

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan sistem Alat Uji Bandul Matematis dan Fisis Berbasis *Mikrokontroler Arduino Uno R3* yang terdiri: hasil *wiring* diagram dan pembahasan, hasil pemrograman sensor LDR, hasil pemrograman data *logger* PLX-DAQ, pengujian: perbandingan antara pengukuran menggunakan alat uji dengan pengukuran secara manual.

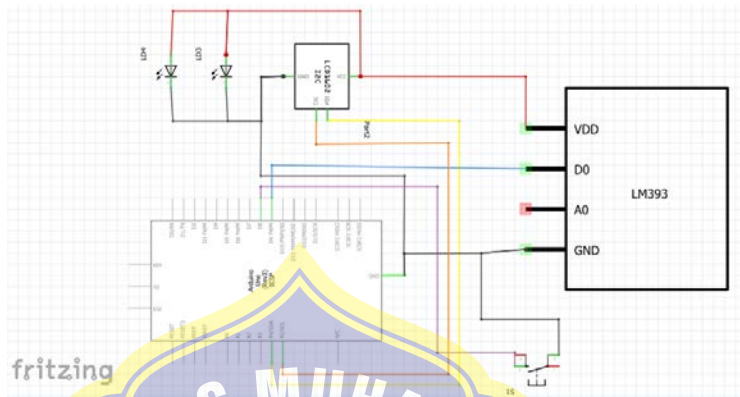
4.1 *Wiring* Diagram Alat Uji Bandul Fisis dan Matematis Berbasis *Mikrokontroler Arduino Uno R3*

Wiring diagram dilakukan pertama kali karena ini merupakan proses yang sangat penting dalam rancang bangun alat uji ini. Dengan memahami *wiring* diagram perancangan akan sangat mudah untuk merakit/menghubungkan kabel-kabel sensor ke *mikrokontroler Arduino Uno R3* secara benar tanpa ada kesalahan yang besar yang bisa berakibat kerusakan atau konsleting. Karena *wiring* diagram ini dibuat dan

disimulasikan menggunakan aplikasi *fritzing* yang bisa dikoding (diprogram) seperti *Arduino IDE*. Berikut adalah hasil dari *sketch wiring diagram* menggunakan *fritzing*.



Gambar 4.1 Rangkaian wiring diagram alat uji bandul matematis dan fisis

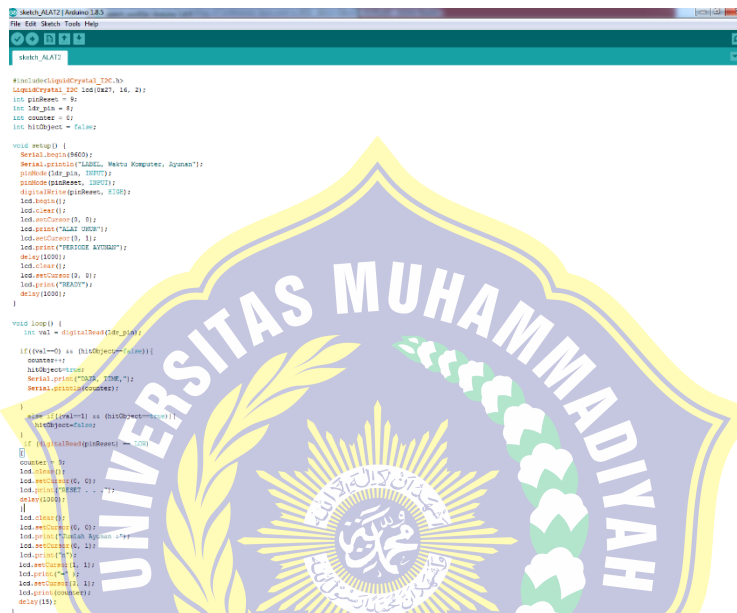


Gambar 4.2 Skematik *wiring* diagram alat uji bandul matematis dan fisis

Dalam *wiring* di atas, sensor-sensor dihubungkan ke Pin *Arduino uno R3*. Berikut adalah keterangan hubungan pin tersebut:

- Pin SDA LCD → Pin A4 Arduino
- Pin SDL LCD → Pin A5 Arduino
- Pin DO Modul LDR → Pin 8 Arduino
- Salah satu pin Push Button → Pin 9 Arduino
- Pin Push Button lainnya → Pin GND Arduino
- Pin VCC pada masing-masing komponen → Pin 5V Arduino
- Pin GND pada masing-masing komponen → Pin GND Arduino

4.2 Hasil Pemrograman Sensor LDR dan Data Logger PLX-DAQ



```
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 16, 2);
int pinLDR = 5;
int buzzer = 8;
int counter = 0;
int hitDetect = false;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("LABOR. WATU Komputer, Arman");
  pinMode(LDR_pin, INPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  digitalWrite(pinLDR, HIGH);
  lcd.begin(16);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("LDR DETECT");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("PRESSURE AYTAM");
  delay(1000);
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("PRESSURE");
  delay(1000);
}

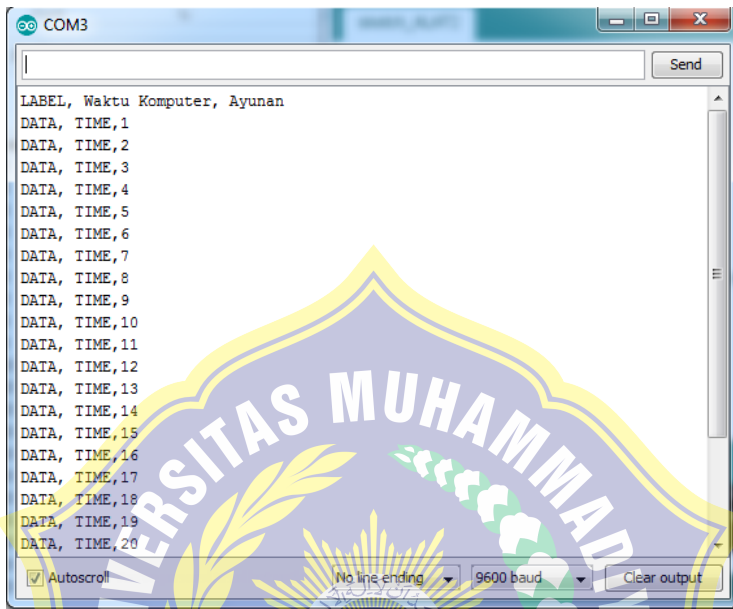
void loop() {
  int val = digitalRead(LDR_pin);

  if(val==0) {
    hitDetect=true;
    Serial.print("TDR, TDR, ");
    Serial.println(counter);
  }

  if (hitDetect==true) {
    digitalWrite(buzzer, LOW);
  }
  if (digitalRead(pinLDR) == LOW) {
    counter++;
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print(counter);
    lcd.setCursor(0, 4);
    lcd.print("RESET - - ");
    delay(1000);
  }
  lcd.setCursor(0, 5);
  lcd.print(counter);
  lcd.print("TDR AYTAM");
  lcd.setCursor(0, 6);
  lcd.print("TDR");
  lcd.setCursor(0, 7);
  lcd.print("TDR");
  lcd.setCursor(0, 8);
  lcd.print("TDR");
  lcd.setCursor(0, 9);
  lcd.print("TDR");
  delay(10);
}
```

Gambar 4.3 *Sketch* Pemrograman sensor LDR

Hasil dari pemrograman sensor LDR setelah sketch pemrograman diupload di *software* Arduino IDE dan berhasil adalah sebagai berikut ini.



Gambar 4.4 Serial monitor Komputer/Laptop



Gambar 4.5 Tampilan di LCD 16x2

Setelah semua berhasil terbaca oleh *Serial monitor* Komputer/Laptop dan LCD 16x2, selanjutnya diplotkan secara *real time* ke Microsoft Excel menggunakan aplikasi PLQ-DAQ. Hasilnya sebagai berikut.



Gambar 4.6 Data *Logger* PLX-DAQ

4.3 Pengujian Alat Uji Bandul Matematis dan Fisis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3



Gambar 4.7 Pengujian Alat Uji Bandul Matematis dan Fisis Berbasis Arduino Uno R3

4.3.1 Hasil Pengujian Bandul Matematis

- Proses pengujian dilakukan seperti terlihat pada gambar 4.7 dengan panjang tali tetap (0,5m), banyak getaran (n) = 9.5, simpangan 10°

Tabel 4.1 Pengujian bandul matematis menggunakan alat uji dan secara manual.

Massa (m) (gr)	Pengujian ke	Dengan alat uji		Secara manual	
		Waktu(t) (s)	Periode(T) (s)	Waktu(t) (s)	Periode(T) (s)
50	1	13,81	1,454	13,86	1,459
	2	13,81	1,454	13,98	1,472
	3	13,81	1,454	13,83	1,456
	4	13,80	1,453	13,81	1,454
	5	13,80	1,453	13,80	1,453
100	1	13,79	1,452	13,78	1,451
	2	13,78	1,451	13,79	1,452
	3	13,80	1,453	13,80	1,453
	4	13,78	1,451	13,81	1,454
	5	13,77	1,450	13,77	1,450
150	1	13,84	1,457	13,93	1,466
	2	13,81	1,454	13,97	1,471
	3	13,83	1,456	13,88	1,461

	4	13,81	1,454	13,80	1,453
	5	13,84	1,457	13,87	1,460

Pengolahan data untuk menentukan nilai percepatan gravitasi (g) dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.4. Berikut tabel hasil yang diperoleh melalui pengujian dengan alat uji dan secara manual.

Tabel 4.2 Penentuan nilai percepatan gravitasi (g) bandul matematis.

m (gr)	Pengujian ke	Dengan alat uji			Secara manual		
		T (s)	g (m/s^2)	$\bar{g}$ (m/s^2)	T (s)	g (m/s^2)	$\bar{g}$ (m/s^2)
50	1	1,454	9,33	9,33	1,459	9,26	9,27
	2	1,454	9,33		1,472	9,10	
	3	1,454	9,33		1,456	9,30	
	4	1,453	9,34		1,454	9,33	
	5	1,453	9,34		1,453	9,34	
100	1	1,452	9,35	9,36	1,451	9,37	9,35
	2	1,451	9,37		1,452	9,35	
	3	1,453	9,34		1,453	9,34	
	4	1,451	9,37		1,454	9,33	
	5	1,450	9,38		1,450	9,38	

150	1	1,457	9,29	9,31	1,466	9,18	9,22
	2	1,454	9,33		1,471	9,11	
	3	1,456	9,30		1,461	9,24	
	4	1,454	9,33		1,453	9,34	
	5	1,457	9,29		1,460	9,25	

Setelah nilai percepatan gravitasi bandul matematis sudah ditentukan, selanjutnya diambil rata-rata nilai percepatan gravitasi hasil percobaan (alat uji dan secara manual) dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi secara teori.

Tabel 4.3 Perbandingan nilai percepatan gravitasi bandul matematis hasil percobaan dan teori.

m (gr)	50	100	150
Alat uji $\bar{g}$ (m/s ²)	9,33	9,36	9,31
Secara manual $\bar{g}$ (m/s ²)	9,27	9,35	9,22
Teori g (m/s ²)	9,81	9,81	9,81



Diagram 4.1 Perbandingan nilai percepatan gravitasi hasil percobaan dan teori bandul matematis

Dalam diagram 4.1 memperlihatkan bahwa pada data pengujian dengan alat uji hampir mendekati nilai percepatan gravitasi teori ($9,81 \text{ m/s}^2$) dengan simpangan sebesar $0,45 \text{ m/s}^2$ dan simpangan sebesar $0,46$ untuk pengujian secara manual.

4.3.2 Hasil Pengujian Bandul Fisis

Banyak getaran (n) = 9.5, simpangan 10°

Tabel 4.4 Pengujian bandul fisis menggunakan alat uji dan secara manual.

Massa (m) (kg)	Pengujian ke	Dengan alat uji		Secara manual	
		Waktu(t) (s)	Periode(T) (s)	Waktu(t) (s)	Periode(T) (s)
0,25	1	12,25	1,290	12,27	1,292
	2	12,26	1,291	12,30	1,295
	3	12,26	1,291	12,26	1,291
	4	12,26	1,291	12,35	1,300
	5	12,25	1,290	12,36	1,301
0,50	1	12,20	1,284	12,19	1,283
	2	12,18	1,282	12,21	1,285
	3	12,18	1,282	12,24	1,288
	4	12,19	1,283	12,20	1,284
	5	12,18	1,282	12,25	1,289
1	1	12,42	1,307	12,45	1,310
	2	12,41	1,306	12,43	1,308
	3	12,41	1,306	12,48	1,314
	4	12,42	1,307	12,50	1,316
	5	12,42	1,307	12,44	1,309

Pengolahan data untuk menentukan nilai percepatan gravitasi (g) dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.7. Berikut tabel hasil yang diperoleh melalui pengujian dengan alat uji dan secara manual.

Tabel 4.5 Penentuan nilai percepatan gravitasi (g) bandul fisis.

m (kg)	Pengujian ke	Dengan alat uji			Secara manual		
		T (s)	g (m/s^2)	$\bar{g}$ (m/s^2)	T (s)	g (m/s^2)	$\bar{g}$ (m/s^2)
0,25	1	1,290	7,35	7,34	1,292	7,32	7,28
	2	1,291	7,34		1,295	7,29	
	3	1,291	7,34		1,291	7,34	
	4	1,291	7,34		1,300	7,23	
	5	1,290	7,35		1,301	7,22	
0,50	1	1,452	9,35	9,36	1,451	9,37	9,35
	2	1,451	9,37		1,452	9,35	
	3	1,453	9,34		1,453	9,34	
	4	1,451	9,37		1,454	9,33	
	5	1,450	9,38		1,450	9,38	
1	1	1,307	8,08	8,08	1,310	8,04	8,03
	2	1,306	8,09		1,308	8,07	
	3	1,306	8,09		1,314	7,99	

	4	1,307	8,08		1,316	7,97	
	5	1,307	8,08		1,309	8,06	

Setelah nilai percepatan gravitasi bandul matematis sudah ditentukan, selanjutnya diambil rata-rata nilai percepatan gravitasi hasil percobaan (alat uji dan secara manual) dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi secara teori.

Tabel 4.6 Perbandingan nilai percepatan gravitasi bandul fisis hasil percobaan dan teori.

m (kg)	0,25	0,50	1
Alat uji $\bar{g}$ (m/s ²)	7,34	7,79	8,04
Secara manual $\bar{g}$ (m/s ²)	7,28	7,75	8,03
Teori g (m/s ²)	9,81	9,81	9,81

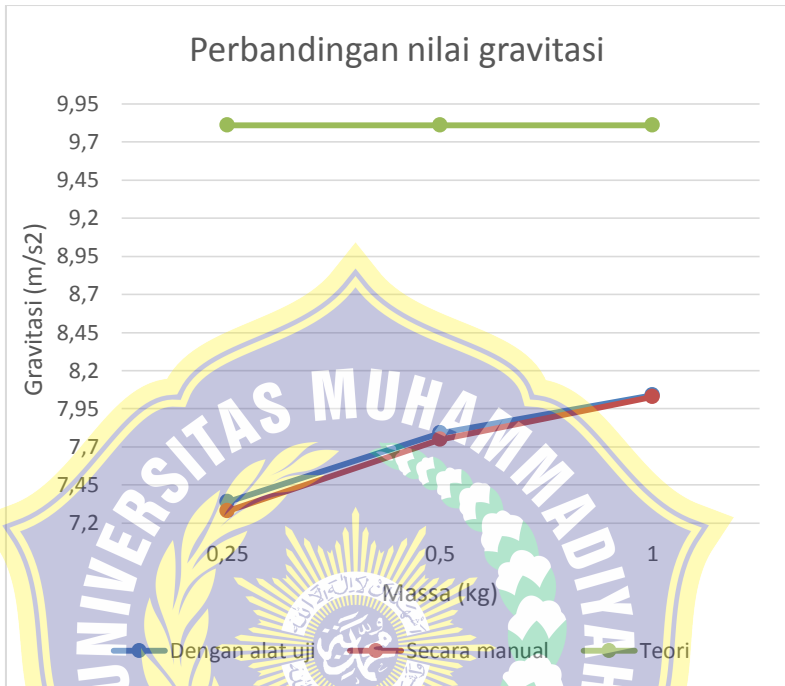


Diagram 4.2 Perbandingan nilai percepatan gravitasi hasil percobaan dan teori bandul fisis

Sama halnya dalam diagram 4.1, pada diagram 4.2 di atas juga memperlihatkan bahwa pada data pengujian dengan alat uji lebih mendekati nilai percepatan gravitasi teori ($9,81 \text{ m/s}^2$) dengan simpangan sebesar $1,77 \text{ m/s}^2$ dibandingkan dengan pengujian secara manual yang simpangannya sebesar $1,78 \text{ m/s}^2$.

4.4 RALAT PENGUKURAN DAN STANDAR DEVIASI

➤ Ralat percepatan gravitasi (g) bandul matematis dengan alat uji

- g untuk massa bandul 50 gr

Pengukuran ke	g (m/s^2)	$(g-\bar{g})$ (m/s^2)	$(g-\bar{g})^2$ (m/s^2)
1	9,33	0	0
2	9,33	0	0
3	9,33	0	0
4	9,34	-0,01	0,0001
5	9,34	-0,01	0,0001
$\bar{g} = 9,33$		$\sum (g-\bar{g})^2 = 0,0002$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0002}{5(5-1)}} = \sqrt{0,00001} = 0,003 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,003}{9,33} \times 100\% = 0,03\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,03\% = 99,97\%$$

- g untuk massa bandul 100 gr

Pengukuran ke	g (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) ² (m/s ²)
1	9,35	+0,01	0,0001
2	9,37	-0,01	0,0001
3	9,34	+0,02	0,0004
4	9,37	-0,01	0,0001
5	9,38	-0,02	0,0004
$\bar{g} = 9,36$		$\sum (g - \bar{g})^2 = 0,0011$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0011}{5(5-1)}} = \sqrt{0,000055} = 0,007 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,007}{9,36} \times 100\% = 0,1\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,1\% = 99,9\%$$

- g untuk massa bandul 150 gr

Pengukuran Ke	g (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) ² (m/s ²)
1	9,29	+0,02	0,0004
2	9,33	-0,02	0,0004
3	9,30	+0,01	0,0001
4	9,33	-0,02	0,0004
5	9,29	+0,02	0,0004
$\bar{g} = 9,31$		$\sum (g - \bar{g})^2 = 0,0017$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0017}{5(5-1)}} = \sqrt{0,000085} = 0,01 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,01}{9,31} \times 100\% = 0,1\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,1\% = 99,9\%$$

➤ **Standar deviasi bandul matematis dengan alat uji**

- untuk massa bandul 50 gr

Pengukuran ke	g	g^2
1	9,33	87,0489
2	9,33	87,0489
3	9,33	87,0489
4	9,34	87,2356
5	9,34	87,2356
Σ	46,67	435,6179

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(5)(435,6179) - (46,67)^2}{5(5-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,0006}{20}} = 0,005
 \end{aligned}$$

- untuk massa bandul 100 gr

Pengukuran ke	g	g^2
1	9,35	87,4225
2	9,37	87,7969
3	9,34	87,2356
4	9,37	87,7969

5	9,38	87,9844
Σ	46,81	438,2363

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(5)(438,2363) - (46,81)^2}{5(5-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,0054}{20}} = 0,016
 \end{aligned}$$

- untuk massa bandul 150 gr

Pengukuran ke	g	g ²
1	9,29	86,3041
2	9,33	87,0489
3	9,30	86,49
4	9,33	87,0489
5	9,29	86,3041
Σ	46,54	433,196

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(5)(433,196) - (46,54)^2}{5(5-1)}}
 \end{aligned}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0084}{20}} = 0,020$$

➤ **Ralat percepatan gravitasi (g) bandul matematis dengan pengukuran secara manual**

- g untuk massa bandul 50 gr

Pengukuran ke	g (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) ² (m/s ²)
1	9,26	+0,01	0,0001
2	9,10	+0,17	0,0289
3	9,30	-0,03	0,0009
4	9,33	-0,06	0,0036
5	9,34	-0,07	0,0049
$\bar{g} = 9,27$		$\sum (g - \bar{g})^2 = 0,0384$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0384}{5(5-1)}} = \sqrt{0,00192} = 0,044 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,044}{9,27} \times 100\% = 0,5\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,5\% = 99,5\%$$

- g untuk massa bandul 100 gr

Pengukuran ke	g (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) ² (m/s ²)
1	9,37	-0,02	0,0004
2	9,35	0	0
3	9,34	+0,01	0,0001
4	9,33	+0,02	0,0004
5	9,38	-0,03	0,0009
$\bar{g} = 9,35$		$\sum (g - \bar{g})^2 = 0,0018$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0018}{5(5-1)}} = \sqrt{0,00009} = 0,01 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,01}{9,35} \times 100\% = 0,1\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,1\% = 99,9\%$$

- g untuk massa bandul 150 gr

Pengukuran ke	g (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) ² (m/s ²)
1	9,18	+0,04	0,0016
2	9,11	-0,11	0,0121
3	9,24	-0,02	0,0004
4	9,34	-0,12	0,0144
5	9,25	-0,03	0,0009
$\bar{g} = 9,32$		$\sum (g - \bar{g})^2 = 0,0294$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0294}{5(5-1)}} = \sqrt{0,00147} = 0,04 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,04}{9,36} \times 100\% = 0,4\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,4\% = 99,6\%$$

➤ **Standar deviasi bandul matematis dengan pengukuran secara manual**

- untuk massa bandul 50 gr

Pengukuran ke	g	g^2
1	9,26	85,7476
2	9,10	82,81
3	9,30	86,49
4	9,33	87,0489
5	9,34	87,2356
Σ	46,33	429,3321

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(5)(429,3321) - (46,33)^2}{5(5-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,1916}{20}} = 0,1
 \end{aligned}$$

- untuk massa bandul 100 gr

Pengukuran ke	g	g^2
1	9,37	87,7969
2	9,35	87,4225
3	9,34	87,2356

4	9,33	87,0489
5	9,38	87,9844
Σ	46,77	437,4883

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(5)(437,4883) - (46,77)^2}{5(5-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,0086}{20}} = 0,02
 \end{aligned}$$

- untuk massa bandul 150 gr

Pengukuran ke	g	g ²
1	9,18	84,2724
2	9,11	82,9921
3	9,24	85,3776
4	9,34	87,2356
5	9,25	85,5625
Σ	46,12	425,4402

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(5)(425,4402) - (46,12)^2}{5(5 - 1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,1466}{20}} = 0,1$$

Dari serangkaian ralat pengukuran percepatan gravitasi di atas, didapat ketelitian dari alat ini. Ketelitian pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4.7 Ketelitian alat uji bandul matematis

Massa (m) (gr)	Dengan alat uji		secara manual	
	Ketelitian	Std. Deviasi	Ketelitian	Std. Deviasi
50	99,97%	0,005	99,5%	0,1
100	99,9%	0,016	99,9%	0,02
150	99,9%	0,02	99,6%	0,1
Rata-rata	99,9%	0,014	99,7%	0,07

Dari hasil perhitungan ralat percepatan gravitasi pada tabel 4.7 didapatkan nilai ketelitian dan kepresisian pengukuran menggunakan alat uji sebesar 99,9% dengan nilai standar deviasi 0,014 lebih baik dibandingkan dengan pengukuran secara manual yang nilainya sebesar 99,7% dengan nilai standar deviasi 0,07.

➤ **Ralat percepatan gravitasi (g) bandul fisis dengan alat uji**

- g untuk massa 0,25 kg

Pengukuran	g	(g- $\bar{g}$)	(g- $\bar{g}$) ²
Ke	(m/s ²)	(m/s ²)	(m/s ²)
1	7,35	-0,01	0,0001
2	7,34	0	0
3	7,34	0	0
4	7,34	0	0
5	7,35	-0,01	0,0001
$\bar{g} = 7,34$		$\sum (g - \bar{g})^2 = 0,0002$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0002}{5(5-1)}} = \sqrt{0,00001} = 0,003 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,003}{7,34} \times 100\% = 0,04\%$$

Keseeksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,04\% = 99,96\%$$

- g untuk massa 0,50 kg

Pengukuran ke	g (m/s ²)	$(g-\bar{g})$ (m/s ²)	$(g-\bar{g})^2$ (m/s ²)
1	7,78	+0,01	0,0001
2	7,80	-0,01	0,0001
3	7,80	-0,01	0,0001
4	7,79	0	0
5	7,80	-0,01	0,0001
$\bar{g} = 7,79$		$\sum (g-\bar{g})^2 = 0,0004$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0004}{5(5-1)}} = \sqrt{0,00002} = 0,004 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,004}{7,79} \times 100\% = 0,05\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,05\% = 99,95\%$$

- g untuk massa 1 kg

Pengukuran ke	g (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) ² (m/s ²)
1	8,08	0	0
2	8,09	-0,01	0,0001
3	8,09	-0,01	0,0001
4	8,08	0	0
5	8,08	0	0
$\bar{g} = 8,08$		$\sum (g - \bar{g})^2 = 0,0002$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0002}{5(5-1)}} = \sqrt{0,00001} = 0,003 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,003}{8,08} \times 100\% = 0,04\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,04\% = 99,96\%$$

➤ **Standar deviasi bandul fisis dengan alat uji**

- untuk massa bandul 0,25 kg

Pengukuran ke	g	g ²
1	7,35	54,0225
2	7,34	53,8756
3	7,34	53,8756
4	7,34	53,8756
5	7,35	54,0225
Σ	36,72	269,6718

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(5)(269,6718) - (36,72)^2}{5(5-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,0006}{20}} = 0,005
 \end{aligned}$$

- untuk massa bandul 0,50 kg

Pengukuran ke	g	g ²
1	7,78	60,5284
2	7,80	60,84
3	7,80	60,84
4	7,79	60,6841
5	7,80	60,84

Σ	38,97	303,7325
----------	-------	----------

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(5)(303,7325) - (38,97)^2}{5(5-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0016}{20}} = 0,009$$

- untuk massa bandul 1 kg

Pengukuran ke	g	g^2
1	8,08	65,2864
2	8,09	65,4481
3	8,09	65,4481
4	8,08	65,2864
5	8,08	65,2864
Σ	40,42	326,7554

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(5)(326,7554) - (40,42)^2}{5(5-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0006}{20}} = 0,005$$

➤ **Ralat percepatan gravitasi (g) bandul fisis dengan pengukuran secara manual**

- g untuk massa 0,25 kg

Pengukuran ke	g (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) ² (m/s ²)
1	7,32	-0,04	0,0016
2	7,29	-0,01	0,0001
3	7,34	-0,06	0,0036
4	7,23	+0,05	0,0025
5	7,22	+0,06	0,0036
$\bar{g} = 7,28$		$\Sigma (g - \bar{g})^2 = 0,01131$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\Sigma (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,01131}{5(5-1)}} = \sqrt{0,000565} = 0,02 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,02}{7,28} \times 100\% = 0,3\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,3\% = 99,7\%$$

- g untuk massa 0,50 kg

Pengukuran ke	g (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) ² (m/s ²)
1	7,79	-0,04	0,0016
2	7,76	-0,01	0,0001
3	7,73	+0,02	0,0004
4	7,78	-0,03	0,0009
5	7,71	+0,04	0,0016
$\bar{g} = 7,75$		$\sum (g - \bar{g})^2 = 0,0046$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0046}{5(5-1)}} = \sqrt{0,00023} = 0,015 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,015}{7,75} \times 100\% = 0,2\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,2\% = 99,8\%$$

- g untuk massa 1 kg

Pengukuran ke	g (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) (m/s ²)	(g- $\bar{g}$) ² (m/s ²)
1	8,04	-0,01	0,0001
2	8,07	-0,04	0,0016
3	7,99	+0,04	0,0016
4	7,97	+0,06	0,0036
5	8,06	-0,03	0,0009
$\bar{g} = 8,03$		$\sum (g-\bar{g})^2 = 0,0078$	

Harga mutlak :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (g - \bar{g})^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0078}{5(5-1)}} = \sqrt{0,00039} = 0,02 \text{ m/s}^2$$

Ralat Nisbi :

$$I = \frac{\Delta}{\bar{g}} \times 100\% = \frac{0,02}{8,03} \times 100\% = 0,3\%$$

Keseksamaan :

$$K = 100\% - I$$

$$= 100\% - 0,3\% = 99,7\%$$

➤ **Standar deviasi bandul fisis dengan pengukuran secara manual**

- untuk massa bandul 0,25 kg

Pengukuran ke	g	g^2
1	7,32	53,5824
2	7,29	53,1441
3	7,34	53,8756
4	7,23	52,2729
5	7,22	52,1284
Σ	36,40	265,0034

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(5)(265,0034) - (36,40)^2}{5(5-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,057}{20}} = 0,1
 \end{aligned}$$

- untuk massa bandul 0,50 kg

Pengukuran ke	g	g^2
1	7,79	60,6841
2	7,76	60,2176
3	7,73	59,7529

4	7,78	60,5284
5	7,71	59,4441
Σ	38,77	300,6271

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(5)(300,6271) - (38,77)^2}{5(5-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,0226}{20}} = 0,03
 \end{aligned}$$

- untuk massa bandul 1 kg

Pengukuran ke	g	g ²
1	8,04	64,6416
2	8,07	65,1249
3	7,99	63,8401
4	7,97	63,5209
5	8,06	64,9636
Σ	40,13	322,0911

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n g^2 - (\sum_{i=1}^n g)^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(5)(322,0911) - (40,13)^2}{5(5 - 1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0386}{20}} = 0,04$$

Dari serangkaian ralat pengukuran percepatan gravitasi di atas, didapat ketelitian dari alat ini. Ketelitian pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4.8 Ketelitian alat uji bandul fisis

Massa (m) (gr)	Dengan alat uji		secara manual	
	Ketelitian	Std. Deviasi	Ketelitian	Std. Deviasi
50	99,96%	0,005	99,7%	0,1
100	99,95%	0,009	99,8%	0,03
150	99,96%	0,005	99,6%	0,04
Rata-rata	99,96%	0,006	99,7%	0,06

Dari hasil perhitungan ralat percepatan gravitasi pada tabel 4.8 didapatkan nilai ketelitian dan kepresisian pengukuran dengan alat uji sebesar 99,96% dengan nilai standar deviasi 0,006 lebih baik dibandingkan dengan pengukuran secara manual yang nilainya sebesar 99,7% dengan nilai standar deviasi 0,06.