

**BUKU TUGAS AKHIR
CAPSTONE DESIGN**



**PENGEMBANGAN PURWARUPA PENGUJIAN
DENSITAS MODEL TULANG**

Diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan program sarjana di Prodi S1 Teknik Elektro

Oleh :

**Afif Alaudin / 1102190150
Nurul Hidayatul Muttaqin / 1102194216
Ryan Daffa Pratama / 1102194142**

**PRODI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS TELKOM
BANDUNG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

BUKU TUGAS AKHIR CAPSTONE DESIGN





Judul Capstone Design : PENGEMBANGAN PURWARUPA PENGUJIAN
DENSITAS MODEL TULANG

Tanggal Pengesahan : 16 Agustus 2023

Fakultas : Fakultas Teknik Elektro

Program Studi : S1 Teknik Elektro

Jumlah Halaman : 93

Data Pemeriksaan dan Persetujuan			
Ditulis Oleh	Nama : Afif Alaudin	Jabatan : Mahasiswa	Tanda Tangan 
	NIM : 1102190150	Tanda Tangan	
	Nama : Nurul Hidayatul Muttaqin	Jabatan : Mahasiswa	
NIM : 1102194216	Tanda Tangan		
Diperiksa Oleh	Nama : Ryan Daffa Pratama	Jabatan : Mahasiswa	Tanda Tangan 
	NIM : 1102194142	Tanda Tangan	
	Nama : Husneni Mukhtar, S.Si, M.T., Ph.D	Jabatan : Pembimbing 1	
Tanggal : 16/8/23	Tanda Tangan		
Disetujui Oleh	Nama : Dr. Hesty Susanti, S.T., M.T.	Jabatan : Pembimbing 2	Tanda Tangan 
	Tanggal : 16/08/2023	Tanda Tangan	
	Nama : Dr.-Ing. Fiky Yosef Suratman, S.T., M.T.	Jabatan : Penguji 1	
Tanggal :	Tanda Tangan		
Disetujui Oleh	Nama : Dr. Eng Faisal Budiman, S.T., M.Sc.	Jabatan : Penguji 2	Tanda Tangan 
	Tanggal :	Tanda Tangan	
	Tanggal :	Tanda Tangan	

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Kami, yang bertanda tangan di bawah ini

No.	NIM	Nama	Email
1.	1102190150	Afif Alaudin	tiniwinibiti@student.telkomuniversity.ac.id
2.	1102194216	Nurul Hidayatul Muttaqin	nhidayat@student.telkomuniversity.ac.id
3.	1102194142	Ryan Daffa Pratama	ryandaffap@telkomuniversity.com

menyatakan bahwa Buku Tugas Akhir Capstone Design ini merupakan karya orisinal kelompok Capstone Design kami bersama dengan judul:

PENGEMBANGAN PURWARUPA PENGUJIAN DENSITAS MODEL TULANG

DEVELOPMENT OF BONE MODEL DENSITY TESTING PROTOTYPE

Atas pernyataan ini, kami siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan kepada kami apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidak aslian karya ini.

Bandung, 24 Juli 2023



Afif Alaudin

1102190150



Nurul Hidayatul Muttaqin

1102194216



Ryan Daffa Pratama

1102194142

TIMELINE REVISI DOKUMEN

Versi, Tanggal	Revisi	Perbaikan yang dilakukan	Halaman Revisi
1, 26 Oktober 2022	Perbaikan isi latar belakang masalah	- Perbaikan penulisan - Pendetailan rentang frekuensi yang dipakai	1
	Efisiensi penjelasan pada informasi pendukung	- Mengurangi penjelasan yang berulang - Pengerucutan ke topik utama perancangan	2
	Perbaikan kalimat pada <i>constraint</i>	- Mengganti istilah - Perbaikan kalimat - Perbaikan tanda baca	3
	Perbaikan kalimat pada kebutuhan yang harus dipenuhi	- Perbaikan kalimat	3
	Perbaikan kalimat pada tujuan	- Perbaikan kalimat	3
2, 07 Desember 2022	Perbaikan isi latar belakang	- Penghapusan paragraph yang tidak diperlukan	1
	Penambahan informasi pendukung	- Menambahkan beberapa informasi tambahan sebagai penguat data	2
	Perubahan analisa umum menjadi <i>constraint</i>	- Perubahan aspek yang dicantumkan	3
	Perubahan kebutuhan yang harus dipenuhi	- Perubahan isi kebutuhan yang harus dipenuhi	3
	Perbaikan isi verifikasi	- Mengubah metode pengukuran dan prosedur pengujian pada spesifikasi #1 dan spesifikasi #2	6
Perbaikan kebutuhan pada lampiran	- Merubah beberapa kebutuhan yang diperlukan	74	
3, 12 Januari 2023	Perbaikan pada masalah	- Penambahan informasi	1
	Perbaikan latar belakang masalah	- Perbaikan penulisan referensi	1
	Perbaikan kebutuhan yang harus dipenuhi	- Penambahan informasi	3

	Perbaiki isi spesifikasi	- Penambahan informasi	4-5
	Perbaiki isi spesifikasi produk	- Penambahan dan perubahan informasi	4-5
	Perbaiki isi verifikasi	- Penambahan dan perubahan informasi	6
	Diagram Fungsi	- Perubahan gambar diagram fungsi	7
4, 19 Juli 2023	Perbaiki latar belakang dan informasi pendukung	- Penyesuaian isi dokumen	1-2
	Perbaiki kebutuhan yang harus dipenuhi	- Penyesuaian terhadap isi kebutuhan	3
	Perbaiki isi spesifikasi	- Penyesuaian informasi	4-5
	Perbaiki isi spesifikasi produk	- Penyesuaian informasi	4-5
	Perbaiki isi verifikasi	- Penyesuaian informasi	6
	Pemilihan sistem	- Penyesuaian kebutuhan sistem	13-16
	Implementasi Sistem	- Penambahan Informasi yang kurang dan belum ada.	27-58
	Pengujian Sistem	- Menambahkan informasi yang belum tercantum pada dokumen sebelumnya	59-66
14, 15 Agustus 2023	Pengambilan ulang data pada spot yang sama	- Mengambil ulang data 4 titik pada 3 sisi (Atas, Samping, dan Kecil)	46-49
	Memperbaiki plot regresi	- Memperbaiki isi dari data pada sumbu X dan Y	46-49
	Menambahkan referensi pada latar belakang	- Penyesuaian informasi	1
	Justifikasi terkait proses klasifikasi	- Menambahkan penjelasan	53
	Pengukuran berat sampel 30%-90%	- Penambahan informasi terkait berat model tulang	54

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "PENGEMBANGAN PURWARUPA PENGUJIAN DENSITAS MODEL TULANG" ini. Tugas Akhir ini kami susun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

Kami menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik, saran, dan masukan dari semua pihak sangat kami harapkan untuk perbaikan dan pengembangan lebih lanjut.

Akhir kata, kami berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Semoga hasil dari penelitian ini dapat diaplikasikan dan memberikan solusi yang positif dalam bidang yang relevan.

Terima kasih kami ucapkan.

Hormat kami,

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung kami dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini:

1. Orang tua kami yang selalu mendoakan serta memberikan semangat dan dukungan selama kuliah.
2. Ibu Dr. Hesty Susanti, S.T., M.T., Ibu Husneni Mukhtar, S.Si, M.T, Ph.D dan Bapak Prof. Dr. Suprijanto, S.T, M.T. selaku dosen yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan yang berharga sepanjang proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Semua dosen dan staf pengajar di Universitas Telkom yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan wawasan yang sangat berarti bagi perkembangan kami selama berkuliah.
4. Teman-teman dan orang yang telah membantu kami yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu yang selalu memberikan dukungan moral dan semangat dalam setiap langkah perjalanan kami dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini tidak mungkin terselesaikan tanpa bantuan dan dukungan dari semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semua kontribusi dan motivasi dari mereka telah membantu kami menghadapi berbagai tantangan dan hambatan dalam penulisan Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMAKASIH	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB 1 ANALISIS KEBUTUHAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Informasi Pendukung	2
1.3 <i>Constraint</i>	3
1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi.....	3
1.5 Tujuan	3
BAB 2 SPESIFIKASI DAN VERIFIKASI.....	4
2.1 Spesifikasi Produk	4
2.1.1 Spesifikasi #1 Klasifikasi Model Tulang.....	4
2.1.2 Spesifikasi #2 Pengambilan data kurang dari 1 menit.....	5
2.1.3 Spesifikasi #3 Mudah dioperasikan.....	5
2.2 Verifikasi.....	6
2.2.1 Verifikasi Spesifikasi 1.....	6
2.2.2 Verifikasi spesifikasi 2	6
2.2.3 Verifikasi spesifikasi 3	6

BAB 3 DESAIN RANCANGAN SOLUSI.....	7
3.1 Konsep Solusi	7
3.1.1 Diagram Fungsi	7
3.1.2 Alternatif Solusi Sistem yang Diusulkan.....	8
3.2 Pemilihan Sistem	13
3.2.1 Kriteria Pemilihan Sistem.....	13
3.2.2 Matriks Keputusan (<i>Decision Matrix</i>).....	16
3.2.3 Sistem terpilih yang akan dikembangkan.....	16
3.3 Rencana Desain Sistem.....	17
3.3.1 Diagram Blok Level 0 Handheld Bone Densitometry.....	17
3.3.2 Diagram Blok Handheld Bone Densitometry.....	18
3.3.3 Diagram Blok Level 2 Transduser.....	19
3.3.4 Diagram Blok Level 2 Sistem Ultrasound.....	19
3.3.5 Diagram Blok Level 2 Model Tulang.....	20
3.3.6 Diagram Blok Level 2 Pengolahan Data	20
3.3.7 Flowchart Handheld Bone Densitometry	21
3.3.8 Flowchart Pengaturan User	22
3.3.9 Flowchart Sistem Ultrasound	23
3.3.10 Flowchart Pengolah Data.....	24
3.4 Pemilihan Komponen.....	25
3.4.1 Mikrokomputer	25
3.4.2 Transduser	25
3.5 Jadwal Pengerjaan.....	26
BAB 4 IMPLEMENTASI SOLUSI	27
4.1 Implementasi Sistem.....	27
4.1.1 Sub-sistem Transduser.....	27
4.1.2 Sub-sistem Pulser	29

4.1.3	Sub-sistem Pengolahan Data	33
4.2	Analisis Pengerjaan Implementasi Sistem	51
4.3	Hasil Akhir Integrasi Sistem	53
BAB 5 PENGUJIAN SISTEM.....		56
5.1	Pengujian Sistem.....	56
5.1.1	Pengujian Spesifikasi 1 : Klasifikasi Model Tulang	56
5.1.2	Pengujian Spesifikasi 2 : Pengambilan Data Kurang Dari 1 Menit	60
5.1.3	Pengujian Spesifikasi 3 : Kemudahan Pengoperasian Alat	61
5.2	Kesimpulan dan Saran	63
5.2.1	Kesimpulan.....	63
5.2.2	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN CD-1		66
LAMPIRAN CD-3.....		76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram fungsi	7
Gambar 3.2 Perbandingan pulse echo dan through-transmission	9
Gambar 3.3 Metode O-Ring	9
Gambar 3.4 Metode Position Adjustment	10
Gambar 3.5 Pulse Echo O-Ring	10
Gambar 3.6 Through-Transmission Position Adjustment	11
Gambar 3.7 Pulse Echo Position Adjustment	12
Gambar 3.8 Through Transmission O-Ring	13
Gambar 3.9 Level 0 Handheld Bone Densitometry	17
Gambar 3.10 Level 1 Handheld Bone Densitometry	18
Gambar 3.11 Level 2 Sub-sistem Transduser	19
Gambar 3.12 Sub-sistem Ultrasound	19
Gambar 3.13 Sub-sistem Model Tulang	20
Gambar 3.14 Sub-sistem Pengolahan Data	20
Gambar 3.15 Flowchart Handheld Bone Densitometry	21
Gambar 3.16 Flowchart Pengaturan User	22
Gambar 3.17 Flowchart Sistem Ultrasound	23
Gambar 3.18 Flowchart Sistem Pengolah Data	24
Gambar 4.1 Transduser	27
Gambar 4.2 Hasil gelombang pada pengujian transduser	28
Gambar 4.3 layout PCB sub-sistem pulser un0rick.	29
Gambar 4.4 Sub-sistem pulser un0rick tampak dari atas.	30
Gambar 4.5 Hasil kalibrasi frekuensi pada 1 MHz.	32
Gambar 4.6 Source code filter signal	34
Gambar 4.7 FFT model dan PSD model	34
Gambar 4.8 Arsitektur Model Random Forest Classifier	35
Gambar 4.9 Plot model tulang 30%	37
Gambar 4.10 Plot model tulang 50%	37
Gambar 4.11 Plot model tulang 70%	38
Gambar 4.12 Plot model tulang 90%	38
Gambar 4.13 Perhitungan FFT model tulang 30%	39

Gambar 4.14 Perhitungan FFT model tulang 50%	40
Gambar 4.15 Perhitungan FFT model tulang 70%	40
Gambar 4.16 Perhitungan FFT model tulang 90%	41
Gambar 4.17 Hasil nilai PSD model tulang 30%	42
Gambar 4.18 Hasil nilai PSD model tulang 50%	43
Gambar 4.19 Hasil nilai PSD model tulang 70%	43
Gambar 4.20 Hasil nilai PSD model tulang 90%	44
Gambar 4.21 Nilai puncak PSD	44
Gambar 4.22 Plot regresi polinomial nilai puncak FFT rata-rata sisi atas	46
Gambar 4.23 plot regresi polinomial nilai puncak FFT rata-rata sisi samping	46
Gambar 4.24 plot regresi polinomial nilai puncak FFT rata-rata sisi kecil	47
Gambar 4.25 Plot regresi polinomial nilai puncak PSD rata-rata sisi atas	48
Gambar 4.26 plot regresi polinomial nilai puncak PSD rata-rata sisi samping	48
Gambar 4.27 plot regresi polinomial nilai puncak PSD rata-rata sisi kecil	49
Gambar 4.28 Model tulang	53
Gambar 4.29 Grafik berat model terhadap densitas model tulang	54
Gambar 4.30 Holder model tulang	54
Gambar 4.31 Handheld Bone Densitometry	55
Gambar 5.1 Pengujian pengambilan data	60
Gambar 5.2 Pengoperasian alat	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Produk.....	4
Tabel 2.2.2 Rangkuman kebutuhan dan kaitannya terhadap spesifikasi	5
Tabel 2.2.3 Spesifikasi 1.....	6
Tabel 2.2.4 Spesifikasi 2.....	6
Tabel 2.2.5 Spesifikasi 3.....	6
Tabel 3.1 Usulan konsep.....	8
Tabel 3.2 Rating setiap kriteria	15
Tabel 3.3 Decision matrix.....	16
Tabel 3.4 Level 0 Handheld Bone Densitometry.....	17
Tabel 3.5 Level 1 Handheld Bone Densitometry.....	18
Tabel 3.6 Level 2 Sub-sistem Transduser	19
Tabel 3.7 Sub-sistem Ultrasound.....	19
Tabel 3.8 Sub-sistem Model Tulang.....	20
Tabel 3.9 Sub-sistem Pengolahan Data.....	20
Tabel 3.10 Komponen mikrokomputer.....	25
Tabel 3.11 Komponen transduser	25
Tabel 4.1 Hasil kalibrasi frekuensi pada pulser Un0rick.....	31
Tabel 4.2 Perbandingan implementasi.....	51

DAFTAR SINGKATAN

Istilah	Keterangan
3D	: <i>3 Dimension</i>
μ	: <i>Mikro</i>
ADC	: <i>Analog Digital Converter</i>
CD	: <i>Capstone Design</i>
CM	: <i>Centimeter</i>
CT	: <i>Computed Tomographic</i>
CSV	: <i>Comma Separated Values</i>
dB	: <i>desibel</i>
DC	: <i>Direct Current</i>
DEXA	: <i>Dual Energy X-ray Absorptiometry</i>
FDM	: <i>Fused Deposition Modeling</i>
FFT	: <i>Fast-Fourier Transform</i>
FPGA	: <i>Field-Programmable Gate Array</i>
IO	: <i>Input Output</i>
IP	: <i>Internet Protocol</i>
JSON	: <i>JavaScript Object Notation</i>
kHz	: <i>Kilo Hertz</i>
Mbit	: <i>Mega bit</i>
MHz	: <i>Mega Hertz</i>
PLA	: <i>Polylactic Acid</i>
PMOD	: <i>Peripheral Module Interface</i>
PSD	: <i>Power Spectral Density</i>
S	: <i>Second</i>
SPI	: <i>Serial Peripheral Interface</i>
SRAM	: <i>Static Random Access Memory</i>
TGC	: <i>Time Gain Compensator</i>
UHF	: <i>Ultra High Frequency</i>
USD	: <i>United State Dollar</i>
V	: <i>Volt</i>
VDC	: <i>Volt Direct Current</i>

ABSTRAK

Metode diagnosis osteoporosis yang masih menjadi gold standard internasional saat ini adalah metode Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA) yang masih memiliki beberapa kendala menjadi standar untuk pemeriksaan densitas tulang sekarang ini sehingga diperlukan alternatif karena ketidakakuratan pada beberapa kondisi, keterbatasan ukuran dan paparan radiasi sebesar 1 sampai 3 mrad tiap pengukuran. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan purwarupa pengujian densitas pada model tulang dengan menggunakan teknologi spektroskopi ultrasonografi.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, mulai dari analisis kebutuhan, penentuan spesifikasi, pembuatan desain solusi, implementasi dan pengujian sistem. Pada tahap analisis kebutuhan, diputuskan untuk merancang sistem yang dapat mengklasifikasi densitas model tulang, dapat mengambil data kurang dari 1 menit, dan dapat melakukan pengukuran dengan mudah. Setelah itu, dilakukan pengujian dengan bantuan machine learning dengan metode *random forest*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa purwarupa yang dikembangkan mampu memenuhi seluruh aspek rancangan sistem dengan tepat. Penggunaan teknologi spektroskopi ultrasonografi sebagai metode pengujian densitas model tulang menunjukkan bahwa metode ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan berbagai parameter yang disesuaikan untuk membantu kebutuhan medis dikemudian hari.

Kata kunci : spektroskopi ultrasonografi, *random forest*, model tulang, DEXA, pengujian densitas, machine learning

ABSTRACT

The current international gold standard method for diagnosing osteoporosis is Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA), which still has several limitations as the standard for bone density examination, including inaccuracies in certain conditions, size limitations, and radiation exposure of 1 to 3 mrad per measurement. Therefore, this research aims to develop a prototype for bone density testing using ultrasonographic spectroscopy technology as an alternative to address these challenges.

This research consists of several stages, starting from needs analysis, specification determination, solution design, implementation, and system testing. In the needs analysis stage, it was decided to design a system that can classify bone model density, acquire data in less than 1 minute, and perform measurements easily. Subsequently, testing was conducted with the assistance of machine learning using the random forest method.

The test results showed that the developed prototype can meet all aspects of the system design accurately. The use of ultrasonographic spectroscopy technology as a method for bone model density testing indicates that this method can be further developed with various customized parameters to meet future medical needs.

Keywords: ultrasonographic spectroscopy, random forest, bone model, DEXA, density testing, machine learning.

BAB 1

ANALISIS KEBUTUHAN

Masalah yang akan diselesaikan pada *capstone design* ini adalah metode diagnosis osteoporosis yang masih menjadi *gold standard* internasional saat ini adalah metode *Dual Energy X-ray Absorptiometry* (DEXA) yang masih memiliki beberapa kendala menjadi standar untuk pemeriksaan densitas tulang sekarang ini sehingga diperlukan alternatif karena ketidakakuratan pada skoliosis dan implan logam seperti masalah posisi dengan DEXA dapat menyebabkan hasil yang tidak valid [1] [2], keterbatasan ukuran dan paparan radiasi sebesar 1 sampai 3 mrad tiap pengukuran [3]. Metode lain yang dapat diterapkan, yaitu pengukuran kepadatan tulang dengan metode spektroskopi ultrasonik mode-A. Metode ini dapat digunakan sebagai skrining awal densitas tulang untuk diagnosis osteoporosis, osteopenia, tulang normal dan mudah dalam pengambilan data serta tidak menimbulkan efek radiasi karena menggunakan gelombang akustik sekaligus dapat dilakukan pengambilan data dalam waktu kurang dari 1 menit.

1.1 Latar Belakang Masalah

Osteoporosis adalah penyakit umum yang terutama menyerang wanita menopause dan ditandai dengan kepadatan tulang yang rendah dan peningkatan risiko patah tulang [4]. Hal ini ditandai dengan menurunnya massa tulang (kepadatan tulang) secara keseluruhan akibat ketidakmampuan tubuh dalam mengatur kandungan mineral dalam tulang dan disertai dengan rusaknya arsitektur tulang, hal ini mengakibatkan penurunan kekuatan model tulang yang dalam hal ini adalah pengeroposan tulang, sehingga risiko mudah terjadi patah tulang.

Dampak osteoporosis terhadap kualitas hidup sangat signifikan, terutama pada individu yang lebih tua. Kondisi tersebut dapat menyebabkan gangguan fungsional, imobilisasi berkepanjangan, dan pembatasan aktivitas hidup sehari-hari, yang mengakibatkan penurunan kualitas hidup terkait kesehatan [5]. Sangat penting untuk mempertimbangkan dampak osteoporosis terhadap kualitas hidup, karena harapan hidup dan status ekonomi meningkat di antara orang dewasa lanjut usia [5]. Sehingga diperlukan mitigasi sebagai tindakan pencegahan untuk meminimalisir terjadinya osteoporosis dengan melakukan *screening* dengan metode yang paling sederhana dan unggul.

Spektroskopi ultrasonografi, juga dikenal sebagai pengukuran ultrasound, adalah alat diagnostik yang banyak digunakan di berbagai bidang medis. Ini menggunakan gelombang