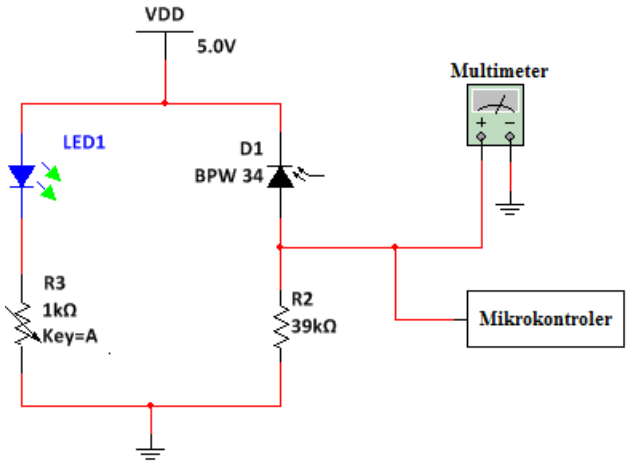
BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dijelaskan data hasil pengujian serta analisis data pengujian yang dilakukan pada alat pengukur kadar gula darah *non-invasive.* Hasil pengujian ini meliputi pengujian sensor,pengujian filter,dan pengujian sistem kerja alat.

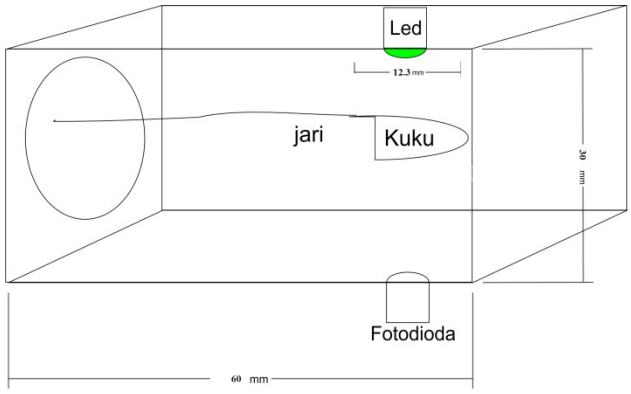
4.1 Pengujian Sensor

Pengujian sensor fotodioda dilakukan dengan menghubungkan kaki Anoda fotodioda ke multimeter dan mikrokontroler, lalu fotodioda diberi sumber cahaya dari led, dimana intensitas cahaya led diatur menggunakan potensio meter untuk melihat respon penangkapan intensitas cahaya oleh fotodioda, respon yang diamati adalah perubahan tegangan yang dihasilkan oleh fotodiod. Rangkaian uji coba Fotodioda dapat dilihat pada gambar berikut ini;



Gambar 4.1 Rangkaian uji coba sensor Fotodioda

Dari rangkaian diatas dibuat tempat pengukuran untuk memposisikan jari agar pengukuran dapat efektif dilakukan, berikut desain dari kotak pengukuran yang telah dibuat;



Gambar 4.2 probe sensor fotodioda

Pembuatan probe sensor menggunakan karton duplex dengan dimensi ukuran 6 cm x 3cm x 3cm . Didalam kotak dipasang led dan sensor fotodioda dimana led dipasang dibagian atas dan sensor dipasang pada bagian bawah dengan posisi sejajar. Hal ini dilakukan agar cahaya yang melewati media (dalam kasus ini jari) dapat terpancar secara sejajar dan dapat terbaca oleh sensor secara maksimal.

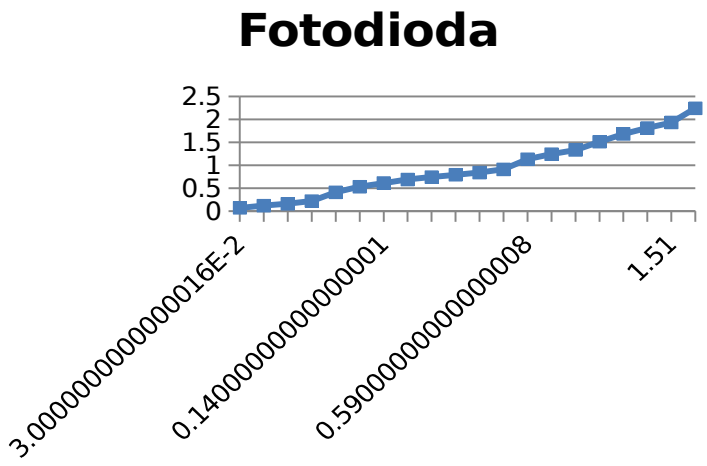
Pada gambar rangkaian uji coba fotodioda diatas,bagian out dari rangkaian fotodioda dihubungkan dengan multimeter dengan tujuan untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan oleh fotodioda. Hasil pengukuran tegangan keluaran sensor adalah sebagai berikut;

Tabel 4.1 Data tegangan output sensor Fotodioda

Lux (Lumen/m²)	**Vout (V)**
0.03	0.07
0.04	0.12
0.05	0.16
0.06	0.22
0.09	0.41
0.1	0.53
0.14	0.61
0.16	0.69
0.21	0.74

0.27	0.79
0.34	0.84
0.41	0.91
0.59	1.13
0.71	1.24
0.86	1.33
1.12	1.51
1.23	1.68
1.43	1.81
1.51	1.93
2.1	2.24

Dari data yang telah diperoleh, dibuat suatu grafik untuk melihat respon kerja dari sensor fotodioda yang digunakan. Berikut grafik respon dari hasil tegangan output sesnsor fotodioda yang digunakan.



Gambar 4.3 grafik respon fotodioda

Dari grafik diatas dapat dilihat respon dari sensor fotodioda dimana respon foto diode linier terhadap intensitas cahaya yang diberikan.Dengan hasil pembacaan tersebut fotodioda dapat dikategorikan berfungsi dengan baik.

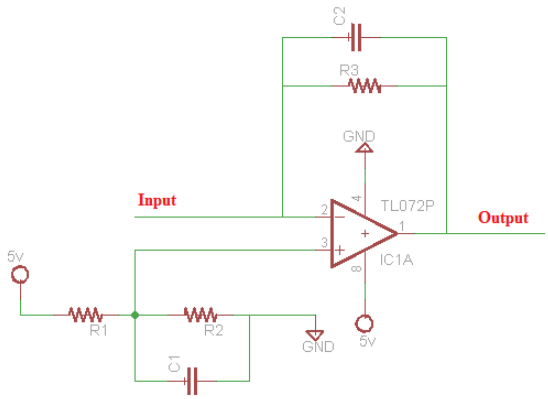
4.2 Transimpedance Amplifier

Transimpedance amplifier digunakan sebagai konversi arus ke tegangan yang dihasilkan oleh sensor fotodioda, pada rangkaian fotodioda dipasang resistor feedback dengan tujuan untuk mengontrol impedansi input dan penguatan yang

masuk ke op-amp. Dimana impedansi input sebuah op-amp sudah diketahui sangat besar, bahkan bisa mencapai nilai tak terhingga.

Nilai tak hingga ini sangat tidak diinginkan karena akan sangat sulit menentukan penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian Transimpedance Amplifier.

Sedangkan penambahan kapasitor pada feedback secara parallel dengan resistor bertujuan untuk menstabilkan hasil penguatan yang dihasilkan oleh op-amp. Lalu bagian Non-Inverting diberi tegangan sebagai pembading dengan bagian Inverting ,dimana nilai tegangan Non-Inverting harus kecil.



Gambar 4.4 Rangkaian Transimpedance Amplifier

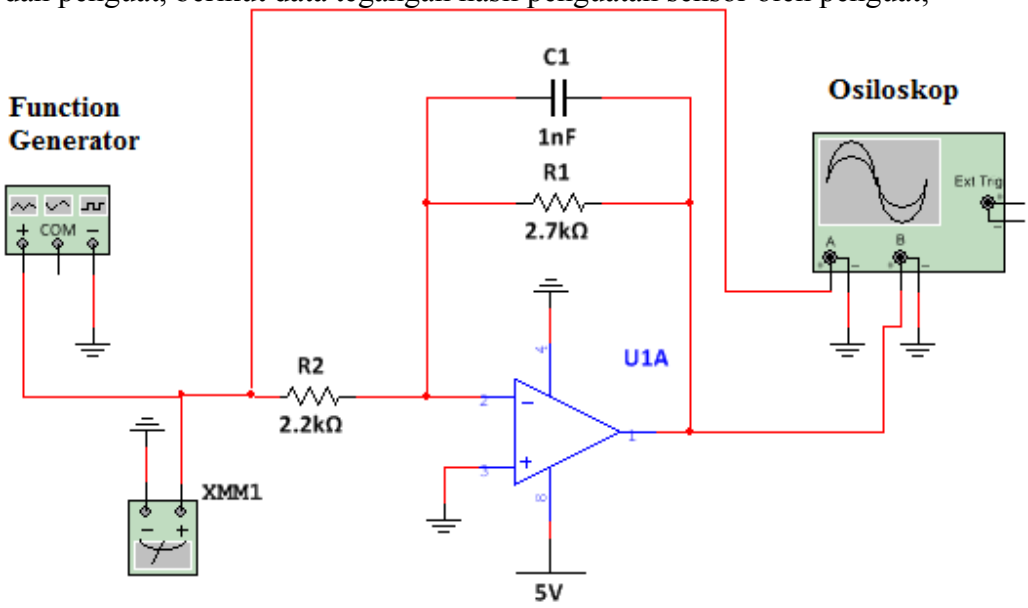
Pada gambar diatas dapat dilihat penambahan resistor dan kapasitor feedback seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.Untuk bagian Non-Inverting diberi pembagi tegangan tidak langsung dihubungkan dengan ground karena beberapa masalah yang muncul bila dihubungkan langsung dengan ground .

Bagian Non-Inverting diharapkan dapat di *supply* dengan tegangan 0V bila dihubungkan dengan ground , akan tetapi tegangan yang dighubungkan langsung pada ground tidak selalu menghasilkan tegangan 0v . Tegangan pada ground biasanya bernilai sangat kecil dalam rentan tegangan 0.2V – 0.7 V.

Tapi pada aplikasi opamp dengan sumber 2 supply tegangan (positif dan negatif) tegangan pada ground cenderung bisa bernilai negatif. Nilai negatif pada ground ini dapat menyebabkan melambatnya respon penguatan yang dihasilkan .

Maka untuk menghindari hal tersebut digunakan pembagi tegangan untuk memastikan tegangan pada bagian Non-inverting tidak bernilai negatif.

Proses pengujian transimpedance amplifier dilakukan dengan memberi input penguat bagian non-inverting dari sensor, kemudian menghubungkan output op-amp dengan multimeter untuk mengetahui nilai tegangan hasil keluaran sensor dan penguat, berikut data tegangan hasil penguatan sensor oleh penguat;



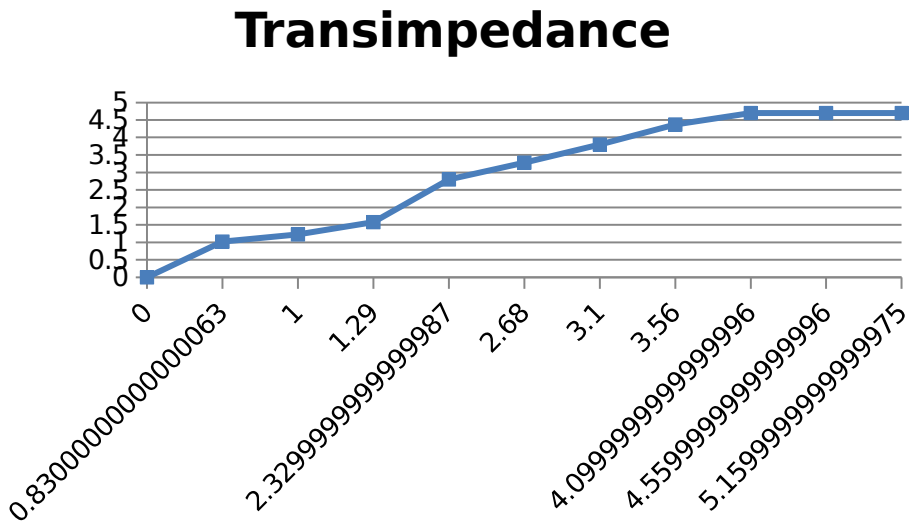
Gambar 4.5 Rangkaian uji coba Transimpedance Amplifier

Tabel 4.2 Data tegangan keluaran Transimpedance Amplifier

Vin (V)		
Osiloskop	**Multimeter**	**Vout(V)**
0	0	0
0.5	0.83	1.02
1	1	1.23
1.5	1.29	1.58
2	2.33	2.8
2.5	2.68	3.28
3	3.1	3.8
3.5	3.56	4.37
4	4.1	4.7
4.5	4.56	4.7

5	5.16	4.7

Dari data yang telah diperoleh dibuat grafik untuk melihat respon penguatan dari penguat terhadap input yang diberikan dari sensor.



Gambar 4.6 Grafik Output Transimpedance Amplifier

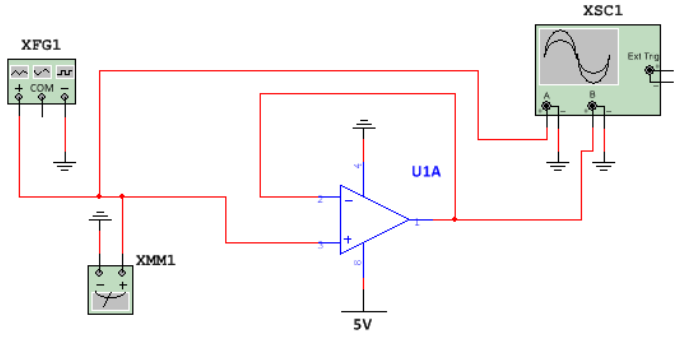
Penguatan yang dihasilkan adalah sebesar 1.27 kali, nilai penguatan itu didapat dari:

$$\frac{Rf}{Ri}=\frac{2.7\,k\,\Omega}{2.2\,k\,\Omega}=1.27$$

Respon penguatan opamp akan terus bekerja seiringan dengan perubahan tegangan yang masuk ke bagian inverting dan output akan terbatas pada nilai 4.7 V,hal ini dikarenakan tegangan kerja yang digunakan opamp adalah sebesar 5V sehingga opamp tidak dapat memperkuat tegangan lebih dari 5V.

4.3 Buffer

Pengujian rangkain Buffer dilakukan dengan memberi nilai Non-Inveting opamp dengan output Transimpedance Amplifier dan bagian output dihubungkan dengan multimeter, rangkaian Buffer dapat dilihat pada gambar berikut ini;



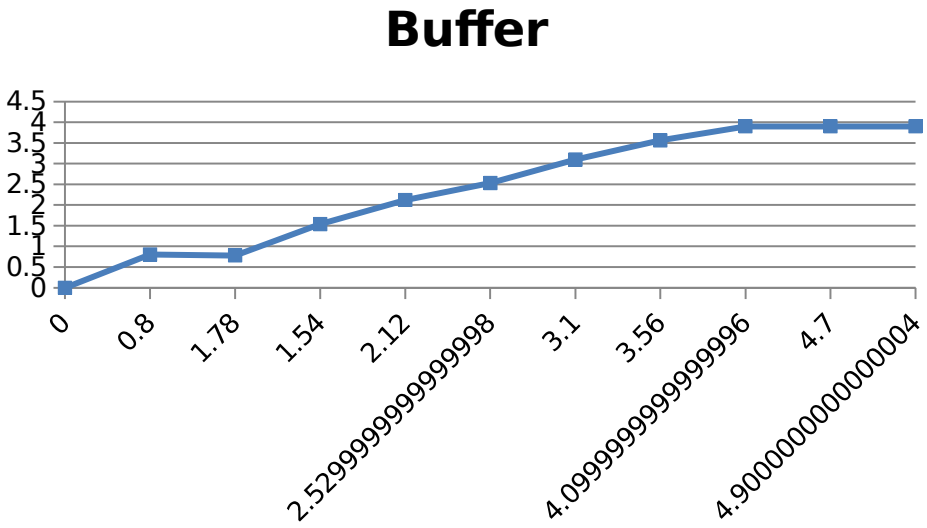
Gambar 4.7 Rangkaian uji coba Buffer

Rangkaian Buffer digunakan untuk menjaga agar perubahan nilai tegangan yang dihasilkan penguat Transimpedance amplifier untuk menjaga agar tidak terjadi overshoot tegangan yang sangat besar. Berikut adalah data hasil penguatan rangkaian Buffer yang dibuat ;

Tabel 4.3 Data Penguat Buffer

Vin (V)		
Osiloskop	**Multimeter**	**Vout(V)**
0	0	0
0.5	0.8	0.8
1	1.78	0.78
1.5	1.54	1.54
2	2.12	2.12
2.5	2.53	2.53
3	3.1	3.1
3.5	3.56	3.56
4	4.1	3.9
4.5	4.7	3.9
5	4.9	3.9

Dari hasil uji coba yang telah dilakukan, data yang telah diperoleh tersebut dibuat kedalam grafik untuk melihat respon penguatan dari rangkaian buffer yang telah dibuat.



Gambar 4.8 Grafik output Buffer

Dari rangkaian yang telah dibuat dan diuji coba , rangkaian buffer berfungsi dengan baik akan tetapi terjadi output yang terpotong mulai dari input 4V dibagian non-inverting,hal ini disebabkan oleh input tegangan opamp yang bernilai 5Vyang mengakibatkan sinyal yang dihasilkan terpotong/ *Cliped* karena opamp yang menggunakan single supply saja.

4.4 Pengujian Filter

Pengujian filter dilakukan dengan menggunakan bantuan function generator dan osciloscop , dimana function generator digunakan sebagai input filter dan osciloscop digunakan sebagai pembaca output hasil filter yang telah dirancang.

Filter yang digunakan dan diuji adalah Band Pass filter dimana input bandpass filter diberi supply dari function generator dan output diamati dengan

menggunakan osiloskop untuk melihat perubahan amplitude sinyal seiring dengan peribahan frekuensi input yang diberikan.

4.4.1 Band Pass Filter

Pengujian bandpass filter dilakukan dengan menggabungkan rangkaian dari highpass filter dan low pass filter yang telah dibuat . Hal ini bertujuan untuk memastikan berntuk dari Band pass filter sesuai dengan bentuk Band pass filter yang seharusnya. Berikut hasil pengukuran Band pass filter yang diuji coba;

Tabel.4.4 Data tegangan output Band Pass filter

Frekuensi (Hz)	Vin (V)	Vout (V)	Av	Av(dB)
0	1	0		
0.1	1	0.297	0.297	-10.5449
0.11	1	0.378	0.378	-8.45016
0.23	1	0.478	0.478	-6.41144
0.31	1	0.511	0.511	-5.83158
0.4	1	0.566	0.566	-4.94367
0.48	1	0.627	0.627	-4.05465
0.53	1	0.746	0.746	-2.54522
0.798	1	0.946	0.946	-0.48218
0.9	1	1.14	1.14	1.138097
1.2	1	1.14	1.14	1.138097
1.9	1	1.2	1.2	1.583625
2.1	1	1.2	1.2	1.583625
2.7	1	1.3	1.3	2.278867
3.1	1	1.3	1.3	2.278867
3.9	1	1.4	1.4	2.922561
4.8	1	1.5	1.5	3.521825
6.2	1	1.5	1.5	3.521825
7.9	1	1.6	1.6	4.0824
13	1	1.6	1.6	4.0824
16	1	1.5	1.5	3.521825
20	1	1.4	1.4	2.922561
24	1	1.3	1.3	2.278867
26	1	1.2	1.2	1.583625
30	1	1.1	1.1	0.827854
40	1	0.9	0.9	-0.91515

43	1	0.9	0.9	-0.91515
50	1	0.7	0.7	-3.09804
60	1	0.6	0.6	-4.43697
70	1	0.6	0.6	-4.43697
100	1	0.25	0.25	-12.0412

Dari tabel diatas didapat 2 titik frekuensi pada gain sekitar 3dB, kedua frekuensi tersebut merupakan frekuensi cut-off yang bekerja pada bandpass dimana frekuensi tersebut adalah frekuensi low dan frekuensi high.Dari perancangan yang dilakukan frekuensi cut off yang di buat dapat dilihat dari persamaan berikut:

Frekuensi Low (frekuensi cut-off bagian bawah)

$$R1=\frac{1}{\sqrt{2}.\pi.C1.Fc} \quad = \quad R1=\frac{1}{\sqrt{2}.\pi.220\,nF.0.5\,Hz}=2.046.173\,\Omega$$

$$R2=\frac{1}{2\sqrt{2}.\pi.C1.Fc}=R2=\frac{1}{2\sqrt{2}.\pi.220\,nF.0.5\,Hz}=1.0423.086\,\Omega$$

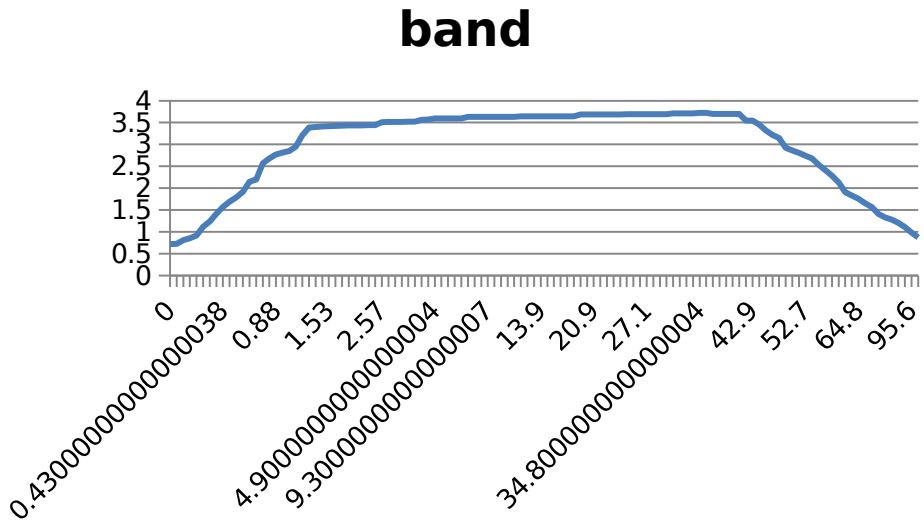
C1 = C2 = 220nF

Frekuensi High (frekuensi cut-off bagian atas)

$$R1,R2=\frac{1}{2\sqrt{2}.\pi.C1.Fc} \quad = \quad R1,R2=\frac{1}{2\sqrt{2}.\pi.220\,nF.40\,Hz}\,12.782\,K\Omega$$

C2 = C1 x 2 C1=220nF, C2 = 220nF x 2 = 440nF

Dari perancangan bandpass filter dapat diketahui bagian frekuensi cut-off yang diinginkan,yaitu untuk bagian low sebesar 0.5Hz dan bagian high sebesar 40Hz,akan tetapi dari pendataan yang telah dilakukan frekuensi cut-off yang berada pada sekitar gain -3dB adalah 0.53Hz untuk low dan 50Hz untuk high.Hal ini diakibatkan oleh toleransi dari setiap komponen yang menyebabkan hasil keluaran yang didapat tidak sesuai dengan perancangan dan pembuatan yang dilakukan.



Gambar 4.9 Grafik Performa Uji Coba Band Pass filter

Dari desain yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Frekuensi yang diloloskan oleh Band pass filter adalah 0.5 – 40 Hz. Sedangkan dari hasil pengukuran aktual didapat frekuensi Band Pass yang dihasilkan adalah 0.53 – 50 Hz .

Seperti yang telah dijelaskan pada High Pass dan Low Pass filter dimana pergeseran nilai frekuensi ini diakibatkan oleh komponen yang memiliki nilai toleransi dan menyebabkan nilai frekuensi yang dihasilkan tidak sesuai dengan nilai yang didisain.

Dari frekuensi cutoff bagian low sebesar 0.53 Hz dan bagian High sebesar 50Hz didapat bandwidth yang dapat dicara dengan persamaan (2.9);

Bandwidth = FH-FL

Bandwidth = 50Hz - 0.53Hz = 49.47 Hz.

4.5 Pengujian Sistem Kerja Alat

Proses pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran alat yang dibuat dengan alat ukur konvensional Nesco Multicheck. Proses pertama adalah pembacaan nilai kadargula oleh Nesco Multicheck kemudian dilajutkan dengan pembacaan nilai ADC dari alat yang telah diolah oleh

mikrokontroler . Proses pengukuran dilakukan sebanyak 40 kali dengan psaien yang berbeda-beda dan kondisi pasien saat pengukuran , baik saat pasien belum makan , 2 jam setelah makan atau 3 jam setelah makan. Proses percobaan dilakukan dengan mengambil 1 kali data lat ukur konvensional dan 5 data ADC hasil pembacaan alat. Berikut merupakan hasil percobaan yang telah dilakukan .

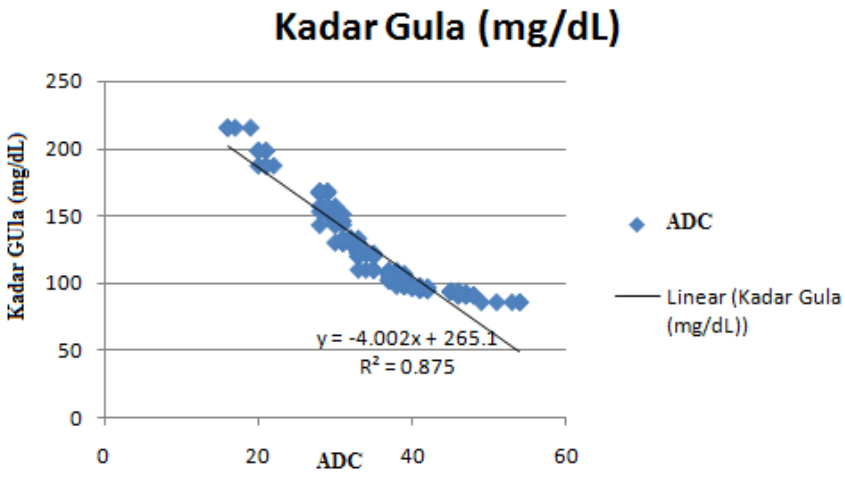
Tabel 4.5 Tabel hasil perbandingan kadar gula darah dan ADC

Pasien	Kadar Gula (mg/dL)	ADC	Rata-Rata	Pasien	Kadar Gula (mg/dL)	ADC	Rata-Rata
1	102	37	37.6	21	153	29	29
		38				28	
		37				29	
		37				30	
		39				29	
2	98	38	38.8	22	167	28	28.2
		39				29	
		39				28	
		39				28	
		39				28	
3	91	48	47.2	23	198	21	20.4
		47				21	
		48				20	
		46				20	
		47				20	
4	94	45	45.4	24	215	16	16.8
		45				17	
		46				16	
		46				19	
		45				16	
5	93	46	46.2	25	97	41	40.4
		46				40	
		46				41	
		47				40	
		46				40	
6	95	42	41.6	26	106	37	37.6

		41				38	
		41				37	
		42				37	
		42				39	
7	102	38	37.8	27	97	41	40.4
		39				40	
		37				41	
		38				40	
		37				40	
8	110	34	34.4	28	167	28	28.2
		33				29	
		35				28	
		35				28	
		35				28	
9	123	33	33	29	143	31	29.8
		33				30	
		33				28	
		33				30	
		33				30	
10	151	30	30	30	133	33	32
		31				32	
		30				32	
		29				32	
		30				31	
11	97	40	40.2	31	187	21	21
		40				21	
		40				20	
		41				22	
		40				21	
12	86	54	52.2	32	146	30	30.2
		54				30	
		53				30	
		51				31	
		49				30	
13	91	47	47	33	94	46	45.4
		48				45	
		46				45	
		46				45	
		48				46	
14	97	41	40.8	34	157	30	29
		40				29	
		41				29	

		40				28	
		42				29	
15	98	40	39.8	35	130	31	31
		41				32	
		39				31	
		39				30	
		40				31	
16	103	39	38	36	120	35	33.8
		39				35	
		37				33	
		38				33	
		37				33	
17	109	37	37	37	168	29	28.4
		37				29	
		37				28	
		37				28	
		37				28	
18	107	37	37.6	38	97	42	40.6
		38				40	
		37				40	
		37				41	
		39				40	
19	109	37	37.4	39	132	32	31.6
		38				31	
		38				32	
		37				32	
		37				31	
20	130	32	32	40	122	34	34.2
		33				34	
		32				35	
		31				33	
		32				35	

Dari data diatas diambil nilai rata-rata dari tiap percobaan kemudian dimasukan kedalam persamaan Least Square untuk mengejar nilai kadar gula darah dengan nilai ADC agar alat yang dibuat dapat menentukan berapa kadar gula darah yang terkandung dengan memanfaatkan hasil pembacaan nilai ADC.



Gambar 4.10 Hubungan nilai kadar gula darah dan ADC

Grafik diatas adalah hasil pengolahan nilai ADC dengan metode least Square dengan tujuan untuk mendekati nilai actual kadar gula darah dari alat Nesco dan membandingkan dengan nilai ADC dari alat yang telah dibuat.

Formula least square yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut :

$$y = -ax + b$$

$$a = \frac{\sum y}{n}$$

$$b = \frac{\sum xy}{x^2}$$

Keterangan :
Y = nilai kandungan gula darah
X = nilai ADC alat

Dari teori least square yang digunakan, didapat hasil persamaan sebagai berikut;

$$y = -4.002\,x + 265.1$$

$$R^2 = 0.875$$

Nilai regresi adalah nilai korelasi antara nilai actual yang dijadikan acuan dan nilai ramalan yang digunakan untuk mengejar nilai acuan yang ditetapkan. Nilai regresi akan bernilai dari 0 – 1 dimana nilai 1 adalah nilai terbaik dalam ramalan nilai yang digunakan. Dalam arti lain semakin nilai regresi mendekati

angka 1 maka semakin baik pula rancangan ramalan data yang dibuat dalam mengejar nilai actual yang diiginkan.

Setelah mendapat nilai least square , maka nilai tersebut dimasukkan kedalam mikrokontroler untuk digunakan sebagai konversi nilai ADC input dari sensor dan diolah menjadi satuan nilai kadar gula darah.

Untuk mengetahui ketepatan pembacaan alat yang telah dibuat dan akan diuji, maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Error = \left(1 - \left|\frac{Ar}{An}\right|\right) x\,100$$

Keterangan :
Ar = Alat rancangan
An = Alat ukur Nesco

Pengujian alat ukur dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dimana akan dicarai berapa besar error dari setiap pengukuran yang telah dilakukan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan kadar gula darah alat ukur Nesco dan Alat ukur yang dibuat. Data hasil percobaan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.6 Perbandingan hasil uji alat Nesco dan alat yang dibuat

Percobaan	Kadar gula darah NESCO (mg/dL)	Kadar gula alat rancangan (mg/dL)	Error %
Pasien-1	88	91	3.3
Pasien-2	91	97	6.2
Pasien-3	84	87	3.4
Pasien-4	97	102	4.9
Pasien-5	112	108	3.7
Pasien-6	91	87	4.6
Pasien-7	91	91	0.0
Pasien-8	102	100	2.0
Pasien-9	95	91	4.4
Pasien-10	82	79	3.8

Dari 10 kali percobaan didapat nilai error yang berbeda-beda,hal ini diakibatkan oleh posisi jari saat pengukuran sangat menentukan hasil akhir pengukuran oleh alat rancangan dan ukuran dan ketebalan jari dari tiap pasien berbeda-beda sehingga menyebabkan pembacaan yang berbeda untuk kadar gula darah yang sama.