

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR PERSENTASE LEMAK TUBUH DENGAN METODE WHOLE BODY MEASUREMENT BIOELECTRICAL IMPEDANCE ANALYSIS (BIA) EMPAT ELEKTRODA BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 32

Adhi Nugraha^{*)}, Munawar Agus Riyadi, and Teguh Prakoso

Program Studi Sarjana, Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} Email: adhi.nugraha.an@gmail.com

Abstrak

Masyarakat pada umumnya banyak yang menggunakan timbangan biasa sebagai indikator berat tubuh mereka, padahal timbangan biasa tidak dapat membedakan antara massa lemak dan massa non lemak. Metode yang digunakan untuk *body composition assessment* merupakan metode yang dapat mengetahui masa lemak dan masa non lemak yang menyusun berat tubuh. Pada umumnya, untuk keperluan diagnosis medis, *body composition assessment* menggunakan *dual energy x-ray absorptiometry (DXA)* yang memiliki tingkat keakuratan yang tinggi akan tetapi penggunaannya mahal, susah dan harus pergi ke rumah sakit atau instansi kesehatan. Penelitian ini merancang alat *body composition assessment* dengan metode *bioelectrical impedance analysis (BIA)* yang memiliki keunggulan yaitu murah, mudah, *portable*, dan bisa dioperasikan sendiri. Perancangan alat ini menggunakan empat buah elektroda, yaitu dua buah elektroda digunakan untuk mengalirkan arus AC ke tubuh dan dua buah elektroda digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan tubuh. Arus yang dibuat pada penelitian ini sebesar 0,2 mA dengan frekuensi sebesar 50 kHz. Pada prosesnya alat ini menggunakan mikrokontroler ATmega 32 dan hasilnya ditampilkan pada LCD berupa persentase lemak tubuh. Pada pengujian sistem, galat rata – rata yang dihasilkan dari pengukuran persentase lemak tubuh sebesar 1,79 % untuk metode *hand to hand*.

Kata Kunci: *Bioelectrical Impedance Analysis (BIA), persentase lemak tubuh, empat elektroda, ATmega32*

Abstract

People use the common weight scales as an indicator of body weight, whereas common weight scales can not differentiate between fat mass and fat-free mass. The method used for body composition assessment is a method that can determine fat mass and fat-free mass, that make up the body weight. In general, for the purposes of medical diagnosis, body composition assessment uses dual energy x-ray absorptiometry (DXA), which has a high degree of accuracy but its use is expensive, difficult and had to go to the hospital or healthcare. This research propose an instrument with BIA method capable to body composition assessment with cheap, easy, portable and self-operate. The design of this instrument uses four electrodes : the two electrodes are used for AC current flow to the body and two electrodes are used to measure the voltage produced by the body. This device uses 0,2 mA AC current and 50 kHz frequency. In the process it uses a microcontroller ATmega 32 and the results will be displayed on the LCD in the form of body fat percentage. The result shows that error rate from measurement of percentage of body fat is 1,79 % with hand to hand method.

Keywords : *Bioelectrical Impedance Analysis (BIA), Body Fat Percentage, four electrode, ATmega 32*

1. Pendahuluan

Masyarakat pada umumnya banyak yang menggunakan pengukur berat biasa sebagai indikator berat tubuh mereka, padahal pengukur berat biasa tidak dapat membedakan antara masa lemak dan masa non lemak. Apabila tubuh kelebihan lemak maka akan meningkatkan kemungkinan terserang penyakit, seperti diabetes tipe dua, masalah

jantung dan kanker. Tubuh kekurangan pun akan menimbulkan hal yang tidak baik bagi tubuh terutama pada wanita antara lain kanker payudara. Komposisi tubuh apabila diketahui dengan baik akan memudahkan untuk memutuskan pola dan tindakan lebih lanjut untuk menjaga kesehatan [1]. Maka dibutuhkan suatu pengukuran yang mampu membedakan masa lemak dan masa non lemak. *Body composition assessment* merupakan metode yang

dapat mengetahui masa lemak dan masa non lemak yang menyusun berat kita [1]. *Bioelectric Impedance Analysis* yang merupakan salah satu metode *body composition* banyak digunakan secara luas untuk mengetahui masa lemak tubuh. Hal ini dikarenakan BIA mudah digunakan, cepat, *noninvasive*, dan *portable* [2]. Selain itu BIA juga lebih akurat dibandingkan *caliper tests*, lebih mudah digunakan daripada *densitometry* dan lebih aman dari *dual energy x-ray absorptiometry* (DXA) [3].

Pada penelitian ini dibuat suatu alat pengukur lemak tubuh dengan menggunakan metode *Bioelectric Impedance Analysis* (BIA). Perancangan yang dilakukan oleh penulis menggunakan metode *whole body measurement* dengan menggunakan empat elektroda. Dengan metode tersebut dapat dilakukan berbagai pilihan pengukuran yaitu *hand to hand*, *right hand to right foot*, *right hand to left foot*, *foot to foot*, *left hand to right foot* dan *left hand to left foot* [4]. Elektroda - elektroda ini terdapat di kaki dan tangan. Elektroda ini terdiri dari dua elektroda mengirim arus dan dua elektroda mengukur tegangan. Dalam perancangan ini digunakan mikrokontroler ATmega 32 sebagai pemroses data [5]. Untuk tampilan visual, digunakan LCD ukuran 20x4 dan keypad 4x4 untuk masukan parameter yang dibutuhkan yaitu tinggi, berat, umur serta gender. Pada akhirnya dengan alat ini, akan diperoleh kemudahan untuk mengetahui komposisi tubuh yang lebih baik maka masyarakat pun akan terbantu dalam menentukan pola dan tindakan lebih lanjut untuk menjaga kesehatannya.

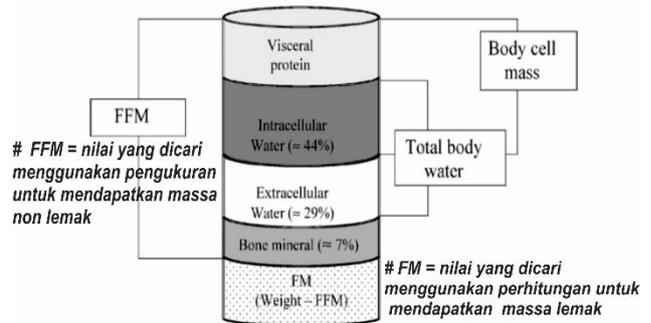
2. Metode

2.1. Bioelectrical Impedance Analysis (BIA)

Bioelectrical impedance analysis (BIA) adalah metode yang digunakan untuk mengukur komposisi tubuh. BIA merupakan metode yang aman, cepat, murah, *noninvasive*, dan *portable* yang telah digunakan di berbagai rumah sakit dan institusi untuk mengukur berbagai macam rentang usia dan kondisi tubuh manusia [4].

BIA mengukur komposisi tubuh manusia dengan menggunakan perbedaan konduktivitas elektrik pada jaringan tubuh manusia. Dengan memodelkan tubuh manusia menjadi dua kompartemen maka tubuh manusia terbagi atas masa lemak atau *fat mass* dan masa non lemak atau *fat-free mass* [6]. *Fat-free mass* terbagi atas *intracellular water*, *extracellular water*, *bone mineral* dan *visceral protein* seperti pada Gambar 1 [7].

BIA menghitung *fat-free mass* dengan mengukur karakteristik elektrik dan data empiris tubuh [7]. Ada dua sifat elektrik utama pada tubuh yaitu resistansi dan kapasitansi. Pada Gambar 2 yang merupakan gambaran rangkaian listrik sederhana tubuh manusia dapat diketahui bahwa *Intracellular water* (R_{icw}) dan *extracellular water* (R_{ecw}) merupakan bagian yang memiliki sifat resistansi sedangkan membran sel memiliki sifat kapasitansi (X_c) [8].



Gambar 1. Diagram komposisi tubuh manusia[7]

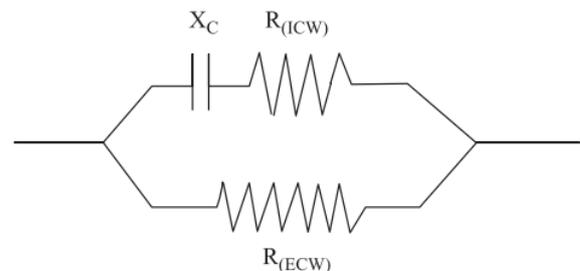
Fricke's circuit

Two parallel electrical conductors:

$R_{(ECW)}: H_2O-Na$

$R_{(ICW)}: H_2O-K$

isolated by a cell membrane (X_c)



Gambar 2. Model sel fricke [8]

Intracellular water memiliki elektrolit utama yaitu *potassium* sedangkan pada *extracellular water* elektrolit utamanya adalah *sodium* yang mana keduanya adalah konduktor [9].

Pada prinsipnya BIA bekerja sesuai dengan persamaan 1, dengan memasukkan arus dengan frekuensi tertentu pada elektroda akan menghasilkan tegangan yang digunakan untuk mengukur impedansi tubuh.

$$Z = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Keterangan:

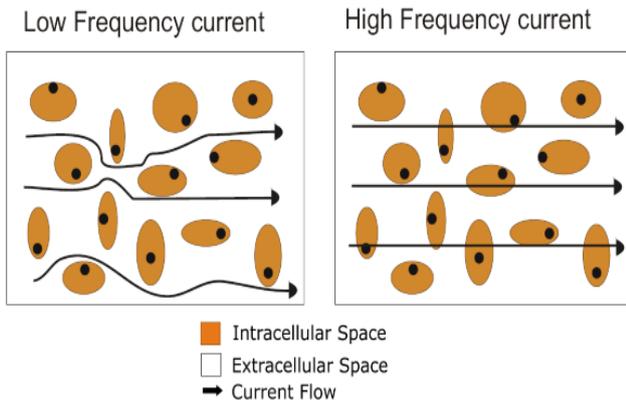
Z = Impedansi tubuh (ohm)

V = Tegangan yang dihasilkan (volt)

I = Arus yang dialirkan (ampere)

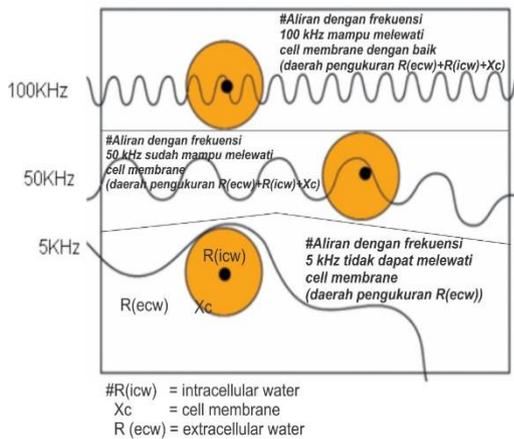
Arus yang digunakan untuk masuk dalam tubuh manusia di bawah 0.8 mA [2]. Ini dilakukan agar arus tidak dirasakan oleh manusia dan aman tentunya dikarenakan di bawah *threshold current* sebesar 1-5 mA [10]. Nilai tersebut juga tinggi untuk menghasilkan tegangan yang bebas dari derau. Arus yang dimasukkan juga merupakan arus AC, hal ini karena sifat kapasitansi yang dimiliki oleh membran sel [2].

Besarnya nilai frekuensi yang digunakan juga mempengaruhi aliran arus yang masuk pada tubuh manusia. Pada frekuensi rendah dengan rentang antara 1 sampai 5 kHz aliran arus akan sulit menembus membran sel sehingga hanya akan mengalir pada *extracellular water*. Dengan menaikkan nilai frekuensi maka aliran arus akan dapat menembus membran sel sehingga dapat mengalir melewati *intracellular water* yang dapat dilihat pada Gambar 3.



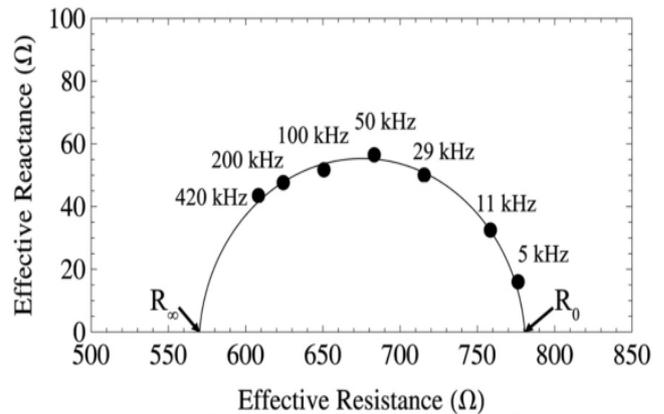
Gambar 3. Respon sel terhadap frekuensi [11]

Pada frekuensi 50 kHz arus yang mengalir mengalami sedikit pembelokan ketika melewati membran sel. Ketika arus dengan frekuensi sebesar 100 kHz melewati membran sel tidak terjadi pembelokan seperti pada Gambar 4 [11] [8].



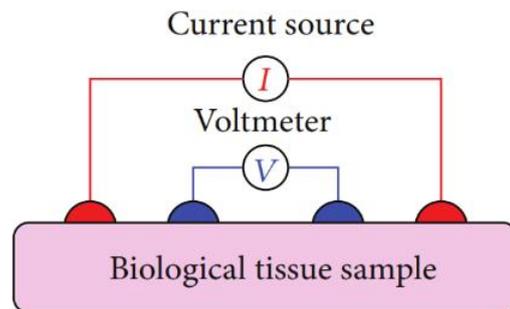
Gambar 4. Aliran konduktivitas terhadap perbedaan frekuensi pada jaringan manusia [8]

Gambar 5 menjelaskan bahwa hubungan antara resistansi dan reaktansi terhadap frekuensi. Pada 50 kHz merupakan puncak dari nilai resistansi dan reaktansi yang akan dihasilkan, sehingga frekuensi 50 kHz digunakan pada BIA dengan frekuensi tunggal [3].



Gambar 5. Diagram cole - cole hubungan frekuensi dengan resistansi dan reaktansi tubuh manusia [3]

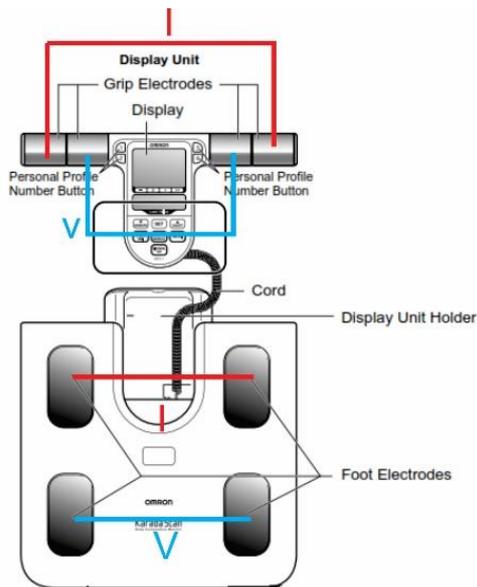
Dalam prosesnya BIA menggunakan elektroda untuk memasukkan arus dan menghitung tegangan yang dihasilkan. Salah satu metode elektroda adalah empat elektroda. Dalam metode ini elektroda yang dilewatkan arus untuk dialirkan ke tubuh disebut *current electrode* atau *driving electrode* sedangkan elektroda yang digunakan untuk mengukur tegangan disebut *voltage electrode* atau *sensing electrode*.



Gambar 6. Metode empat elektroda [12]

Dengan metode empat elektroda terdapat dua buah *current electrode* dan dua buah *voltage electrode* seperti pada Gambar 6. Dengan dipisahkannya *current electrode* dan *voltage electrode* maka tidak akan terjadi penurunan tegangan pada saat pengukuran dan juga meminimalkan terjadinya masalah resistansi kontak dengan kulit [12].

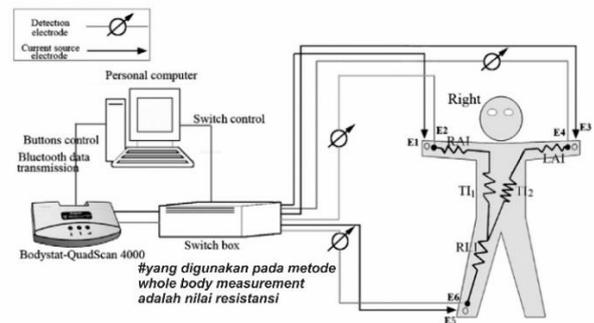
Model elektroda pun berbeda – beda tergantung tempat diaplikasikan. Salah satu modelnya adalah *dry electrode*. *Dry electrode* biasanya digunakan pada *foot plates* dan *hand grip* yang terbuat dari metal, contohnya *stainless steel* [13]. Pada Gambar 7 dapat dilihat salah satu aplikasi *foot plates* dan *hand grip* pada Omron BF511 [14].



Gambar 7. Omron BF511 [14]

2.2. Whole Body Bioimpedance Measurement

Whole Body Bioimpedance Measurement merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengukur komposisi tubuh. Metodenya sendiri memiliki empat tipe yaitu *hand to foot mode*, *foot to foot mode*, *hand to hand mode* dan *cross mode* [15]. Metode ini mengukur impedansi yang berada pada jalur di mana elektroda digunakan. Pada Gambar 8 dapat dilihat sistem pengukuran yang dilakukan oleh Ai Chun Huang dkk, dia menggunakan metode *hand to foot mode* dan *cross mode*. Dengan *hand to foot* berupa tangan kanan (E2) dan kaki kanan (E6) merupakan *current electrode* dan tangan kanan (E1) dan kaki kanan (E5) merupakan *voltage electrode* maka akan dapat mengukur impedansi pada tangan kanan (RAI), *trunk impedance* (TI1) dan impedansi pada kaki kanan (RLI) sehingga mendapatkan nilai impedansi *right hand to right foot* yang merupakan penjumlahan dari RA1, TI1 dan RL1. Begitu juga dengan *cross mode* berupa tangan kiri (E4) dan kaki kanan (E6) merupakan *current electrode* dan tangan kiri (E3) dan kaki kanan (E5) merupakan *voltage electrode* maka akan dapat mengukur impedansi pada tangan kiri (LA1), *cross trunk impedance* (TI2) dan kaki kanan (RL1) sehingga akan mendapatkan nilai impedansi *cross mode* yang merupakan penjumlahan LA1, TI2 dan RL1 [4].



Gambar 8. Sistem pengukuran *hand to foot mode* dan *cross mode* [4]

2.3. Body Fat Percentage

Sebelum mengetahui nilai *body fat percentage* maka harus diketahui terlebih dahulu nilai FM dan FFM. Nilai FFM didapat dengan menggunakan hasil pengukuran oleh BIA dan juga data empiris berupa konstanta untuk meningkatkan korelasi hubungan antara impedansi dan FFM yang didapatkan dari hasil regresi perhitungan BIA dengan pengukur komposisi tubuh lainnya contohnya DXA [16] [3].

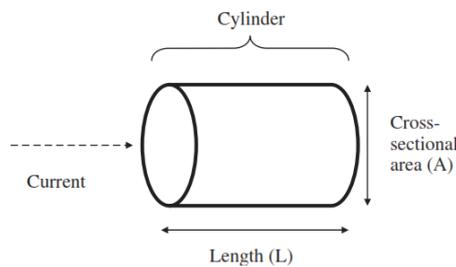
Salah satu persamaan FFM yang dipublikasikan adalah hasil percobaan yang dilakukan oleh Elizabeth Myloot dkk. Pada percobaannya Elizabeth membandingkan BIA yang dia buat dengan BIA yang dikeluarkan oleh Omron. Persamaan 2 merupakan persamaan FFM dari Elizabeth Myloot dkk [3].

$$FFM = 0,360 \left(\frac{height^2}{resistance} \right) + 0,162 (height) + 0,289 (weight) - 0,134 (age) + 4,83 (gender) - 6,83 \quad (2)$$

Keterangan:

- FFM = Fat Free Mass / masa non lemak (kg)
- Height = Tinggi (cm)
- Resistance = Resistansi (ohm)
- Weight = Berat (kg)
- Age = Umur (tahun)
- Gender = Jenis kelamin (1 untuk pria dan 0 untuk wanita)

Dasar dari persamaan 2 adalah merepresentasikan tubuh manusia menjadi bentuk fisik dari sebuah silinder seperti pada Gambar 9 dan juga sesuai dengan persamaan 3 [2].



Gambar 9. Model Silinder [7]

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (3)$$

Keterangan:

R = Resistance

ρ = Resistivity

L = Length

A = Cross sectional area

Bila persamaan 3 dikalikan dengan $\frac{L}{L}$ maka akan didapatkan persamaan 4 [2].

$$Volume = \frac{\rho L^2}{R} \quad (4)$$

Dengan mengganti *length* pada persamaan 4 dengan *height* maka akan didapatkan $\frac{Height^2}{Resistance}$ yang mana merupakan dasar dari persamaan pada aplikasi BIA, salah satunya FFM. Penambahan variabel nilai regresi dibutuhkan sesuai dengan penelitian yang dilakukan agar mendekati nilai yang sesuai. Hal ini dikarenakan perbedaan akan acuan validasi data akan menghasilkan hasil yang berbeda [2].

Setelah mendapatkan nilai FFM maka nilai FM dapat ketahu sesuai dengan Gambar 1, yang persamaannya dapat dilihat pada persamaan 5.

$$FM = Weight - FFM \quad (5)$$

Keterangan:

FM = Fat Mass / masa lemak (kg)

$Weight$ = Berat (kg)

FFM = Fat Free Mass / masa non lemak (kg)

Dengan diketahuinya nilai FM maka nilai *body fat percentage* dapat diketahui dengan persamaan 6 [17].

$$BF = \frac{FM}{Weight} \times 100 \quad (6)$$

Keterangan:

BF = Body Fat / lemak tubuh (%)

FM = Fat mass / masa lemak (kg)

$Weight$ = Berat (kg)

Untuk menentukan status *body fat percentage* yang didapatkan dari hasil perhitungan, maka digunakanlah tabel *body fat percentage* sesuai pada Tabel 1.

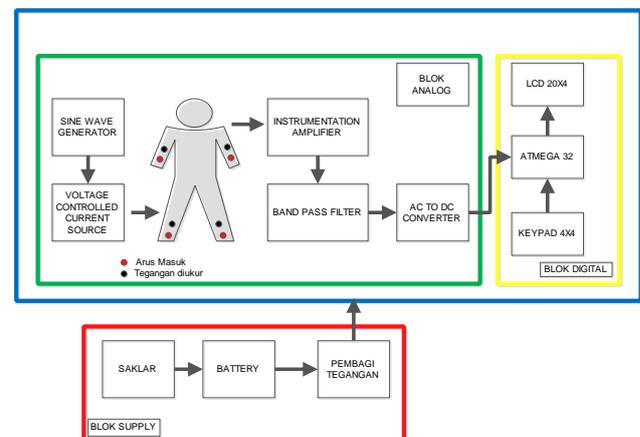
Tabel 1. Body fat ranges[17]

	Umur	Rendah	Normal	Tinggi	Sangat Tinggi
Wanita	20-39	5-20	21-33	34-38	>36
	40-59	5-22	23-34	35-40	>40
	60-79	5-23	24-36	37-41	>41
Pria	20-39	5-7	8-20	21-25	>24
	40-59	5-10	11-21	22-27	>27
	60-79	5-12	13-25	26-30	>30

2.4. Perancangan Umum Alat

Bagian-bagian dari blok diagram pada Gambar 11 dapat diuraikan sebagai berikut:

- Baterai, difungsikan sebagai sumber tegangan untuk sistem.
- Sakelar, difungsikan untuk menghubungkan atau memutuskan aliran baterai ke sistem.
- Pembagi Tegangan, difungsikan untuk menghasilkan tegangan positif (+) dan negatif (-) dari konversi tegangan baterai.
- *Sine Wave Generator* difungsikan untuk menghasilkan tegangan AC dengan frekuensi 50 kHz.
- *Voltage Controlled Current Source*, difungsikan untuk menghasilkan arus yang konstan sebesar 0,2 mA.
- *Instrumentation Amplifier*, difungsikan untuk menguatkan tegangan yang keluar dari tubuh.
- *Band Pass Filter*, difungsikan untuk menghilangkan sinyal-sinyal derau pada rentang frekuensi tertentu.
- *AC to DC converter*, difungsikan untuk mengubah sinyal masukan AC menjadi sinyal keluaran DC.
- LCD 20x4, difungsikan untuk menampilkan data dan hasil dari pengukuran serta perhitungan.
- Keypad 4x4, difungsikan untuk memasukkan data untuk perhitungan.
- ATmega 32, digunakan untuk mengontrol keseluruhan sistem.



Gambar 11. Blok diagram alat persentase lemak tubuh

2.5. Perancangan Blok Analog

Perancangan sistem BIA tersusun dari rangkaian *Sine wave generator*, *Voltage Controlled Current Source*, *Instrumentation Amplifier*, *Band Pass Filter*, dan *AC to DC converter*.

Rangkaian *Sine wave generator* menggunakan IC ICL8038. Rangkaian tersebut dirancang untuk menghasilkan frekuensi sebesar 50 kHz. Besarnya frekuensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh nilai resistor dan kapasitor dengan perhitungan $f = \frac{0.33}{RC}$. Untuk mempermudah perhitungan, kapasitor telah ditentukan dengan nilai 1 nF. Sehingga didapatkan nilai $R = \frac{0.33}{5.10^{-5}} = 6,6 \text{ k}\Omega$.

Voltage Controlled Current Source digunakan untuk mengalirkan arus ke tubuh melalui dua elektroda. Dengan perhitungan $i_{out} = \frac{v_{in}}{R}$, akan didapatkan nilai arus adalah sebesar 0,2 mA. Hasil tersebut didapat setelah melakukan perhitungan dengan nilai V_{in} sebesar 2V maka akan didapatkan R sebesar 10 k Ω .

IC INA121 digunakan untuk merancang rangkaian *Instrumentation Amplifier*. Rangkaian INA121 berfungsi untuk menguatkan perbedaan tegangan yang didapat dari tubuh. Perhitungan penguatan (G) INA121 adalah $= 1 + \frac{50k\Omega}{R_G}$, dengan besarnya penguatan (G) yang diinginkan adalah 23,7x maka didapatkan $R_G = \frac{50k\Omega}{22} = 2,1 \text{ k}\Omega$.

Keluaran dari INA121 selanjutnya diproses pada rangkaian *Band Pass Filter*. Rangkaian BPF yang dirancang menggunakan *Low Pass Filter* dan *High Pass Filter* yang disatukan. *Bandwidth* rangkaian *Band Pass Filter* diantara 33 kHz hingga 70 kHz. Rangkaian.

Rangkaian *AC to DC Converter* dengan menggunakan IC LF353. Rangkaian ini merubah sinyal masukan yang didapat dari *Band Pass Filter* menjadi sinyal searah.

2.6. Perancangan Blok Digital

Perancangan blok digital alat pengukur persentase lemak tubuh terdiri dari mikrokontroler ATmega 32, *keypad* 4x4, dan *display* LCD 20x4. Mikrokontroler ATmega 32 berfungsi sebagai otak untuk memproses *input* dari blok analog dan *keypad*. *Input* analog dihubungkan dengan *port* A.3 pada mikrokontroler. *Port* A dipilih karena merupakan *port* ADC dari mikrokontroler ATmega 32. Nilai ADC yang diterima mikrokontroler kemudian diubah menjadi nilai tegangan.

Keypad 4x4 dihubungkan dengan *port* B mikrokontroler seperti pada tabel 2. *Keypad* 4x4 digunakan untuk

memasukkan data-data lain yang diperlukan dalam penghitungan nilai persentase lemak tubuh yaitu data tinggi, berat, umur, dan jenis kelamin.

Pada perancangan alat pengukur persentase lemak tubuh ini digunakan LCD 20x4 karena memberikan lebih banyak ruang untuk menampilkan informasi. LCD 20x4 memiliki 9 pin yang dihubungkan dengan mikrokontroler sesuai dengan konfigurasi pada tabel 3.

Tabel 2. Kofigurasi pin keypad dengan pin ATmega 32

Pin Keypad	Pin ATmega 32
Kolom 1	PB.4
Kolom 2	PB.5
Kolom 3	PB.6
Kolom 4	PB.7
Baris 1	PB.0
Baris 2	PB.1
Baris 3	PB.2
Baris 4	PB.3

Tabel 3. Kofigurasi pin LCD dengan pin ATmega 32

Pin LCD	Pin Atmega 32
GND (pin 1)	GND
VCC (pin 2)	VCC
RS (pin4)	PD.0
RW (pin5)	PD.1
E (pin6)	PD.2
DB4 (pin11)	PD.4
DB5 (pin12)	PD.5
DB6 (pin13)	PD.6
DB7 (pin14)	PD.7

3. Hasil dan Analisa

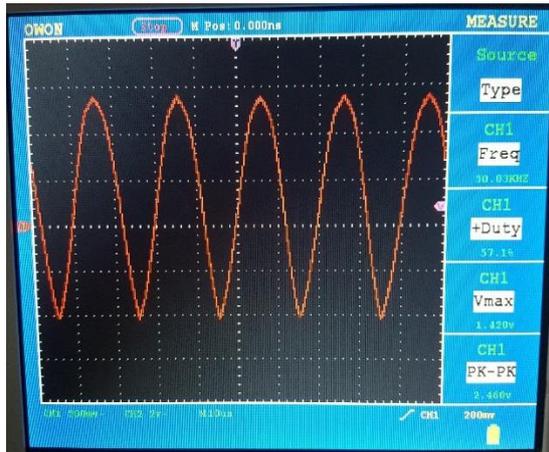
3.1. Pengujian Rangkaian Sine Wave Generator

Rangkaian *sine wave generator* diuji dengan mengamati sinyal yang keluar dari rangkaian menggunakan osiloskop. Tujuan dari rangkaian *sine wave generator* adalah untuk menghasilkan keluaran sinyal sinusoidal sebesar 50 kHz. Hasil pengujian sinyal keluaran rangkaian *sine wave generator* dapat dilihat pada Gambar 12.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sinyal keluaran membentuk sinyal sinusoidal dengan frekuensi 50,03 kHz. Frekuensi tersebut telah sesuai dengan perancangan alat ukur persentase lemak tubuh.

3.2. Pengujian Rangkaian VCCS

Pengujian rangkaian VCCS dilakukan untuk mengetahui karakteristik hubungan antara arus yang dihasilkan rangkaian VCCS dengan beban yang bervariasi. Pengukuran dilakukan dengan variasi nilai beban (RL) dengan menggunakan *multiturn* dan melihat apakah arus yang dihasilkan konstan pada nilai 0,2 mA. Sedangkan simulasi dilakukan menggunakan Multisim.



Gambar 12. Hasil sinyal keluaran rangkaian pembangkit sinyal sinusoidal

Tabel 4. Data pengujian rangkaian VCCS

R (Ohm)	Vbeban (mV)	Arus		Galat (%)
		Pengukuran (µA)	Simulasi (µA)	
300	75	250	243	2,88
400	99	248	243	1,85
500	120	240	243	1,23
600	147	245	243	0,82
700	171	244	243	0,53
800	193	241	243	0,72
900	215	239	243	1,69
1000	240	240	243	1,23
1100	274	249	243	2,51
1200	296	247	243	1,51

Pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa pengukuran dan simulasi tidak jauh berbeda dengan galat rata – rata sebesar 1,50 % sehingga sistem berjalan dengan baik.

3.3. Pengujian Rangkaian INA 121

Pengujian rangkaian INA121 dilakukan untuk mengetahui kinerja dari hasil penguatan INA 121 sebesar 23,7. Perhitungan yang dihasilkan merupakan hasil kali tegangan beban dengan penguatan sebesar 23,7. Pengukuran dilakukan dengan tegangan masukan dari VCCS yang divariasikan beban dengan *multiturn*.

Pada Tabel 5 dapat diketahui bahwa pengukuran dan perhitungan tidak jauh berbeda dengan galat rata – rata sebesar 1,65 % sehingga sistem berjalan dengan baik.

Tabel 5. Data pengujian rangkaian INA 121

R (Ω)	Vbeban (mV)	Vout INA121		Galat (%)
		Perhitungan (mV)	Pengukuran (mV)	
300	75	1777.5	1810	1.83
400	99	2346.3	2280	2.83
500	120	2844	2760	2.95
600	147	3483.9	3450	0.97
700	171	4052.7	4120	1.66
800	193	4574.1	4620	1.00
900	215	5095.5	5176	1.58
1000	240	5688	5820	2.32
1100	274	6493.8	6460	0.52
1200	296	7015.2	6960	0.79

3.4. Pengujian Rangkaian BPF

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon frekuensi dari rangkaian BPF. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Audio Generator* sebagai sinyal masukan.

Tabel 6. Data pengujian BPF

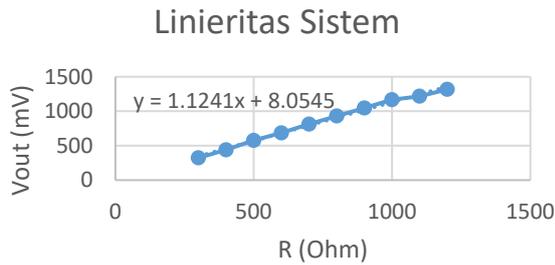
f(kHz)	Gain (dB)
22,70	-4,66
29,00	-3,01
46,00	-1,66
50,00	-1,71
72,00	-2,99
90,00	-4,66

Pada Tabel 6 dapat diketahui bahwa pada frekuensi 50 kHz memiliki penguatan sebesar -1.71 dB. Sedangkan untuk *cut offnya* berada pada 22,70 kHz sebesar -4,66 dB dan 90 kHz sebesar -4,66 dB.

3.5. Pengujian Linearitas

Tabel 7. Data pengujian linieritas

R (Ohm)	Vout AC to DC (mV)
300	323
400	439
500	576
600	685
700	812
800	929
900	1046
1000	1167
1100	1217
1200	1317



Gambar 13. Grafik pengujian linieritas sistem

Pengujian linearitas dilakukan untuk melihat karakteristik blok analog *Bioelectrical Impedance Analysis* secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan perbandingan pengukuran hasil variasi beban masukan berupa *multiturn* terhadap tegangan keluaran pada blok terakhir (*AC to DC Converter*). Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 7. Sedangkan Grafiknya dapat dilihat pada Gambar 13.

3.6. Pengujian Alat secara Keseluruhan

Pengujian alat secara keseluruhan dilakukan pada 5 laki – laki dan 5 perempuan sebanyak 10 kali kemudian dirata – rata untuk mengetahui keakuratan alat. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pengukuran dengan alat yang diproduksi secara umum yaitu HINANO 1328 BFA.

Dapat dilihat pada Tabel 8 yang merupakan hasil pengujian keseluruhan dengan metode *hand to hand* dengan galat rata – rata sebesar 1,79 %. Dikarenakan galat *hand to hand* dibawah 5 % maka dapat dikatakan alat bekerja dengan baik, sedangkan untuk metode yang lain juga akan memiliki galat yang tidak jauh berbeda. Hal ini dikarenakan masih dalam satu sistem yang sama, dimana hal yang membedakan adalah jalur pengukuran. Pada *hand to hand* jalur pengukurannya adalah dari tangan ke tangan.

Tabel 8. Data hasil pengujian keseluruhan dengan metode *hand to hand*

Nama	TB (cm)	BB (kg)	JK	Umur (tahun)	Persentase Lemak		Galat Relatif (%)
					Alat TA %	HINANO %	
Ida	157	56	P	23	31,07	30,65	1,37
Catur	149	58	P	49	38,18	38,86	1,72
Noni	145	40	P	20	20,16	20,19	0,15
Murti	147	66	P	64	49,43	48,36	2,21
Fadhila	162	74	P	51	44,52	44,51	0,02
Ngaqip	175	56	L	22	14,35	14,18	1,20
Benny	165	54	L	23	15,75	15,09	4,31
Mukhlis	161	62	L	24	21,27	22,49	1,37
Windu	168	80	L	42	37,24	36,73	1,39
Petu	158	64	L	31	28,08	28,06	0,07
Galat rata – rata							1,79

Dari Tabel 9 dapat diketahui hasil pengujian keseluruhan dengan metode *right hand to left foot (cross-mode)*. Pada metode ini jalur pengukurannya adalah dari tangan kanan ke tangan kiri. Hal ini membuat metode ini memiliki jalur pengukuran terpanjang dibandingkan metode lain dan menjadikan metode ini lebih representatif pada keadaan tubuh. Sehingga mampu memberikan hasil pengukuran yang lebih baik dibandingkan jalur pengukuran lain.

Tabel 9. Data hasil pengujian keseluruhan dengan metode *right hand to left foot*

Nama	TB (cm)	BB (kg)	JK	Umur (tahun)	Persentase Lemak
					Alat TA %
Ida	157	56	P	23	29,86
Catur	149	58	P	49	37,22
Noni	145	40	P	20	20,52
Murti	147	66	P	64	47,42
Fadhila	162	74	P	51	43,46
Ngaqip	175	56	L	22	15,53
Benny	165	54	L	23	15,41
Mukhlis	161	62	L	24	21,55
Windu	168	80	L	42	36,16
Petu	158	64	L	31	27,80

Tabel 10 merupakan hasil pengujian keseluruhan dengan metode *foot to foot*. Pada metode ini jalur pengukurannya berada pada tubuh bagian bawah yaitu dari kaki ke kaki.

Tabel 10. Data hasil pengujian keseluruhan dengan metode *foot to foot*

Nama	TB (cm)	BB (kg)	JK	Umur (tahun)	Persentase Lemak
					Alat TA %
Ida	157	56	P	23	28,38
Catur	149	58	P	49	36,64
Noni	145	40	P	20	19,29
Murti	147	66	P	64	47,23
Fadhila	162	74	P	51	43,15
Ngaqip	175	56	L	22	15,54
Benny	165	54	L	23	13,61
Mukhlis	161	62	L	24	21,12
Windu	168	80	L	42	35,15
Petu	158	64	L	31	27,16

Tabel 11 merupakan hasil pengujian keseluruhan dengan metode *right hand to right foot*. Pada metode ini jalur pengukurannya adalah tubuh bagian kanan meliputi tangan kanan sampai kaki kanan.

Tabel 11. Data hasil pengujian keseluruhan dengan metode *right hand to right foot*

Nama	TB (cm)	BB (kg)	JK	Umur (tahun)	Persentase Lemak
					Alat TA %
Ida	157	56	P	23	30,17
Catur	149	58	P	49	37,25
Noni	145	40	P	20	21,42
Murti	147	66	P	64	47,23
Fadhila	162	74	P	51	43,82
Ngaqip	175	56	L	22	15,64
Benny	165	54	L	23	14,62
Mukhlis	161	62	L	24	21,37
Windu	168	80	L	42	36,31
Petu	158	64	L	31	27,43

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Telah berhasil dibuat alat pengukur indeks massa tubuh dan proporsi lemak tubuh dengan metode *bioelectrical impedance analysis* (BIA) menggunakan empat elektroda pada frekuensi 50,03 kHz.
2. Pada pengujian rangkaian VCCS, arus mengalir konstan sebesar 0,2 mA terhadap perubahan beban yang berbeda – beda.
3. Pada pengujian penguatan INA 121, tegangan keluaran yang dihasilkan sudah sesuai dengan besar penguatan yang diberikan yaitu sebesar 23,7 kali.
4. Pada *Band Pass Filter* (BPF) frekuensi 50 kHz memiliki pelemahan sebesar -1,71 dB.
5. Pengujian alat untuk menghitung nilai persentase lemak tubuh dengan metode *hand to hand* yang telah dibandingkan dengan alat pengukur persentase lemak tubuh HINANO 1328 BFA memiliki hasil galat rata – rata sebesar 1,79 %.

Referensi

Journal:

- [1]. Jukka A Salmi, “Body Composition Assessment With Segmental Multifrequency Bioimpedance Method,” *J. Sports Sci. Med.*, vol. 2, no. September, 2003.
- [2]. National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement, “Bioelectrical Impedance Analysis in Body Composition Measurement,” 1996.
- [3]. E. Mylott, E. M. Kutschera, and R. Widenhorn, “Bioelectrical Impedance Analysis as a Laboratory Activity: At the Interface of Physics and the Body,” *Physics (College. Park. Md).*, vol. 82, pp. 521–528, 2014.
- [4]. A. Huang, Y. Chen, C. Chuang, L. Chiang, H. Lu, H. Lin, K. Chen, A. Hsiao, and K. Hsieh, “Cross-mode bioelectrical impedance analysis in a standing position for estimating fat-free mass validated against dual-energy x-ray absorptiometry,” *Nutr. Res.*, vol. 35, no. 11, pp. 982–989, 2015.
- [5]. Atmel Corporation, “Datasheet ATmega32.” p. 346, 2011.
- [6]. B. Ryu, H. Jeong, and H. Ryu, “Bioelectrical Impedance Analysis by Multiple Frequencies for Health Care Refrigerator,” *PIERS ONLINE, VOL. 6, NO. 7, 2010*, no. 1, pp. 640–645, 2010.
- [7]. U. G. Kyle, I. Bosaeus, A. D. De Lorenzo, G. Manuel, B. Lilienthal, L. Kent-smith, J. Melchior, C. Pichard, and W. Group, “Bioelectrical impedance analysis F part I: review of principles and methods,” *Clin. Nutr.*, pp. 1226–1243, 2004.
- [8]. D. I. Soria, “Implementation of an Electrical Bioimpedance Monitoring System and a Tool for Bioimpedance Vector Analysis,” College of Borås, 2008.
- [9]. Biodynamics Corporation, “Clinician Desk Reference for BIA Testing Table of Contents.” 2015.
- [10]. B. L. Christe, *Introduction to biomedical instrumentation*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [11]. D. G. Abad, S. Dipl, and B. Eilebrecht, “Development of a Capacitive Bioimpedance Measurement System,” RWTH AACHEN, 2009.
- [12]. T. K. Bera, “Bioelectrical Impedance Methods for Noninvasive Health Monitoring: A Review,” *Med. Eng.*, vol. 2014, 2014.
- [13]. S. Grimnes, *Bioimpedance and Bioelectricity Basic*. 2015.
- [14]. Omron Healthcare Inc, “Body Composition Monitor BF511.” 2013.
- [15]. S. F. Khalil, M. S. Mohktar, and F. Ibrahim, “The Theory and Fundamentals of Bioimpedance Analysis in Clinical Status Monitoring and Diagnosis of Diseases,” *Sensors*, pp. 10895–10928, 2014.
- [16]. E. B. Haverkort, P. L. M. Reijven, J. M. Binnekade, M. A. E. D. Van Der Schueren, C. P. Earthman, D. J. Gouma, and R. J. De Haan, “Bioelectrical impedance analysis to estimate body composition in surgical and oncological patients: a systematic review,” *Clin. Nutr.*, vol. 69, no. 1, pp. 3–13, 2014.
- [17]. Omron Healthcare Inc, “Body Fat Analyzer Model HBF-306.” 2001.