

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 1	67
LAMPIRAN 3.5	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

suara frekuensi tinggi untuk menghasilkan sinyal akustik dari struktur internal dalam tubuh. Spektroskopi ultrasonografi telah terbukti menjadi teknik yang berharga dalam berbagai spesialisasi medis, termasuk anesthesiologi, kedokteran darurat, bedah toraks, ginekologi, kedokteran hewan, ortopedi, kedokteran gigi, gastroenterologi, dan pulmonologi.

Di bidang anesthesiologi, ultrasonografi telah terbukti lebih unggul daripada teknik palpasi tradisional untuk kateterisasi arteri radialis [6]. Studi telah melaporkan tingkat keberhasilan yang lebih tinggi dan akurasi yang lebih baik saat menggunakan teknik yang dipandu ultrasonografi. Misalnya, sebuah penelitian dengan menunjukkan tingkat keberhasilan percobaan pertama sebesar 95% pada kelompok ultrasonografi dibandingkan dengan tingkat keberhasilan yang lebih rendah pada kelompok palpasi [6].

Untuk menjawab persoalan ini, ultrasonografi dapat dijadikan metode alternatif yang menjanjikan. Dengan segala kelebihan yang telah disebutkan di atas, ultrasonografi lebih cocok digunakan untuk pemeriksaan awal.

1.2 Informasi Pendukung

Model tulang 3D menjadi semakin penting dalam berbagai aplikasi biomedis, termasuk perencanaan bedah, rekayasa jaringan, dan desain implan. Model-model ini memberikan representasi struktur tulang yang terperinci dan akurat, memungkinkan visualisasi dan pemahaman fitur anatomi yang lebih baik [7] [8] [9].

Satu studi dengan berfokus pada reproduktifitas dan akurasi model tulang 3D yang dicetak menggunakan teknologi *fused deposition modeling* (FDM) dengan *polylactic acid* (PLA) [10]. Para penulis menggunakan gambar *computed tomographic* (CT) dari mayat kucing untuk membuat file rendering permukaan tulang, yang kemudian dicetak menggunakan printer 3D desktop. Studi tersebut menemukan bahwa model cetakan 3D menunjukkan kesepakatan yang hampir sempurna ketika membandingkan model dari tulang kadaver yang sama, menunjukkan reproduktifitas yang tinggi. Keakuratan model dinilai menggunakan pengukuran yang diambil dari model plastik dan tulang kadaver, dan hasilnya menunjukkan kesesuaian sedang hingga kuat antara keduanya. Studi ini juga menyelidiki efek sterilisasi autoklaf pada model cetakan dan tidak menemukan dampak yang signifikan terhadap keandalan ukurannya.

Selain itu, model tulang 3D telah terbukti memfasilitasi diagnosis klinis dan meningkatkan hasil bedah [11]. Mereka memungkinkan ahli bedah untuk memvisualisasikan anatomi dalam tiga dimensi, membantu dalam perencanaan dan pelaksanaan operasi yang kompleks. Penggunaan teknologi pencetakan 3D dalam membuat struktur berpori untuk model

tulang telah ditemukan untuk meningkatkan proses fabrikasi dan meningkatkan pemahaman baik untuk studi akademik maupun perencanaan bedah [9].

1.3 Constraint

Dalam mengoptimalkan hasil dan tujuan kerja maka diputuskan untuk memberikan batasan guna menjaga paramater agar tetap dalam batas yang ditentukan, untuk aspek batasan yang digunakan sebagai berikut :

1.3.1 Aspek Keberlanjutan (*sustainability*)

Membahas bahwa dengan menggunakan metode ini sebagai skrining awal, pemeriksaan densitas model tulang sehingga memudahkan untuk diagnosa awal pasien yang berisiko osteopenia/osteoporosis sekaligus dapat dikembangkan lebih lanjut dan mudah digunakan.

1.3.2 Aspek Ketepatan (*Accuracy*)

Penting untuk memastikan bahwa purwarupa dapat menghasilkan pengukuran densitas tulang yang akurat dan konsisten. Validasi dan kalibrasi perangkat harus dilakukan secara menyeluruh untuk memastikan ketepatan hasil pengukuran.

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan analisis dan rumusan masalah yang telah dilakukan, adapun kebutuhan-kebutuhan yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat mengklasifikasi densitas model tulang (normal 90%, osteopenia 70%, dan osteoporosis 30% dan 50%).
2. Sistem dapat mengambil data dalam waktu kurang dari 1 menit.
3. Dapat melakukan pengukuran dengan mudah.

1.5 Tujuan

Capstone design ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah alat diagnosis osteoporosis menggunakan ultrasonografi yang dapat mengklasifikasikan kondisi kepadatan tulang menggunakan model tulang *3D printing* yaitu tulang normal, osteopenia, dan osteoporosis dengan variasi kepadatan yang berbeda.

BAB 2

SPESIFIKASI DAN VERIFIKASI

Tabel berikut adalah ringkasan singkat dari kebutuhan yang harus dipenuhi sub-bab 1.4.

Tabel 2.1 Spesifikasi Produk

No	Kebutuhan yang harus dipenuhi
1	Sistem dapat mengklasifikasi densitas model tulang (normal 90%, osteopenia 70%, dan osteoporosis 50% dan 30%).
2	Alat dapat mengambil data dalam waktu kurang dari 1 menit.
3	Alat dapat melakukan pengukuran dengan mudah.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, maka berikut uraian spesifikasi dan verifikasinya.

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 Spesifikasi #1 Klasifikasi Model Tulang

Ultrasonografi A-mode adalah teknik yang dapat digunakan untuk pemodelan tulang 3D. Meskipun ada penelitian terbatas yang secara khusus menggunakan ultrasonografi A-mode untuk model tulang 3D, ada penelitian yang mengeksplorasi penggunaan ultrasonografi dalam pemodelan dan pencitraan tulang. Satu studi oleh [12], menyelidiki stabilitas implan menggunakan pengukuran frekuensi resonansi dan pemodelan elemen hingga 3D. Mereka melaporkan bahwa kualitas/densitas tulang menurun, frekuensi resonansi tulang juga menurun [12]. Studi ini menunjukkan potensi penggunaan teknik pencitraan, seperti ultrasonografi, untuk menilai kualitas dan kepadatan tulang. Oleh karena itu penggunaan ultrasonografi mode-A sudah cukup untuk digunakan sebagai skrining awal dalam pengukuran densitas model tulang.

Proses pengolahan data yang dilakukan pada mikrokomputer atau *personal computer* dan laptop dapat menggunakan berbagai jenis algoritma seperti; *fuzzy logic*, *signal processing*, *image processing*, dan berbagai algoritma lainnya. Pada algoritma yang digunakan akan mempengaruhi komputasi yang dilakukan oleh mikrokomputer atau *personal computer* dan laptop. Sehingga, semakin berat komputasi yang dilakukan oleh sistem akan mempengaruhi kecepatan dalam pengolahan data, dan sebaliknya untuk dapat mengklasifikasikan model

tulang (normal 90%, osteopenia 70%, osteoporosis 30% dan 50%) berdasarkan amplitudo gelombang.

2.1.2 Spesifikasi #2 Pengambilan data kurang dari 1 menit

Pengambilan sampel waktu ultrasonografi A-mode adalah teknik yang digunakan dalam pencitraan medis untuk menilai berbagai kondisi dan memandu prosedur. Ini melibatkan penggunaan ultrasonografi untuk menangkap gambar waktu nyata dan pengukuran jaringan atau struktur yang diminati. A-mode mengacu pada mode tampilan di mana amplitudo sinyal ultrasound diplot terhadap waktu. Maka sebuah sistem yang akan dirancang harus memiliki waktu pengambilan sampel yang cepat kurang dari 1 menit.

2.1.3 Spesifikasi #3 Mudah dioperasikan

Sistem ultrasonografi yang dirancang harus memudahkan user dalam segi pengoperasian, penyimpanan alat, dan kenyamanan pengguna. Parameter *user experience* dapat mempengaruhi nilai pasar dan daya saing terhadap pemasaran produk. Sehingga, jika parameter diatas terpenuhi maka produk dapat lebih mudah untuk dikembangkan.

Tabel 2.2.2 Rangkuman kebutuhan dan kaitannya terhadap spesifikasi

No	Kebutuhan	Spesifikasi
1	Klasifikasi Model Tulang	Sistem dapat mengklasifikasikan model tulang (normal 90%, osteopenia 70%, dan osteoporosis 50% dan 30%) berdasarkan amplitudo gelombang dari berbagai jenis model tulang.
2	Pengambilan data kurang dari 1 menit	Pengambilan data pada dilakukan secara cepat dengan waktu pengambilan data kurang dari 1 menit
3	Mudah dioperasikan	Proses dari persiapan hingga pengambilan data dapat dengan mudah dioperasikan.

2.2 Verifikasi

2.2.1 Verifikasi Spesifikasi 1

Tabel 2.2.3 Spesifikasi 1

Spesifikasi	Sistem dapat mengklasifikasi densitas model tulang (normal 90%, osteopenia 70%, dan osteoporosis 50% dan 30%).
Metode Pengukuran	Pengukuran amplitudo menggunakan mikrokomputer.
Prosedur Pengujian	Dilakukan dengan membuat algoritma berdasarkan besaran amplitudo yang diterima setelah gelombang <i>pulser</i> melalui model tulang dan kemudian ditangkap oleh <i>receiver</i> .

Sistem dapat mengklasifikasi jenis kepadatan tulang berdasarkan nilai amplitudo terhadap waktu yang dihasilkan pada proses pengukuran densitas model tulang.

2.2.2 Verifikasi spesifikasi 2

Tabel 2.2.4 Spesifikasi 2

Spesifikasi	Alat dapat mengambil data dalam waktu kurang dari 1 menit.
Metode Pengukuran	Kecepatan mikrokomputer dalam proses pengambilan data.
Prosedur Pengujian	Pengambilan data dilakukan menggunakan algoritma dengan tingkat presisi yang tinggi dengan beban komputasi yang ringan sehingga dapat dilakukan dengan waktu yang cepat.

Alat yang berfungsi sebagai pengambil data mampu melakukan komputasi dengan waktu kurang dari 1 menit.

2.2.3 Verifikasi spesifikasi 3

Tabel 2.2.5 Spesifikasi 3

Spesifikasi	Alat dapat melakukan pengukuran dengan mudah.
Metode Pengukuran	Prosedur yang dilakukan pada persiapan hingga pengambilan data dilakukan dengan praktis dan seminimal mungkin.
Prosedur Pengujian	Pengguna membandingkan kenyamanan dan kemudahan dalam pengambilan data berdasarkan metode yang diajukan.

Proses penggunaan alat dari persiapan hingga mendapatkan hasil data nilai kepadatan tulang dapat dilakukan dengan mudah.

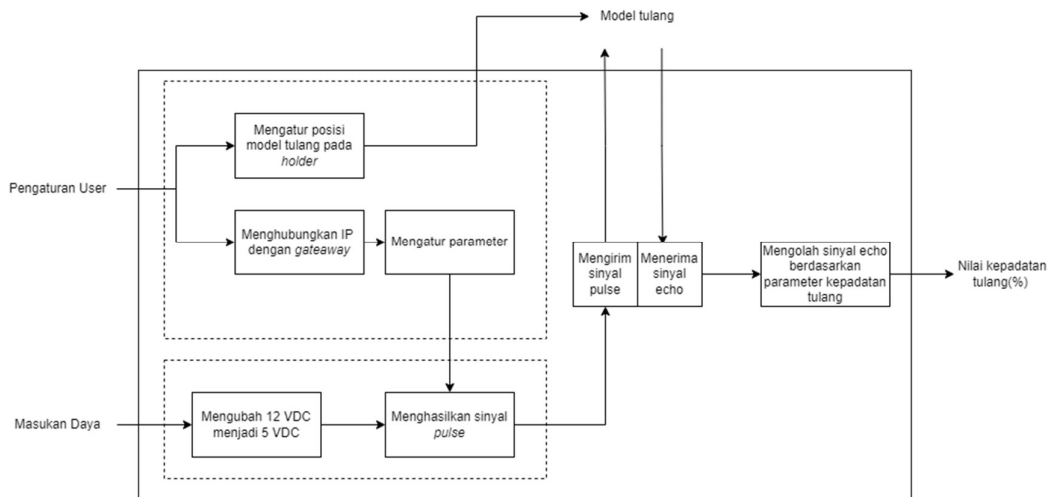
BAB 3

DESAIN RANCANGAN SOLUSI

3.1 Konsep Solusi

3.1.1 Diagram Fungsi

Berikut merupakan konsep solusi yang telah dibuat:



Gambar 3.1 Diagram fungsi

Sistem ini bekerja memerlukan tegangan *input* sebesar 5 VDC untuk menjalankan sistem. *Output* tegangan DC kemudian digunakan untuk menghasilkan sinyal pulse yang besaran frekuensinya dapat disesuaikan oleh user. Hasil dari sinyal pulse di transmisikan ke transmitter untuk dipancarkan ke model tulang, hasil gelombang akan diterima oleh receiver untuk dilakukan pengakuisisian data sebelum dilakukan pemrosesan sinyal pada mikrokomputer atau *personal computer* dan laptop untuk menghasilkan nilai kepadatan tulang. Selain itu user dapat mengatur posisi model tulang pada holder sesuai dengan bagian yang akan dicek kepadatan tulangnya.

3.1.2 Alternatif Solusi Sistem yang Diusulkan

Berdasarkan konsep solusi yang dibuat, sistem harus memenuhi aspek sebagai berikut :

3.1.2.1 Karakteristik Solusi

Dapat mengukur sifat kepadatan model tulang berdasarkan berdasarkan amplitudo gelombang dalam medium model tulang.

- **Fitur Dasar:**

Sistem dapat mendeteksi perbedaan nilai amplitudo gelombang sehingga dapat menentukan klasifikasi densitas model tulang (normal 90%, osteopenia 70%, dan osteoporosis 50% dan 30%).

- **Fitur Tambahan:**

Proses pengambilan data dapat dilakukan dalam waktu kurang dari 1 menit.

3.1.2.2 Usulan Solusi dan Skenario Penggunaan

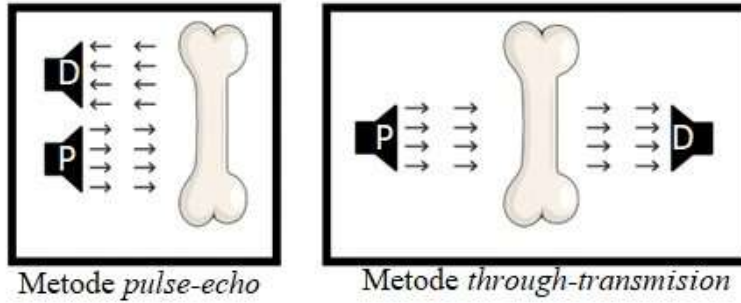
Berikut merupakan usulan konsep solusi yang kami buat untuk *Handheld Bone Densitometry*, terdiri dari 4 usulan solusi dan 2 fungsi.

Tabel 3.1 Usulan konsep

Konsep	Konsep 1	Konsep 2	Konsep 3	Konsep 4
Fungsi				
Metode pengambilan data	Pulse Echo	Through Transmission	Pulse Echo	Through Transmission
Metode peletakkan model tulang.	O-ring	Position Adjustment	Position Adjustment	O-ring

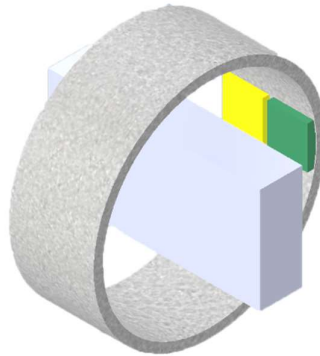
Metode **Pulse-Echo** merupakan metode akuisisi dari gelombang ultrasonik dimana menggunakan 1 atau 2 buah transduser *transmitter* (pulser) dan *receiver* (detector) yang diletakan dengan posisi yang “bersebelahan” dengan memanfaatkan fungsi pantulan dari gelombang ultrasonik.

Metode **Through-Transmission** merupakan metode akuisisi dari gelombang ultrasonik dimana menggunakan 2 buah transduser *transmitter* (pulser) dan *receiver* (detector) yang diletakan dengan posisi yang “berhadapan” diantara objek yang diukur dengan memanfaatkan cepat rambat gelombang ultrasonik yang melewati objek.



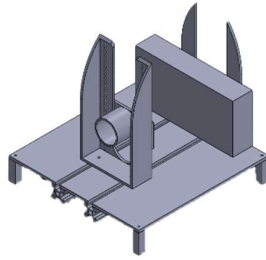
Catatan :
P = *Pulser*
D = *Detector*

Gambar 3.2 Perbandingan *pulse echo* dan *through-transmission*



Gambar 3.3 Metode *O-Ring*

Metode **O-Ring** merupakan sebuah konsep dimana objek yang diukur diletakan di dalam ring. Pada ring tersebut terdapat transduser dari ultrasonik yang diletakan sesuai konfigurasi yang diinginkan.



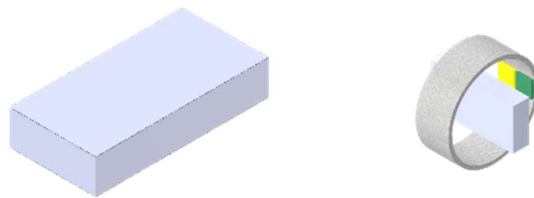
Gambar 3.4 Metode *Position Adjustment*

Metode **Position Adjustment** merupakan sebuah konsep dimana objek yang diukur diletakkan pada penampang. Pada penampang tersebut posisi dari transduser dapat disesuaikan jaraknya terhadap objek yang diukur. Selain itu, terdapat transduser dari ultrasonik yang diletakkan sesuai konfigurasi yang diinginkan.

3.1.3.1 Konsep 1

Alat mengukur densitas tulang dengan menggunakan metode **Pulse Echo** yaitu 1 atau 2 buah transduser *transmitter*(pulser) dan *receiver*(detector) yang diletakkan dengan posisi yang “bersebelahan” dengan memanfaatkan fungsi pantulan dari gelombang ultrasonik.

Penempatan model tulang menggunakan metode **O-ring** dimana objek yang diukur diletakkan dalam ring. Pada ring tersebut terdapat transduser dari ultrasonik yang diletakkan sesuai konfigurasi yang diinginkan. Produk dapat melakukan pengukuran densitas tulang dengan memancarkan gelombang *ultrasound* kepada model tulang untuk kemudian diterima lagi oleh *receiver*.



Gambar 3.5 *Pulse Echo O-Ring*