3D-printed human femur bone model made of Polylactic Acid (PLA) to represent the human bone. Measurements were carried out in two phantom conditions, normal and fracture conditions. They were carried out by giving four variations of the distance to the attachment of the voltage sources electrodes. The measurement results show that there are differences in the shape of the Nyquist graph between normal bone and fractured bone, as evidenced by the difference in the values of the R and C components. All electrode distance variations show that the R component in fracture bone has a greater value than the R component in normal bone. In comparison, the C component in fractured bone has a value smaller than C in normal bone. Of all the variations, the variation of distance 3 has good sensitivity to changes, with a percentage difference of 25.26%.

Keywords: Electrical Impedance Spectroscopy (EIS), Bone Fracture.

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tulang	6
2.1.1. Fraktur Tulang	8
2.2. Konduktivitas Jaringan Tubuh	10
2.3. Impedansi	13
2.3.1. <i>Electrical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	15
2.4. <i>Analog Discovery 2</i>	16
2.5. <i>Voltage Controlled Current Sources</i> (VCCS).....	18
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2. Bahan dan Alat Penelitian.....	21
3.2.1. Peralatan Penelitian	21

3.2.2. Bahan Penelitian	21
3.2.3. <i>Software</i>	22
3.3. Metode Penelitian	22
3.3.1. Tahap Studi Literatur.....	23
3.3.2. Tahap Persiapan Alat dan Bahan	23
3.3.3. Tahap Perancangan Alat.....	24
3.3.4. Tahap Pengujian Komponen Alat	24
3.3.5. Tahap Pengujian Alat dengan Rangkaian Elektronika.....	26
3.3.6. Tahap Pengujian Alat dengan <i>3D Printed Model Tulang Femur</i>	28
3.3.7. Tahap Pengambilan Data.....	30
3.3.8. Tahap Analisis Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Hasil Pengujian Komponen Alat.....	32
4.1.1. Hasil Pengujian Generator Fungsi	32
4.1.2. Hasil Pengujian <i>Voltage Controlled Current Source (VCCS)</i>	35
4.2. Hasil Pengujian Kinerja Alat	37
4.2.1. Hasil Pengujian Alat dengan Rangkaian Elektronika	37
4.2.2. Analisis Keseluruhan Alat	53
4.3. Hasil Pengukuran Impedansi pada <i>Phantom Tulang</i>	55
4.3.1. Hasil Pengukuran <i>Phantom Tulang</i>	57
4.3.2. Pembahasan	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2. 1	Ukuran Osteometri Femur Laki-laki dan Perempuan (Saraswati, 2018).....	7
2. 2	Nilai Konduktivitas Jaringan Tubuh (Bronzino, 2000).....	12
3. 1	Skematik Variasi Rangkaian Elektronika.....	27
4. 1	Perbandingan Nilai Komponen Elektronika Pengukuran dengan Nilai Komponen Elektronika Secara Teori	55
4. 2	Perbandingan Nilai Komponen Elektronika pada Tulang Normal dan Tulang Fraktur dengan Keempat Variasi Jarak	75

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2. 1	Struktur Bentuk Tulang Panjang (Moreira <i>et al</i> , 2019)	8
2. 2	Fraktur Komplit (Apley dan Solomon, 2010).....	9
2. 3	Fraktur Inkomplit (Apley dan Solomon, 2010)	10
2. 4	Pemodelan Rangkaian Elektronika Sel (Soria, 2008)	11
2. 5	Pemodelan Elektronika Jaringan Tubuh (Soria, 2008)	12
2. 6	Respon Sel Terhadap Frekuensi (Nugraha <i>et al.</i> , 2016)	13
2. 7	Element Operasional Impedansi pada Listrik (Lasia, 2014)	14
2. 8	(a) <i>Nyquist Plot</i> , (b) Bode Plot Impedansi, (c) Bode Plot <i>Phase</i> (Lasia, 2014)	15
2. 9	Diagram Pinout <i>Analog Discovery 2</i> (DIGILENT, 2015)	17
2. 10	Diagram Blok <i>Analog Discovery 2</i> (DIGILENT, 2015)	18
2. 11	Sumber Arus <i>Howland</i> yang Dimodifikasi (Xu <i>et al.</i> , 2018).....	19
2. 12	OPA2134 (Instruments, 1997).....	20
2. 13	Pin Konfigurasi OPA2134.....	20
3. 1	Diagram Alir Penelitian.....	23
3. 2	Skema Rancang Alat <i>Electrical Impedance Spectroscopy</i>	24
3. 3	Skematik Pengujian Generator Fungsi	25
3. 4	Skematik Pengujian Rangkaian VCCS	26
3. 5	Skematik Pengujian Rancangan Alat dengan Rangkaian Elektronika.....	28
3. 6	Skema Pemasangan Elektroda pada <i>3D Printed Model</i> Tulang Femur Manusia	29
3. 7	Skematik Pengujian Rancangan Alat dengan 3D Printed Model Tulang Femur.....	29

4. 1	Tampilan Osiloskop pada Pengujian Generator (Frekuensi 1kHz)	34
4. 2	Grafik Hasil Pengujian Generator Fungsi	34
4. 3	Grafik Pengujian VCCS (Arus terhadap Frekuensi).....	36
4. 4	Bode Plot <i>Phase</i> Pengujian Alat pada Rangkaian R.....	39
4. 5	Bode Plot Impedansi Pengujian Alat pada Rangkaian R	39
4. 6	Grafik Nyquist Pengujian Alat pada Rangkaian R	40
4. 7	Bode Plot <i>Phase</i> Pengujian Alat pada Rangkaian C.....	41
4. 8	Bode Plot Impedansi Pengujian Alat pada Rangkaian C	42
4. 9	Grafik Nyquist Pengujian Alat pada Rangkaian C	42
4. 10	Bode Plot <i>Phase</i> Pengujian Alat pada Rangkaian RC Seri	44
4. 11	Bode Plot Impedansi Pengujian Alat pada Rangkaian RC Seri	45
4. 12	Grafik Nyquist Pengujian Alat pada Rangkaian RC Seri.....	46
4. 13	Bode Plot <i>Phase</i> Pengujian Alat pada Rangkaian RC Paralel.....	48
4. 14	Bode Plot Impedansi Pengujian Alat pada Rangkaian RC Paralel.....	49
4. 15	Grafik Nyquist Pengujian Alat pada Rangkaian RC Paralel	49
4. 16	Bode Plot <i>Phase</i> Pengujian Alat pada Rangkaian R dan RC Paralel....	51
4. 17	Bode Plot Impedansi Pengujian Alat pada Rangkaian R dan RC Paralel.....	52
4. 18	Grafik Nyquist Pengujian Alat pada Rangkaian R dan RC Paralel	52
4. 19	<i>3D printed Model Tulang Fraktur (Kiri) dan Tulang Normal (Kanan)</i>	56
4. 20	Rangkaian Implementasi alat EIS untuk Pengukuran Impedansi pada <i>Phantom Tulang</i>	57
4. 21	Pemasangan Elektroda <i>Phantom Tulang Normal (a) dan Tulang Fraktur (b)</i> dengan Variasi Jarak 1.....	58
4. 22	Bode Plot <i>Phase Phantom Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 1</i>	58

4. 23	Bode Plot Impedansi <i>Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 1	59
4. 24	Grafik Nyquist <i>Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 1	60
4. 25	Grafik Nyquist <i>Phantom</i> Tulang Normal (a) dan Tulang Fraktur (b) Variasi Jarak 1 pada <i>Software Z view</i>	60
4. 26	Rangkaian Pemodelan Sel Jaringan Tubuh	61
4. 27	Pemasangan Elektroda <i>Phantom</i> Tulang Normal (a) dan Tulang Fraktur (b) dengan Variasi Jarak 2.....	62
4. 28	Bode Plot <i>Phase Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 2	62
4. 29	Bode Plot Impedansi <i>Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 2	63
4. 30	Grafik Nyquist <i>Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 2	64
4. 31	Grafik Nyquist <i>Phantom</i> Tulang Normal (a) dan Tulang Fraktur (b) Variasi Jarak 2 pada <i>Software Zview</i>	64
4. 32	Pemasangan Elektroda <i>Phantom</i> Tulang Normal (a) dan Tulang Fraktur (b) dengan Variasi Jarak 3.....	66
4. 33	Bode Plot <i>Phase Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 3	66
4. 34	Bode Plot Impedansi <i>Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 3	67
4. 35	Grafik Nyquist <i>Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 3	67
4. 36	Grafik Nyquist <i>Phantom</i> Tulang Normal (a) dan Tulang Fraktur (b) Variasi Jarak 3 pada <i>Software Zview</i>	68
4. 37	Pemasangan Elektroda <i>Phantom</i> Tulang Normal (a) dan Tulang Fraktur (b) dengan Variasi Jarak 4.....	69
4. 38	Bode Plot <i>Phase Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 4	70

4. 39	Bode Plot Impedansi <i>Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 4	71
4. 40	Grafik Nyquist <i>Phantom</i> Tulang Normal dan Tulang Fraktur Variasi Jarak 4	72
4. 41	Grafik Nyquist <i>Phantom</i> Tulang Normal (a) dan Tulang Fraktur (b) Variasi Jarak 4 dengan <i>Software Zview</i>	72

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran
1	Skematik Rancang Bangun Alat Ukur EIS untuk Deteksi Fraktur Tulang
2	Rangkaian Implementasi Pengujian Generator Fungsi
3	Kode Program Menjalankan Generator Fungsi pada <i>Analog Discovery 2</i>
4	Data Pengujian Generator Fungsi Menggunakan <i>Analog Discovery 2</i>
5	Rangkaian Implementasi Pengujian VCCS
6	Tabel Data Pengujian Rangkaian VCCS
7	<i>User Interface</i> (UI) pada <i>Digilent Waveforms</i>
8	Tampilan Beberapa Fitur pada <i>Digilent Waveforms</i>
9	<i>User Interface</i> (UI) pada <i>Zview</i>
10	Rangkaian Implementasi Pengujian dengan Rangkaian Elektronika
11	Pengujian Alat dengan Rangkaian Elektronika pada <i>Analog Discovery 2</i>
12	Tabel Pengujian Alat dengan Rangkaian Elektronika
13	Pengukuran Komponen Elektronika dengan <i>Software Zview</i>
14	Kode Program untuk Menjalankan <i>Impedance Analyzer</i>
15	Hasil Pengukuran <i>3D Printed Model</i> Tulang Femur Normal
16	Hasil Pengukuran <i>3D Printed Model</i> Tulang Femur Fraktur
17	Hasil Prediksi Nilai Komponen Elektronika Menggunakan <i>Zview</i> pada Tulang Normal
18	Hasil Prediksi Nilai Komponen Elektronika Menggunakan <i>Zview</i> pada Tulang Fraktur