

RANCANG BANGUN STOPWATCH DIGITAL OTOMATIS DENGAN SENSOR CAHAYA UNTUK PELARI

SKRIPSI

MPF 26.36

Wic

r

ARYA SETYANTO WICAKSONO



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2006**



RANCANG BANGUN STOPWATCH DIGITAL OTOMATIS DENGAN SENSOR CAHAYA UNTUK PELARI

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Bidang
Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

Oleh :

ARYA SETYANTO WICAKSONO
089811752

Tanggal Lulus : Februari 2006

Disetujui Oleh :

Pembimbing I



Drs. Muzakki
NIP. 131. 570. 359

Pembimbing II



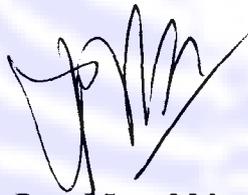
Drs. Adri Supardi, MS.
NIP. 131. 569. 373

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Rancang Bangun Stopwatch Digital Otomatis Dengan Sensor Cahaya Untuk Pelari
Penyusun : Arya Setyanto Wicaksono
NIM : 089811752
Tanggal Ujian : 27 Desember 2005

Disetujui Oleh :

Pembimbing I



Drs. Muzakki
NIP. 131. 570. 359

Pembimbing II



Drs. Adri Supardi, MS.
NIP. 131. 569. 373

Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika

EMIPA Universitas Airlangga



Drs. Pujiyanto, MS
NIP. 131. 756. 001

Bismillahirrahmanirrahim

"Sesungguhnya dalam kisah mereka itu ada 'ibrah (pengajaran) bagi orang-orang yang berakal. Bukanlah Al-Qur'an ini perkabaran yang diada-adakan saja, bahkan Ia membenarkan (kitab) yang dihadapan-Nya dan menerangkan tiap-tiap sesuatu, lagi petunjuk dan rahmat bagi kaum yang beriman"

(Q.S. YUSUF, AYAT 111)

Ya Allah, berilah aku ketetapan hati untuk mensyukuri ni'mat-Mu yang telah Engkau berikan kepadaku dan kepada kedua orang tuaku dan untuk beramal yang baik yang Engkau meridloinya dan masukkanlah aku dengan rahmat-Mu ke dalam golongan hamba-hamba-Mu

(An-Nakhl :19)

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

*Ibunda dan Ayahanda Tercinta
yang telah memberikan do'a, sayang dan kearifan
dalam membimbing ananda*

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga.

Diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepastakaan, tetapi pengutipan harus sejin dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah.

Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga

Arya Setyanto Wicaksono, 2005, **Rancang Bangun Stopwatch Digital dengan Sensor cahaya Untuk Pelari**. Skripsi ini dibawah bimbingan Drs. Muzakki Jurusan Fisika dan Drs. Adri Supardi, MSc Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Airlangga.

ABSTRAK

Telah dibuat Rancang Bangun Stopwatch Digital Otomatis Dengan Sensor Cahaya Untuk Pelari. Yang mendasari penelitian ini adalah belum adanya alat yang dapat membantu mengukur waktu pelari cepat dalam suatu latihan secara tepat, karena pengaktifan dan penghentian penghitungan waktu stopwatch konvensional masih dilakukan secara manual.

Metode elektronik yang digunakan dalam pengaktifan pencacahan adalah dengan menggunakan LDR sebagai sensor dan LED-7 Segmen sebagai display alat menampilkan cacahan waktu dengan orde 10^{-4} detik.

Berdasarkan data statistik yaitu uji-t dapat dibuktikan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata waktu tempuh kedua benda yang mempunyai massa yang berbeda untuk jarak tempuh tertentu. Dari hasil eksperimen juga diperoleh hasil bahwa alat ini mampu mengukur catatan waktu pelari lebih tepat jika dibandingkan dengan menggunakan stopwatch konvensional.

Kata kunci : ketepatan, LDR.

Arya Setyanto Wicaksono, 2005, **Form Project Of Otomatics Digital Stopwatch With Light Sensor For Runner**. This Skripsi is under guide of Drs. Muzakki Majoring in Physics and Drs. Adri Supardi, MSc Majoring in Physics, Faculty of Mathematic and Science, Airlangga University.

ABSTRACT

Have been made Form Project of Digital Otomatics Stopwatch With Light Sensor For Runner. This project based on there is no other equipment yet which can help to count the runner time in an exercise exactly.

An electronics Methode which use in this count activate is by using LDR as sensor and LED-7 Segment as equipment display which is display time count with orde 10^{-4} sekon.

According to Statistic data by using T-test, it can proof that there is no realy difference through time between two ball which have difference mass for certainly trough time. From experiment result can conclude to that this equipment is able to count runner time with more exactly than convensional stopwatch.

Kata kunci : ketepatan, LDR.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah menyertai penulis dalam setiap tarikan nafas penulis dan Berkat karunia-Nya pulalah penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Rancang Bangun Stopwatch Digital Otomatis Dengan Sensor Cahaya Untuk Memantau Catatan Waktu Pelari” sebagai salah satu persyaratan kelulusan study penulis.

Dalam kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan terima kasih Kepada Para Dosen Fisika FMIPA Unair, khususnya untuk:

1. Drs. Muzakki sebagai Dosen Pembimbing I atas bimbingan, motivasi serta wahana bagi penulis untuk lebih mengenal bidang minat elektronika lewat kegiatan-kegiatan temu ilmiah dan ikut aktif dalam kegiatan **INTRO Lab Instrumentasi Elektronika Fakultas MIPA Universitas Airlangga Surabaya**.
2. Drs. Adri Supardi, MSc sebagai Dosen Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan motivasinya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini sesuai pada waktu yang telah direncanakan.
3. Ibu dan Ayah tercinta atas curahan do'a dan kasih sayangnya kepada penulis yang tiada batas. Mas Firman dan Mas Icung atas dukungannya baik secara moril maupun materiil sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan.
4. All my best friends that I ever had in Instrumental LAB & Also Biofis LAB : Aris, Siban, Anto OSI, Iren OSI, Brigita OSI, Fanny OSI, Ella OSI, Sri, Lely, Lucy, Widya OSI, my partner Bambang, special to my friend Buyung, Agus, Chamim & Babung **“Don't give up Bro”**..

5. Special Thanks to Sahabat-Sahabatku : Aang, Tedy Bear (Badut), My Very Spesial Friend Widya UKSW Semarang, Sincan FH UA, Didy STIESIA, Ari Kacung D3 FE UA, “Adeku” Dilla FK UA’04 yang baik banget, Nadia FK UA’04, Novi UNESA, Upi’ UBAYA’04, my sweet heart Mila Farmasi UA’02 atas kasihnya, dukungan, dan pengertiannya yang tak henti-henti kepada penulis dan juga teman-teman Tiger Club Surabaya buat supportnya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih banyak kekurangan yang perlu dibenahi. Sesungguhnya kebenaran itu hanyalah milik Allah SWT, oleh karena itu saran dan masukan dari berbagai pihak sangat diharapkan dalam penyempurnaan Skripsi ini.

Surabaya, 18 Juni 2003

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Abstrak.....	i
Abstract.....	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Batasan Masalah	3
1.3. Rumusan Penelitian.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Gerak Lurus Beraturan.....	5
2.2. Gerak Jatuh Bebas.....	6
2.3. Stopwatch Digital Otomatis Peka Cahaya.....	7
2.3.1. Sumber Cahaya	9
2.3.2. Saklar Elektronik.....	9
2.3.3. Pengatur Gate	10
2.3.4. Rangkaian Latch R-S	11
2.3.5. Rangkaian Osilator Kristal.....	13

	2.3.6. Rangkaian Pembagi Frekuensi.....	14
	2.3.7. Rangkaian Peraga Desimal	14
	METODE PENELITIAN.....	17
BAB III	3.1. Tempat Penelitian	17
	3.2. Alat dan Bahan Penelitian	17
	3.2.1. Alat Penelitian	17
	3.2.2. Bahan Penelitian	17
	3.3. Prosedur Penelitian	18
	3.3.1. Tahap Perakitan Alat	18
	3.3.2. Prosedur pengkalibrasian.....	21
	3.3.2.1. Persiapan Bahan Kalibrasi.....	21
	3.3.2.2. Persiapan Stopwatch Digital.....	22
	3.3.2.3. Pengukuran Waktu Tempuh Gerak Jatuh Bebas	23
	3.3.3. Data Hasil Kalibrasi.....	25
	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
BAB IV	4.1. Hasil Pengukuran.....	26
	4.2. Pembahasan.....	31
	KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
BAB V	5.1. Kesimpulan.....	33
	5.2. Saran.....	34
	DAFTAR PUSTAKA	35
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

<u>Nomor</u>	<u>Judul Tabel</u>	<u>Halaman</u>
2.1.	Tabel Kebenaran Rangkaian Pengatur Gate.....	11
2.2.	Tabel Kebenaran Rangkaian Latch R-S.....	12
2.3.	Tabel Kebenaran IC CD 4026.....	15
3.1.	Tabel Data Pengukuran Diameter kedua bahan uji.....	21
4.1.	Tabel Hasil Perhitungan Waktu Tempuh Rata-rata Kedua Bola Uji Pada Sensor 1.....	26
4.2.	Tabel Hasil Perhitungan Waktu Tempuh Rata-rata Kedua Bola Uji Pada Sensor 2.....	27
4.3.	Tabel Hasil Perhitungan Waktu Tempuh Rata-rata Kedua Bola Uji Pada Sensor 3.....	27
4.4.	Tabel Hasil Perhitungan Waktu Tempuh Rata-rata Kedua Bola Uji Pada Sensor 4.....	28
4.5.	Tabel nilai t_{12} Untuk Beberapa Jarak Tempuh.....	
4.6.	Tabel Nilai Rata-rata Hasil Kalibrasi Stopwatch Digital Dengan Stopwatch Konvensional Sebagai Pembanding.....	29 30

DAFTAR GAMBAR

<u>Nomor</u>	<u>Judul Gambar</u>	<u>Halaman</u>
2.1.	Diagram Blok Stopwatch Digital Otomatis Peka Cahaya	8
2.2.	Gambar Rangkaian Saklar Elektronik.....	10
2.3.	Gambar Rangkaian Latch R – S.....	12
2.4.	Gambar Rangkaian Osilator 4 MHz.....	13
2.5.	Gambar Rangkaian Pembagi 400.....	14
2.6.	Gambar Rangkaian Pencacah Peraga 7 – Segmen.....	17
3.1.	Gambar Tata Jalur dan Tata Letak Komponen Elektronika Rangkaian Pengatur Gate dan Rangkaian Pencacah Desimal.....	18
3.2.	Gambar Tata Jalur dan Tata Letak Komponen Elektronika Rangkaian Oscilator dan Rangkaian Pembagi Frekuensi.....	19
3.3.	Gambar Tata Jalur dan Tata Letak Komponen Elektronika Rangkaian Peraga 7-Segmen.....	19
3.4.	Gambar Tata Jalur dan Tata Letak Komponen Elektronika Rangkaian Catu Daya.....	20
3.5.	Gambar Hasil Rakitan Rancang Bangun Stopwatch Digital Dengan Sensor Cahaya Untuk Pelari.....	20
3.6.	Rancangan Percobaan Gerak Jatuh Bebas Dengan Menggunakan Stopwatch Digital Dengan Sensor Cahaya dan Stopwatch Konvensional Sebagai Pembanding.....	24

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam bidang Atletik Khususnya pada cabang lari jarak pendek, alat pengukur waktu sangat besar peranannya. Selama ini pengukur waktu yang digunakan masih merupakan pengukur waktu konvensional yaitu dengan *stopwatch* konvensional baik yang menggunakan tampilan digital maupun analog. Dalam pengoperasiannya *stopwatch* konvensional sangat membutuhkan kecermatan pemakainya dalam menentukan saat awal dan akhir pencatatan waktu. Karena kecepatan reaksi manusia pada umumnya memiliki orde 10 ms, maka *stopwatch* konvensional paling baik adalah *stopwatch* yang mempunyai ketelitian 10 ms. Sedangkan *Stopwatch* konvensional jarang sekali yang memiliki ketelitian 10 ms.

Dalam bidang atletik terutama lari jarak pendek dibutuhkan pengukuran waktu dengan ketelitian lebih kecil dari 10 ms dan ketepatan menentukan awal dan akhir pengukuran waktu. Misalkan saja dalam suatu latihan, rekor catatan waktu seorang atlit lari jarak pendek terjadi kesamaan antara rekor yang pertama dan yang kedua, hal ini dimungkinkan karena kurang tepatan pencatat waktu dalam menghentikan cacahan waktu *stopwatch*.

Dalam suatu latihan, selama ini seorang pelatih hanya mengetahui waktu yang dicapai seorang pelari mencapai garis finish dengan *stopwatch* konvensional dengan pengaktifan start dan stop secara manual, padahal dalam suatu latihan

intensif perlu juga diketahui oleh seorang pelatih kemampuan pelari meningkatkan akselerasinya. Hal ini dapat dilihat berapa lama pelari mampu menyelesaikan 30 meter pertama, kemudian berapa detik pelari mampu mencapai 40 m selanjutnya sebagai tahap ketahanan seorang pelari, dan berapa detik pelari mampu mencapai garis finish pada 30 m akhir yang merupakan tahap akselerasi akhir dari kecepatan berlari seorang pelari 100 m. Dengan adanya pembagian tahap-tahap tersebut diharapkan pelatih mampu untuk menentukan latihan apa yang cocok untuk seorang pelari, sehingga nantinya didapatkan hasil latihan yang maksimal.

Untuk membuat pengukur waktu yang lebih teliti dan menghasilkan data yang presisi, dibutuhkan perangkat yang dapat mengatur saat awal dan akhir pengamatan secara otomatis, dalam hal ini rangkaian osilator sebagai pewaktu dasar yang memiliki periode kecil, sesuai dengan ketelitian waktu yang dibutuhkan. Sarana otomatisasi dalam stopwatch digital otomatis ini menggunakan sensor peka cahaya yang berfungsi sebagai saklar elektronik yang secara otomatis bekerja untuk menentukan saat awal dan akhir pengukuran waktu secara presisi.

Dengan menggunakan pencacah dan peraga digital diharapkan dapat mempermudah pembacaan hasil pengukuran. Dan dengan stopwatch digital otomatis peka cahaya diharapkan dapat meningkatkan kualitas hasil pengukuran waktu, dengan orde ketelitian yang relatif kecil dan ketepatan pencatatan waktu awal dan akhir, maka prestasi catatan waktu pelari dapat diketahui secara lebih baik.

I.2 Batasan Masalah

1. Sumber cahaya yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laser Pointer, dengan LDR sebagai detektor cahaya.

I.3 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas perlu dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Dapatkah Stopwatch digital otomatis dengan sensor cahaya digunakan dalam pengamatan gerak jatuh bebas?
2. Adakah perbedaan nyata waktu tempuh gerak jatuh bebas bola pingpong dan bola bekel, dimana keduanya mempunyai massa yang berbeda?
3. Adakah perbedaan antara pengukuran catatan waktu gerak jatuh bebas dengan stopwatch konvensional dan pengukuran waktu tempuh gerak benda jatuh bebas dengan alat ini?

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat pengukur waktu digital yang mampu bekerja secara Otomatis dengan sensor cahaya. Alat ukur yang dibuat diharapkan dapat digunakan untuk mengukur waktu tempuh seorang pelari jarak pendek dengan hasil yang lebih tepat dan akurat, dalam pembuatannya diusahakan menggunakan komponen yang ada dipasaran lokal, sehingga diharapkan dapat menekan biaya yang dibutuhkan dalam pembuatannya.

Karena alat ini bersifat digital otomatis diharapkan dapat memudahkan siapa saja untuk mengetahui sampai dimana peningkatan prestasi catatan waktu

yang mampu diraih oleh seseorang yang sedang mengikuti pola latihan lari jarak pendek dari seorang pelatih.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Hasil penelitian ini berupa *prototype Stopwatch Digital Otomatis dengan sensor cahaya* yang dapat digunakan untuk mengukur waktu tempuh dalam latihan pelari jarak pendek dengan orde ketelitian yang sangat tinggi.
2. Alat ini dapat mengurangi faktor kesalahan akibat *human error*. Dengan demikian *Prototype Stopwatch* ini diharapkan dapat meningkatkan ketepatan hasil pencatatan waktu seorang pelari dengan catatan waktu yang akurat, khususnya pada cabang lari jarak pendek yang sangat membutuhkan pengukuran waktu dengan ketelitian yang tinggi.
3. Diharapkan dengan adanya alat ini seorang pelatih dapat memaksimalkan pola latihan dengan memberikan latihan yang cocok bagi seorang atlet dengan adanya partisi data menjadi beberapa tahap.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gerak Lurus Beraturan (Gerak Dengan Percepatan Konstan)

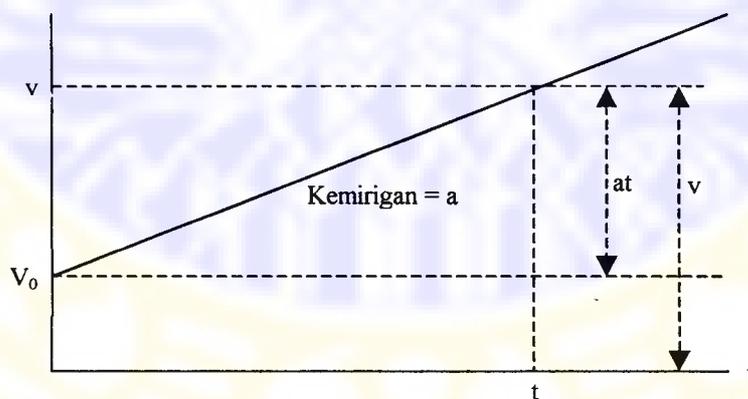
Untuk gerak dengan percepatan konstan, percepatan rata-rata dalam sembarang selang waktu selalu sama dengan kecepatan sesaat a (konstan). Misalkan saja $t_1 = 0$ dan t_2 adalah sembarang waktu t . Misalkan juga v_0 adalah kecepatan pada saat $t = 0$ dan v_t adalah kecepatan pada sembarang saat t . Dengan batasan ini kita dapatkan persamaan :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - 0} \quad (2.1)$$

atau

$$v = v_0 + at \quad (2.2)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa kecepatan v pada saat t adalah jumlah dari harganya pada saat $t = 0$, yaitu v_0 , dengan perubahan kecepatan selama selang waktu t , yaitu at .



Kecepatan v naik secara seragam menurut $v = v_0 + at$. Kemiringannya konstan dan setiap saat harganya sama dengan percepatannya a ($= dv/dt$).

Jika kecepatan v berubah secara seragam terhadap waktu, harga rata-ratanya dalam selang waktu sama dengan setengah jumlah harga v pada saat awal dan akhir selang. Jadi harga kecepatan rata-rata \bar{v} antara $t = 0$ dan $t = t$ dapat dituliskan sebagai berikut

$$\bar{v} = 1/2(v_0 + v) \quad (2.3)$$

Jika posisi partikel pada $t = 0$ adalah x_0 , maka posisi x pada saat $t = t$ adalah :

$$X = X_0 + \bar{v}t \quad (2.4)$$

dan jika digabungkan akan didapat :

$$X = X_0 + 1/2(v_0 + v)t \quad (2.5)$$

2.2 Gerak Jatuh Bebas

Suatu benda dikatakan mengalami gerak jatuh bebas, apabila benda tersebut dilepaskan pada suatu ketinggian tertentu terhadap tanah, tanpa kecepatan awal. Benda akan jatuh ke bumi (tanah) karena benda tersebut mendapat percepatan gravitasi bumi yang arahnya selalu menuju ke pusat bumi. Percepatan gravitasi bumi diberi notasi g . Besarnya percepatan gravitasi bumi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak terhadap pusat bumi.

Besarnya kecepatan benda setelah t sekon adalah :

$$V_t = V_0 + g t \quad (2.1)$$

Dan jarak yang ditempuh benda setelah t sekon adalah :

$$S_t = V_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.2)$$

Bila gesekan dengan udara diabaikan, maka waktu yang dibutuhkan suatu benda yang mengalami gerak jatuh bebas pada jarak tertentu yang sama

mengalami percepatan yang sama, tidak bergantung pada massa benda, ukuran ataupun susunan benda. Dan jika jarak tempuhnya tidak terlalu besar maka dapat dianggap percepatannya konstan. (Sears, 1980)

2.3 Stopwatch Digital Otomatis Peka Cahaya

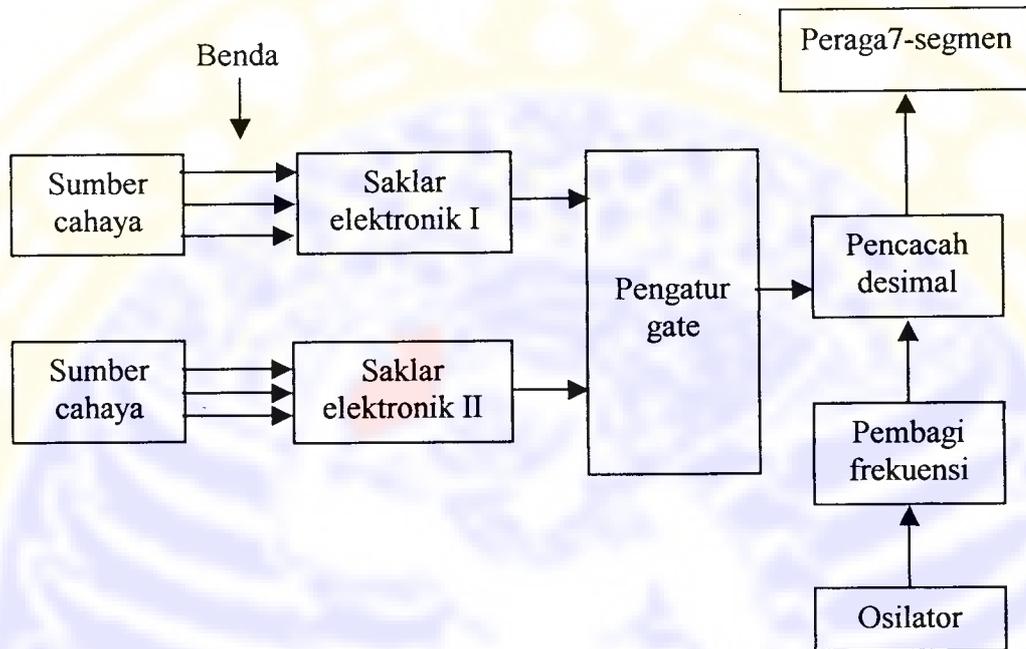
Untuk mengukur kecepatan rata-rata suatu benda bergerak dapat dilakukan dengan mengukur jarak dan waktu tempuhnya. Kesalahan pengukuran waktu sangat bergantung pada ketelitian alat yang digunakan. Adapun kesalahan pengukuran waktu tempuh selain bergantung pada ketelitian alat juga bergantung pada kecermatan pengamat dalam menentukan saat awal dan akhir pengukuran.

Untuk meningkatkan hasil pengukuran waktu tempuh benda dapat dilakukan dengan membuat pencatat waktu dengan ketelitian yang memadai dan sarana otomatisasi saat awal dan akhir pengukuran. Penentuan awal dan akhir secara otomatis dengan menggunakan dua buah saklar elektronik terkendali cahaya infra merah. Aktifnya saklar elektronik pertama merupakan penentu awal cacahan dan aktifnya saklar elektronik kedua merupakan penentu akhir cacahan.

Prinsip kerja saklar elektronik adalah sebagai pendeteksi intensitas cahaya. Bila intensitas cahaya kurang dari intensitas ambang maka saklar elektronik akan berada pada keadaan aktif, sebaliknya bila intensitas cahaya lebih besar dari intensitas ambang akan mengakibatkan keluaran saklar elektronik berada pada keadaan pasif. Maka saklar elektronik akan berada pada keadaan aktif bila penghalang pada posisi saklar elektronik tersebut. (Schuler, 1988). Adapun

diagram blok Stopwatch digital dengan sensor cahaya ditunjukkan pada gambar

2.1.



Gambar 2.1 : Diagram blok Stopwatch Digital Otomatis Dengan sensor cahaya

2.3.1 Sumber cahaya

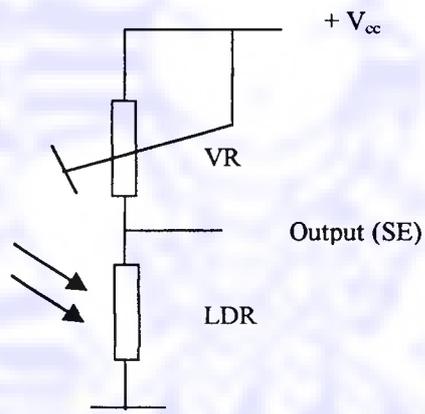
Sebagai sumber cahaya digunakan Laser pointer pemancar infra merah yang intensitasnya tajam dan jarak jangkauannya jauh yaitu sekitar 15 m, cahaya tersebut dilewatkan celah kolimator yang terdapat pada detektor cahaya agar tidak terganggu oleh cahaya luar.

agar dapat dihasilkan berkas cahaya yang relatif tajam.

Untuk mengaktifkan Laser pointer tersebut dibutuhkan catu daya dengan tegangan sekitar 4,5 V dan arus listrik sekitar 5 mA. (Millman-Halkias, 1972).

2.3.2 Saklar elektronik (Sensor)

Komponen utama yang berfungsi sebagai saklar elektronik adalah sensor cahaya. Sebagai sensor cahaya digunakan LDR bekerja dengan memanfaatkan perubahan intensitas cahaya untuk merubah nilai resistansinya. Bila LDR dikenai cahaya dengan intensitas lebih kecil dari intensitas ambangnya maka nilai resistansinya akan mengecil dan dengan demikian saklar pada keadaan aktif atau berlevel 1, dan bila intensitas cahaya yang masuk lebih besar dari nilai intensitas ambangnya maka nilai resistansinya akan membesar dan saklar elektronik ada pada keadaan pasif atau berlevel 0. Rangkaian saklar elektronik ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 : Rangkaian saklar elektronik (sensor)

Dengan memasang sensor cahaya didepan sumber cahaya infra merah maka dalam keadaan normal saklar elektronik adalah pasif. Bila terdapat penghalang antara sumber cahaya dan sensor cahaya akan mengakibatkan keluaran saklar elektronik menjadi aktif.

2.3.3 Pengatur gate

Rangkaian pengatur gate berfungsi sebagai penentu lebar pintu cacah yang menggambarkan waktu tempuh benda dari posisi sensor-1 ke sensor-2. Rangkaian pengatur gate memiliki dua buah masukan dan satu keluaran. Kedua masukan tersebut dihubungkan dengan kedua keluaran saklar elektronik (SE-1 dan SE-2), sedangkan keluarannya dihubungkan dengan rangkaian pencacah.

Ketika benda berada pada posisi sensor-1 akan mengakibatkan sensor 1 (LDR-1) dalam keadaan gelap dan sensor-2 (LDR-2) terang, sehingga keluaran sensor-1 (SE-1) berlevel 1 dan sensor-2 (SE-2) berada pada level 0. Pada keadaan demikian keluaran pengatur gate harus mengaktifkan pencacah. Setelah benda berada pada posisi antara LDR-1 dan LDR-2 atau SE-1 dan SE-2 berlevel 0, pencacah harus tetap aktif. Selanjutnya ketika benda pada posisi LDR-2 maka SE-1 berlevel 0 dan SE-2 berlevel 1. Pada kondisi demikian pencacah harus pasif.

Keluaran pengatur gate dihubungkan dengan rangkaian pencacah yang melakukan pencacahan bila pengatur gate berlevel nol. Untuk mempermudah perancangan rangkaian pengatur gate maka diperlukan tabel kebenaran rangkaian pengatur gate seperti ditunjukkan oleh tabel 2.1.

Tabel 2.1 : Tabel Kebenaran Rangkaian Pengatur Gate.

LDR ₁	LDR ₂	SE ₁	SE ₂	O
T	T	0	0	1
G	T	1	0	0
T	T	0	0	0
T	G	0	1	1
T	T	0	0	1

Tabel kebenaran rangkaian pengatur gate ini sesuai dengan tabel kebenaran rangkaian Latch R-S.

2.3.4 Rangkaian latch R-S

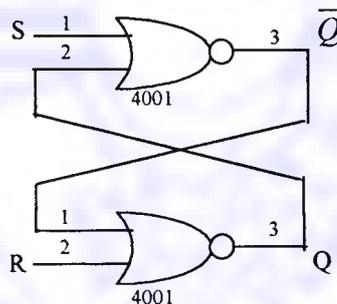
Latch R-S mempunyai dua buah masukan (S dan R) dan dua buah keadaan keluaran yang komplementer (Q dan \bar{Q}), kecuali untuk keadaan masukan $S=R=1$. Kombinasi keadaan masukan $S=R=1$ disebut sebagai keadaan terlarang, karena pada keadaan demikian kedua keluarannya tidak komplementer. Gambar rangkaian latch R-S dapat dilihat pada gambar 2.3.

Masukan S dan R dalam rangkaian latch R-S disebut masukan set dan reset. Bila masukan set aktif ($S=1$) dan masukan reset pasif ($R=0$) maka latch dalam keadaan set atau preset ($Q_{n+1} = 1$ dan $\bar{Q}_{n+1} = 0$). Sedangkan pada keadaan set pasif dan reset aktif maka latch dalam keadaan reset atau clear ($Q_{n+1} = 0$ dan $\bar{Q}_{n+1} = 1$). Adapun tabel kebenaran Latch R-S ditunjukkan oleh tabel 2.2.

Tabel 2.2 : Tabel kebenaran Latch R - S

S	R	Q_{n+1}	\overline{Q}_{n+1}	Keadaan Latch
0	0	Q_n	\overline{Q}_n	Ingatan / Memori
0	1	0	1	Reset / Clear
1	0	1	0	Set / Preset
1	1	0	0	Terlarang

(Schuler, 1988)

 Q_n = keadaan sebelumnya Q_{n+1} = Keadaan sekarang

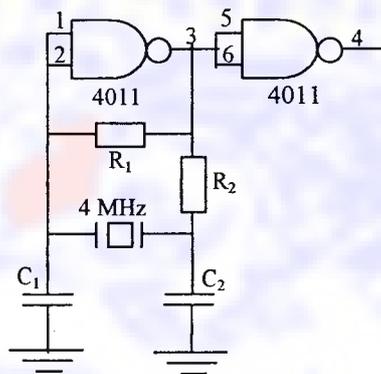
Gambar 2.3 : Rangkaian latch R - S (Schuler, 1988)

2.3.5 Rangkaian osilator kristal

Rangkaian osilator merupakan penentu waktu dasar, oleh karena itu dituntut mempunyai kestabilan dan ketelitian tinggi. Karena frekuensi yang dihasilkan osilator harus memiliki nilai yang stabil, maka digunakan osilator kristal yang frekuensi isyarat keluarannya dikontrol oleh kristal. Frekuensi yang

dikontrol oleh kristal *piezoelectric* lebih stabil dibanding kapasitor biasa. Osilator kristal dibuat dari dua buah pintu logika Nand. (Millman-Halkias, 1972).

Osilator kristal dibuat dari dua buah pintu logika Nand yang rangkaianannya ditunjukkan oleh gambar 2.4.



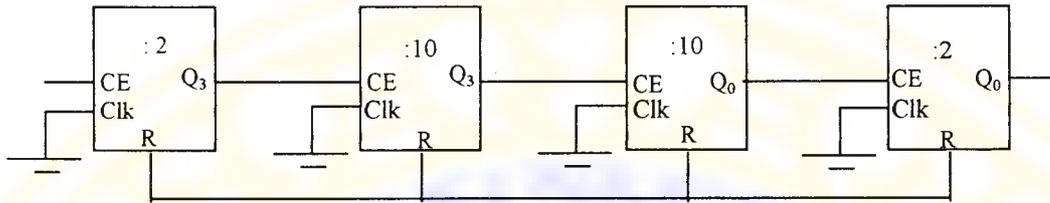
Gambar 2.4 : Gambar rangkaian osilator kristal 4 MHz

(Milman-Halkias, 1972)

2.3.6 Rangkaian pembagi frekuensi

Sebagai pulsa cacahan dengan periode sebesar 0,1 ms atau frekuensi 10 kHz dapat diperoleh dari hasil pembagian pulsa keluaran osilator kristal 4 MHz dengan faktor pembagi 400. Untuk itu dibutuhkan rangkaian pembagi 400.

Rangkaian pembagi 400 terdiri dari dua buah rangkaian pembagi 10 dan sebuah rangkaian pembagi 4. Adapun sebagai pembagi 10 dapat digunakan $\frac{1}{2}$ IC CD 4518 sedang untuk rangkaian pembagi 4 digunakan $\frac{1}{2}$ IC CD 4520. Adapun rangkaian pembagi 400 ditunjukkan oleh gambar 2.5.



Gambar 2.5 : Rangkaian pembagi 400

2.3.7 Rangkaian pencacah dan peraga 7-segmen

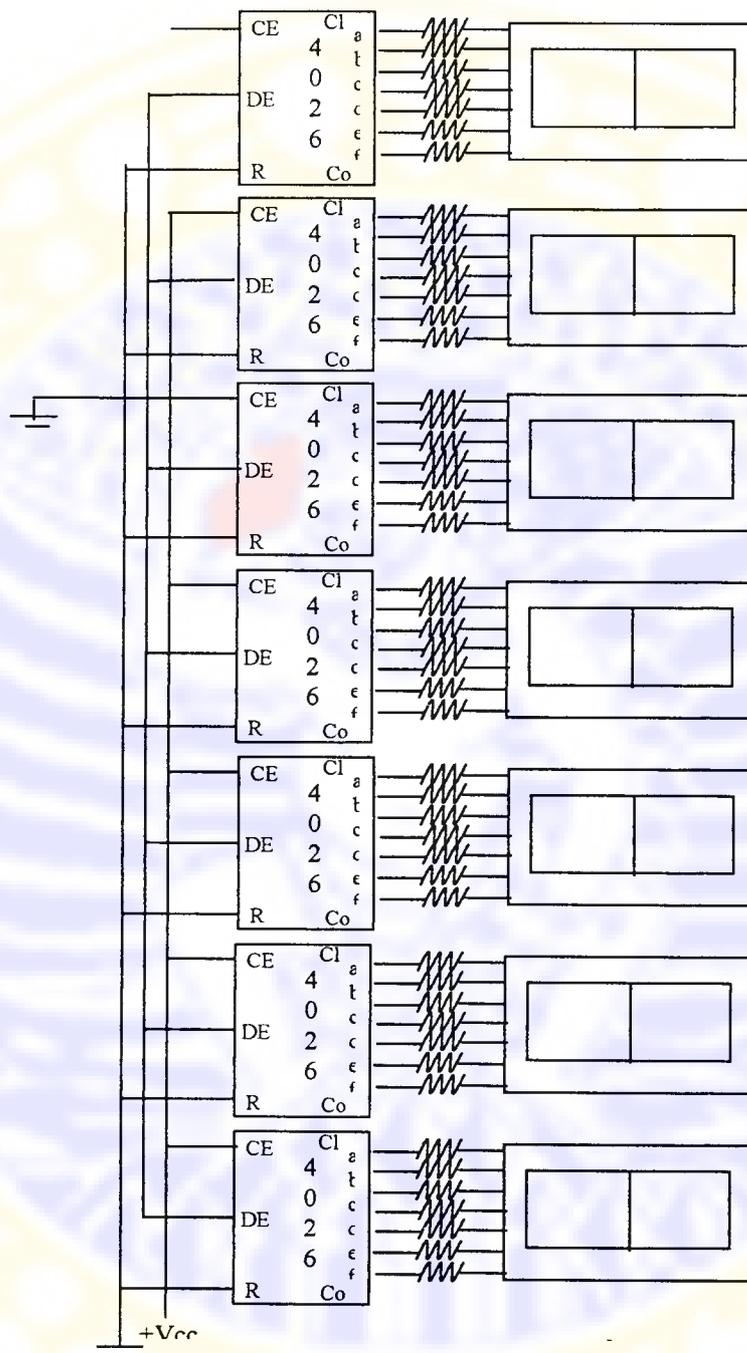
Rangkaian pencacah dan peraga 7-segmen terdiri atas 7 buah peraga 7-segmen Katoda bersama (*Common Cathode*), dan 7 buah IC (*Decode Counter With 7-segmen Decoded Output*). Peraga 7-segmen katoda bersama akan menyala bila masukan *display enable (DE)* berlevel-1.

Tabel 2.3 : Tabel Kebenaran IC CD 4026

R	DE	Clk	CE	KEADAAN	
				PENCACAHAN	PERAGA 7 - SEGMENT
1	X	x	X	Reset	-
x	0	x	x	-	Mati
0	1	0	0	Tidak	Hidup
0	1	0	1	Tidak	Hidup
0	1	1	0	Tidak	Hidup
0	1	1	1	Tidak	Hidup
0	1		0	Ya	Hidup
0	1		1	Tidak	Hidup

(Landcaster, 1976)

Sebagai pengatur lebar pintu cacah adalah masukan *clock enable (CE)* yang dihubungkan dengan keluaran rangkaian pengatur gate. Pintu cacah akan terbuka bila masukan CE berlevel-0. Pulsa yang dicacah merupakan keluaran rangkaian osilator yang disuapkan pada masukan clock (Clk). Masukan Clk bersifat trigger sisi positif. Antara masukan Clock dan CE bersifat komplementer. Pencacah (*counter*) akan mencacah melalui masukan clock bila CE berada pada level 0 atau melalui masukan CE bila Clk=1. Masukan Clk bersifat trigger sisi positif sedangkan CE bersifat trigger sisi negatif. (Lancaster, 1976). Peraga 7-segmen menampilkan hasil cacahan dalam bentuk angka desimal. Angka desimal yang ditampilkan adalah 7 digit, yakni angka ratusan hingga persepuluh-ribuan. Untuk menyalakan tanda titik digunakan resistor yang menghubungkan titik h 7-segmen digit satuan dengan catu daya positif (V_{cc}) melalui sebuah resistor.



Gambar 2.6 : Rangkaian pencacah peraga 7 Segmen

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat penelitian

Perancangan alat dan pengujian alat dilakukan di laboratorium Instrumentasi Elektronika jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga Surabaya.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

- a. 4 Buah laser pointer
- b. Rangkaian saklar elektronik
- c. Rangkaian pengatur gate
- d. Peraga 7-segmen
- e. Rangkaian pencacah desimal
- f. Rangkaian pembagi frekuensi
- g. Rangkaian osilator
- h. Dua buah statif penyangga sensor.
- i. Stopwatch konvensional sebagai pembanding

2. Bahan Penelitian

Bola pingpong dan bola bekel sebagai bahan uji.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Tahap Perakitan Alat

Rangkaian elektronika *Stopwatch* Digital Otomatis dengan Sensor

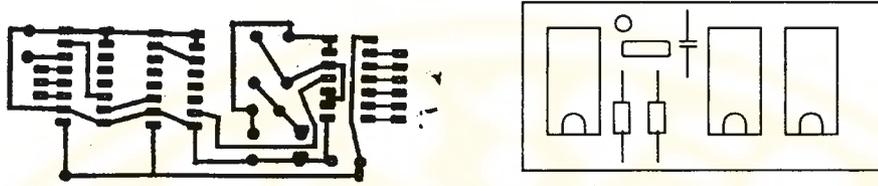
Cahaya terdiri dari komponen-komponen elektronika yang dirangkai dalam blok-blok yang telah dijelaskan secara rinci pada BAB II yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Tata-jalur rangkaian dirancang sesuai dengan rangkaian elektronika *Stopwatch* Digital Otomatis Dengan Sensor Cahaya dan tata letak komponen elektronika pembentuknya. Rangkaian ini sengaja dibuat dalam empat buah papan tercetak (*Printed Circuit Board*) atau PCB agar lebih praktis, yang terdiri dari:

1. PCB 1 : yang terdiri dari Rangkaian Saklar Elektronik, Pengatur Gate dan Pencacah Desimal.
2. PCB 2 : yang terdiri dari Rangkaian Osilator, dan Pembagi Frekuensi.
3. PCB 3 : yang terdiri Peraga 7 segmen
4. PCB 4 : yaitu Rangkaian Catu Daya.

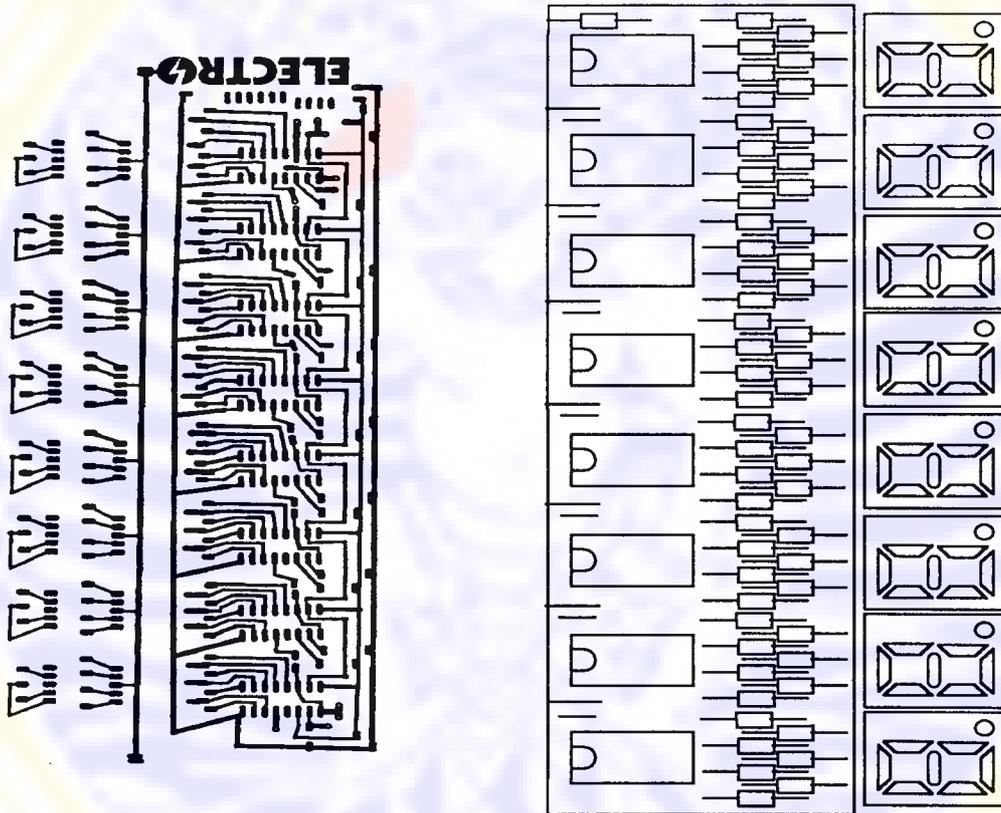
Tata jalur dan tata letak komponen elektronika masing-masing PCB ditunjukkan pada gambar 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.



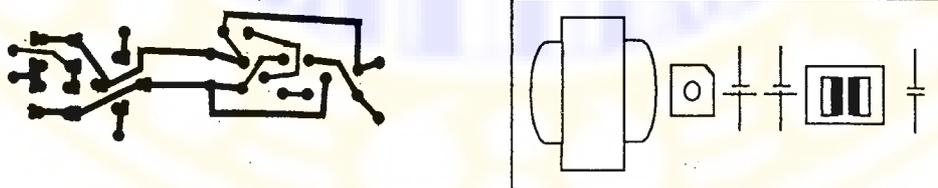
Gambar 3.1 Tata jalur dan tata letak komponen rangkaian saklar elektronik, pengatur gate dan pencacah desimal.



Gambar 3.2 Tata jalur dan tata letak komponen rangkaian osilator, dan pembagi frekuensi.



Gambar 3.3 Tata jalur dan tata letak komponen rangkaian display.



Gambar 3.4 Tata jalur dan tata letak komponen rangkaian catu daya

Sebagai penghubung antar PCB digunakan kabel aneka warna untuk memudahkan pemeriksaan bila ada gangguan pada masing-masing rakitan. Dan sebagai penghubung rakitan tersebut dengan sensor digunakan terminal dengan soket RCA. Selain dikendalikan secara otomatis dengan sensor cahaya alat ini secara manual. Hal ini dimungkinkan dengan disediakannya saklar pengendali start, stop dan reset.

Hasil rakitan rangkaian Stopwatch Digital dengan Sensor Cahaya dikemas dalam satu kotak seperti ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rancang Bangun Stopwatch Digital Dengan Sensor Cahaya Untuk Pelari.

3.3.2 Prosedur Pengkalibrasian Alat

Untuk mengkalibrasi alat dilakukan pengukuran waktu tempuh dua buah benda yang bergerak jatuh bebas dalam pengaruh medan gravitasi bumi dalam suatu lintasan dan jarak tertentu. Kedua benda memiliki bentuk dan ukuran yang sama tetapi dengan massa yang berbeda.

3.3.2.1 Persiapan bahan kalibrasi

Benda yang digunakan untuk pengambilan data kalibrasi diusahakan seminimal mungkin mendapat gaya gesek udara, sehingga gerak benda dapat dianggap hanya dibawah pengaruh gaya gravitasi bumi saja. Untuk mengurangi gaya gesek udara dipilih permukaan bola.

Benda uji berupa benda dengan permukaan bola terdiri dari dua buah bola, masing-masing bola bekel dari bahan karet dan bola pingpong dari bahan plastik. Kedua bola memiliki ukuran seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 : Data hasil pengukuran kedua bahan uji

Bahan Uji	Bola bekel	Bola pingpong
Diameter	40 ± 0.05 mm	35 ± 0.05 mm

Benda uji yang bergerak jatuh bebas memiliki lintasan tertentu. Dengan memasang dua sensor cahaya pada lintasan tersebut dengan jarak tertentu diharapkan dapat diketahui waktu tempuh benda. Posisi sensor pertama harus diatur sedekat mungkin dengan posisi awal benda, sehingga dapat dijamin benda bergerak dengan tanpa kecepatan awal.

3.3.2.2 Persiapan Stopwatch Digital

Langkah awal yang dilakukan adalah memasang kedua sensor dan sumber cahaya pada posisi yang telah ditentukan, yakni dengan jarak masing-masing 5 cm. Langkah selanjutnya adalah menghubungkan kedua sensor dengan terminal start dan stop pada panel belakang Stopwatch Digital.

Setelah kedua sensor terpasang dilakukan pengujian cara kerja Stopwatch Digital, yaitu dengan menekan tombol start yang merupakan awal pencacahan waktu. Cacahan akan berjalan terus walau tombol start sudah dilepas. Dengan menekan tombol stop maka cacahan akan berhenti dan peraga desimal akan tetap menunjuk pada angka yang ditampilkan saat pertama kalinya tombol stop ditekan. Tampilan angka desimal tidak akan berubah walaupun tombol stop telah dilepas. Tampilan tersebut akan kembali pada kondisi awal jika tombol reset ditekan.

Setelah dipastikan bahwa stopwatch digital dapat bekerja dengan baik, langkah selanjutnya adalah menguji rangkaian pengendali Stopwatch Digital berupa sensor-sensor cahaya. Sensor-sensor cahaya akan aktif apabila penghalang pada posisi sensor tersebut.

Adapun langkah pengujian rangkaian Stopwatch Digital diawali dengan memastikan bahwa pada kondisi awal peraga desimal menunjuk angka 0000.0000. Selanjutnya dengan meletakkan penghalang pada posisi sensor pertama yang dihubungkan dengan terminal start akan mengakibatkan Stopwatch mulai mencacah. Cacahan akan tetap berjalan walaupun penghalang telah lewat dari posisi sensor pertama. Cacahan akan berhenti jika penghalang pada posisi sensor

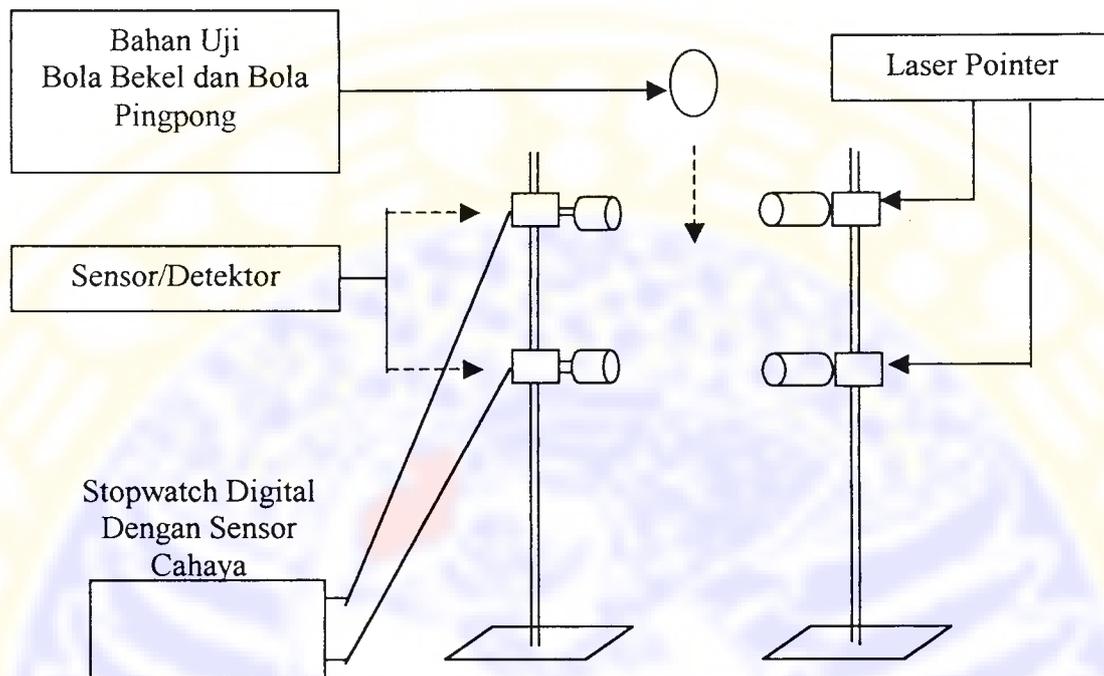
yang kedua yang menghubungkan dengan terminal stop. Angka akhir yang ditempatkan pada peraga desimal menunjukkan waktu

3.3.2.3 Pengukuran Waktu Tempuh Benda Jatuh Bebas

Setelah benda uji dan stopwatch digital siap digunakan, langkah selanjutnya adalah pengukuran waktu tempuh gerak jatuh bebas. Kedua sensor dipasang pada posisi tertentu dengan jarak antar keduanya 5 cm. Untuk menjaga agar kecepatan awal benda mendekati nol, posisi awal benda harus diusahakan sebisa mungkin mendekati sensor pertama. Setelah benda benar-benar berada pada posisi yang dikehendaki benda dilepas dan pengukuran waktu tempuh dimulai. Dilakukan pengulangan pengambilan data untuk posisi tersebut sebanyak 15 kali pengulangan.

Untuk mendapatkan hubungan antara waktu tempuh dan jarak dilakukan pengukuran terhadap jarak yang berbeda. Dalam penelitian ini variasi jarak tempuh yang dilakukan adalah mulai 5 cm hingga 20 cm dengan interval jarak 5 cm.





Gambar 3.6 Rancangan percobaan gerak jatuh bebas dengan menggunakan Stopwatch Digital Dengan Sensor Cahaya Untuk Pelari dan stopwatch konvensional sebagai pembanding.

Sebagai Uji Kedua maka dilakukan pengukuran secara manual yaitu dengan stopwatch konvensional, dibandingkan dengan pengukuran dengan stopwatch digital dengan sensor cahaya. Dengan anggapan bahwa pengukuran dengan stopwatch digital dengan sensor cahaya adalah yang lebih benar dibanding pengukuran dengan stopwatch konvensional. Untuk memudahkan pengamatan maka dipilih jarak sensor 25 cm.

3.3.3 Data Hasil Kalibrasi

Data yang diambil adalah catatan waktu hasil kalibrasi dengan percobaan gerak jatuh bebas yang ditunjukkan oleh display pada 7-segmen dalam beberapa jarak tertentu. Dalam tabel pengamatan yang dicantumkan oleh penulis adalah rata-rata catatan waktu gerak jatuh bebas hasil kalibrasi dari keempat sensor dan tabel hasil kalibrasi stopwatch digital dengan sensor cahaya dibandingkan dengan hasil catatan gerak jatuh bebas dengan menggunakan stopwatch manual. Dimana sebagai acuan adalah data catatan waktu yang diperoleh dari stopwatch digital dengan sensor cahaya dibandingkan dengan data dari Stopwatch konvensional, kemudian nilai rata-rata dari keduanya dibandingkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengukuran

Dari data hasil percobaan yang dilakukan terhadap kedua Bola uji, pada keempat sensor. Diperoleh pasangan data waktu tempuh untuk setiap jarak tempuh tertentu. Berdasarkan data hasil pengamatan tersebut dapat ditentukan waktu tempuh rata-rata untuk masing-masing jarak tempuh (\bar{t}_1 dan \bar{t}_2) seperti ditunjukkan pada tabel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4.

Tabel 4.1 : Hasil perhitungan waktu tempuh rata-rata kedua Bola uji untuk beberapa nilai jarak tempuh pada sensor 1, pada uji pertama.

No.	Jarak Tempuh (cm)	Waktu tempuh rata-rata Bola Bekel (\bar{t}_1) (sekon)	Waktu tempuh rata-rata Bola Pingpong (\bar{t}_2) (sekon)
1	5 cm	0.0881	0.087753
2	10 cm	0.104253	0.1047
3	15 cm	0.14248	0.143227
4	20 cm	0.182827	0.182941

Tabel 4.2 : Hasil perhitungan waktu tempuh rata-rata kedua Bola uji untuk beberapa nilai jarak tempuh pada sensor 2, pada uji pertama.

No.	Jarak Tempuh (cm)	Waktu tempuh rata-rata Bola Bekel (\bar{t}_1) (sekon)	Waktu tempuh rata-rata Bola Pingpong (\bar{t}_2) (sekon)
1	5 cm	0.088067	0.08772
2	10 cm	0.104286	0.104387
3	15 cm	0.14282	0.143453
4	20 cm	0.18282	0.18306

Tabel 4.3 : Hasil perhitungan waktu tempuh rata-rata kedua Bola uji untuk beberapa nilai jarak tempuh pada sensor 3, pada uji pertama.

No.	Jarak Tempuh (cm)	Waktu tempuh rata-rata Bola Bekel (\bar{t}_1) (sekon)	Waktu tempuh rata-rata Bola Pingpong (\bar{t}_2) (sekon)
1	5 cm	0.087673	0.087713
2	10 cm	0.104333	0.10476
3	15 cm	0.1422827	0.143173
4	20 cm	0.18282	0.18308

Tabel 4.4 : Hasil perhitungan waktu tempuh rata-rata kedua Bola uji untuk beberapa nilai jarak tempuh pada sensor 4.

No.	Jarak Tempuh (cm)	Waktu tempuh rata-rata Bola Bekel (\bar{t}_1) (sekon)	Waktu tempuh rata-rata Bola Pingpong (\bar{t}_2) (sekon)
1	5 cm	0.087713	0.087717
2	10 cm	0.10303836	0.104807
3	15 cm	0.1427	0.143053
4	20 cm	0.182807	0.183013

Untuk menguji ada tidaknya perbedaan bermakna antara kedua hasil pengukuran waktu tempuh gerak jatuh bebas pada masing-masing bola uji dari keempat sensor, pada uji pertama ini digunakan uji statistik.

Adapun pengujian tersebut dilakukan dengan uji-t yaitu *Two Sample T-test Assuming Equal Variances* (Uji-t pada dua sampel yang dianggap mempunyai rata-rata yang sama), dengan rumus :

$$t_{12} = \frac{(\bar{T}_1 - \bar{T}_2)}{\sqrt{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (4.1)$$

Sebagai Hipotesis nol adalah tidak terdapat perbedaan antara hasil pengukuran waktu tempuh untuk kedua bola uji yang mempunyai perbedaan massa atau $\mu_1 = \mu_2$, sedangkan sebagai hipotesis alternatifnya adalah terdapat

perbedaan antara hasil pengukuran waktu tempuh untuk dua buah bola uji yang berbeda massanya atau $\mu_1 \neq \mu_2$.

Dari hasil pengolahan data dengan menggunakan Microsoft Excel 2000 nilai distribusi-t untuk taraf nyata 0,05 (5%) diperoleh daerah kritis untuk permasalahan ini adalah :

$$- 2,04840992 > t_{12} > 2.04840992$$

Tabel 4.5 : Nilai-nilai t_{12} untuk beberapa jarak tempuh

Jarak Tempuh (cm)		5	10	15	20
T_{12}	Sensor 1	0.839412	-1.619376	-2.016847	-0.503305
	Sensor 2	0.918767	-0.323874	-1.485986	-1.019399
	Sensor 3	-0.226202	-1.753777	-1.339829	-1.373229
	Sensor 4	-0.021634	-1.249862	-0.951714	-0.537492

Dari Tabel 4.5 terlihat bahwa semua nilai t_{12} yang diperoleh dari hasil perhitungan berdasarkan data pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini didalam daerah kritis, sehingga hipotesa nol diterima.

Makna dari pengujian statistik tersebut adalah tidak ada perbedaan secara nyata, antara waktu tempuh yang dibutuhkan oleh bola bekel maupun waktu tempuh yang dibutuhkan oleh bola pingpong untuk menempuh suatu jarak dalam lintasan tertentu.

Tabel 4.6 : Tabel Nilai rata-rata Hasil Kalibrasi Stopwatch Digital Dengan Stopwatch konvensional sebagai pembanding.

Jarak Tempuh (cm)	Sensor	Bahan Uji (Bola)	Waktu Tempuh rata-rata dengan Stopwatch Digital Otomatis (sekon)	Waktu Tempuh rata-rata dengan Stopwatch Konvensional (sekon)	t_{12}
25 cm	1	Bekel	0.20196	0.2	0.499664304
		Pingpong	0.20202	0.24	-0.826444345
	2	Bekel	0.201753	0.2	0.448590806
		Pingpong	0.202087	0.20	0.448590806
	3	Bekel	0.20178	0.2	0.455677277
		Pingpong	0.202133	0.20	-0.798075223
	4	Bekel	0.20192	0.2	0.491736556
		Pingpong	0.202167	0.20	-0.789790011

Untuk menguji ada tidaknya perbedaan bermakna antara kedua hasil pengukuran waktu tempuh gerak jatuh bebas dengan stopwatch digital otomatis dengan sensor cahaya dan dengan stopwatch konvensional sebagai pembanding, digunakan uji statistik.

Adapun pada pengujian kedua ini dilakukan dengan uji-t yaitu *Two Sample T-test Assuming Anequal Variances* (Uji-t pada dua sampel yang dianggap mempunyai rata-rata yang berbeda), dengan rumus :

$$t_{12} = \frac{(\bar{T}_1 - \bar{T}_2)}{\sqrt{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (4.1)$$

Sebagai Hipotesis nol adalah terdapat perbedaan antara hasil pengukuran waktu tempuh untuk kedua bola uji yang mempunyai perbedaan massa atau $\mu_1 \neq \mu_2$, sedangkan sebagai hipotesis alternatifnya adalah tidak terdapat perbedaan antara hasil pengukuran waktu tempuh untuk dua buah bola uji yang berbeda massanya atau $\mu_1 = \mu_2$.

Dari hasil pengolahan data dengan menggunakan Microsoft Excel 2000 nilai distribusi-t untuk taraf nyata 0,05 (5%) diperoleh daerah kritis untuk permasalahan ini adalah :

$$- 2,04840992 > t_{12} > 2.04840992$$

Dari Tabel 4.6 kita dapat bahwa hipotesa nol yaitu ada beda antara rata-rata waktu tempuh gerak jatuh bebas yang diukur dengan stopwatch digital otomatis dengan sensor cahaya dan rata-rata waktu tempuh gerak jatuh bebas yang diukur dengan stopwatch konvensional diterima atau $\mu_1 \neq \mu_2$. Sedang hipotesa alternatifnya ditolak.

Makna dari pengujian ini adalah stopwatch digital otomatis dengan sensor cahaya mempunyai ketelitian dalam penghitungan waktu tempuh jauh lebih baik dibanding dengan stopwatch konvensional.

4.2. Pembahasan

Seperti telah dibahas dalam bab 2 bahwa pada jarak yang ditempuh oleh benda yang bergerak jatuh bebas dalam waktu t sekon memenuhi persamaan :

$$S = V_0 + \frac{1}{2} g t^2 \quad (4.2)$$

dengan S , g , dan t masing-masing adalah jarak tempuh, percepatan gravitasi bumi, dan waktu tempuh.

Dari persamaan (4.2) terlihat bahwa hubungan antara jarak tempuh dan waktu tempuh bagi benda yang bergerak jatuh bebas tidak bergantung pada massa benda. Dengan demikian kedua bola yang berbeda massa tersebut membutuhkan waktu tempuh yang sama besarnya bila keduanya menempuh suatu lintasan dengan jarak yang sama.

Dengan diperolehnya hasil pengukuran dan analisis data untuk jarak tempuh dan waktu tempuh bagi kedua bola yang bergerak jatuh bebas dapat dinyatakan bahwa **tidak terdapat perbedaan secara nyata** pada pengukuran waktu tempuh bagi kedua bola yang berbeda massanya dan mempunyai panjang lintasan tertentu.

Dalam bidang atletik terutama lari cepat, gerak yang dilakukan oleh pelari dalam lari cepat adalah gerak lurus, dimana memenuhi persamaan gerak :

$$X = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (4.3)$$

analogi dengan hal tersebut, dalam gerak jatuh bebas $v_0 = 0$. Dengan demikian alat ini dapat juga digunakan untuk mengukur waktu tempuh pelari dalam suatu lintasan tertentu pada saat latihan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Stopwatch Digital Otomatis Dengan Sensor Cahaya Untuk Pelari dapat digunakan untuk mengukur waktu tempuh gerak jatuh bebas..
2. Tidak terdapat perbedaan nyata antara waktu tempuh kedua bola yang mempunyai massa berbeda dalam suatu lintasan tertentu
3. Ada beda pengukuran waktu tempuh benda jatuh bebas dengan menggunakan Stopwatch Digital Otomatis Dengan Sensor Cahaya Untuk Pelari dan dengan menggunakan stopwatch konvensional.

5.2. Saran – saran

Beberapa hal yang dapat menyempurnakan penelitian ini antara lain :

1. Penambahan fasilitas tertentu memungkinkan alat ini dapat merespon rangsangan cahaya tampak sehingga dapat memperbanyak kegunaan dari alat ini.
2. Penyempurnaan pada bagian pengendali memungkinkan alat ini dapat digunakan untuk mengukur waktu tempuh benda yang bergerak dengan lintasan yang lebih lebar.

3. penambahan fasilitas memori dapat menyempurnakan alat ini sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan pengukuran secara estafet, dengan demikian dapat digunakan untuk keperluan lomba lari estafet ataupun untuk keperluan lomba lari cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Eugene R. Hinatek, *User's Guide Book for Digital CMOS Integrated*, Mc Graw - Hill Book Company. New York.
- Hernawa dan Wasito, 1994, *Teknik Digital*, Karya Utama: Jakarta.
- Bartee, T.C. (1985). *Digital Computer Fundamental*. Mc Graw - Hill. New York.
- Bouwens, A.J. (---). *Digital Instrument Course. Part I. Theory and Logic Circuits*. Philips.
- Dajan, Anto. (1986). *Pengantar metode Statistik II*. Edisi ke-11. LP3ES. Jakarta.
- Lancaster, Don. (1976). *CMOS Cookbook*. H. W. Sams & Co. Inc. The Bob-Merril Co. Inc. Indianapolis – Kansas City New York.
- Marcus (1980). *Modern Electronics Circuits Reference Manual*. Mc Graw – Hill. Book Company. Toronto City New York.
- Millman, J. – Halkias, C.C.(1972). *Integrated Electronics : Analag and Digital System*. Mc Graw – Hill. Kagakusha Ltd. International Student Edition. Tokyo.
- Prijo, T.A. (1989). *Perancangan Alat Ukur Refleks Manusia Secara Digital*. Skripsi. Jurusan Fisika. FMIPA. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Schuler, C.A. and Mc Namee, W.L. (1988). *Industrial Electronics and Robotics*. Mc Graw - Hill. International Editions. Singapore.
- Sears, F.W. (1980). *Mekanika Panas dan Bunyi*. Cetakan keempat. Penerbit

Bina Cipta. Bandung.

-----, (1971). *CMOS Data Book*. National Semiconductor Corporation. Santa Clara. California.

Morris A. Colwell, 1995, *Komponen Elektronika*, PT. Elex Media Komputindo
Kelompok Gramedia Jakarta

Rusmadi Dedy, 1995, *Digital dan Rangkaian*, Pionir Jaya: Bandung.

Sugiarto Agus, 1999, *Penerapan Dasar Transducer dan Sensor*, Kanisius:
Yogyakarta.

Muzzaki, 2005, *Konter Elektronik Desimal*, Buku Mini. Jurusan Fisika
FMIPA. Universitas Airlangga. Surabaya.

Muzzaki, 2002, *Elektronika Jilid IIA dan Jilid IIB, Edisi Keempat*, Kelompok
Bidang Minat Instrumentasi, Laboratorium Instrumentasi. Jurusan
Fisika FMIPA. Universitas Airlangga. Surabaya.

J. Bueche Frederick, 1989, *Fisika Schaum Series, Edisi Kedelapan*, Penerbit
Erlangga. Jakarta

LAMPIRAN I**DATA HASIL PENGAMATAN WAKTU TEMPUH GERAK JATUH****BEBAS BOLA BEKEL OLEH SENSOR 1**

No	Waktu Tempuh Benda Pada Jarak (cm)				
	5cm	10cm	15 cm	20 cm	25 cm
1	0.0865	0.1032	0.1406	0.1814	0.2006
2	0.0866	0.1035	0.1411	0.1822	0.2014
3	0.0868	0.1041	0.1415	0.1826	0.2008
4	0.0873	0.1033	0.1423	0.1828	0.2016
5	0.0876	0.1042	0.1426	0.1837	0.2021
6	0.0886	0.1044	0.1429	0.1832	0.2018
7	0.0877	0.1045	0.1424	0.1824	0.2023
8	0.0896	0.1046	0.1425	0.1835	0.2024
9	0.0879	0.1056	0.1428	0.1829	0.2019
10	0.0899	0.1036	0.1432	0.1833	0.2022
11	0.0885	0.1042	0.1435	0.183	0.2025
12	0.0876	0.1038	0.1431	0.1826	0.2024
13	0.0895	0.1049	0.1429	0.1824	0.203
14	0.0882	0.1048	0.143	0.1828	0.2008
15	0.0892	0.105	0.1427	0.1836	0.2035
Rata-rata	0.0881	0.104253	0.14248	0.182827	0.20196
Simpangan Baku	0.001062	0.000668	0.000787	0.000584	0.000798

LAMPIRAN I

**DATA HASIL PENGAMATAN WAKTU TEMPUH GERAK JATUH
BEBAS BOLA PINGPONG OLEH SENSOR 1**

No	Waktu Tempuh Benda Pada Jarak (cm)				
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1	0.0872	0.1034	0.145	0.1831	0.202
2	0.0885	0.1055	0.1433	0.1832	0.2014
3	0.0896	0.1049	0.1421	0.1825	0.2018
4	0.0883	0.1043	0.1439	0.1834	0.2019
5	0.0864	0.1041	0.1436	0.1838	0.2024
6	0.0894	0.1046	0.144	0.1828	0.2013
7	0.0855	0.1039	0.1446	0.1833	0.2016
8	0.0879	0.1056	0.1415	0.18132	0.2023
9	0.0875	0.1048	0.1414	0.1833	0.2022
10	0.0887	0.1037	0.142	0.1837	0.2021
11	0.0885	0.1036	0.1442	0.1822	0.2026
12	0.0878	0.1052	0.1432	0.1825	0.2018
13	0.0869	0.1062	0.1423	0.183	0.2024
14	0.0879	0.1054	0.1448	0.1826	0.2022
15	0.0862	0.1053	0.1425	0.1834	0.2023
Rata-rata	0.087753	0.1047	0.143227	0.182941	0.20202
Simpangan Baku	0.001122	0.000813	0.001158	0.000621	0.000369

LAMPIRAN I**DATA HASIL PENGAMATAN WAKTU TEMPUH GERAK JATUH****BEBAS BOLA BEKEL OLEH SENSOR 2**

No	Waktu Tempuh Benda Pada Jarak (cm)				
	5cm	10cm	15 cm	20 cm	25 cm
1	0.0876	0.1045	0.1437	0.182	0.2003
2	0.0873	0.1042	0.1428	0.1818	0.2017
3	0.0859	0.1039	0.1425	0.1831	0.201
4	0.0881	0.1051	0.1433	0.183	0.2015
5	0.0874	0.104	0.1431	0.1835	0.2021
6	0.0886	0.1035	0.1417	0.1832	0.2014
7	0.0873	0.1032	0.142	0.1815	0.2017
8	0.0899	0.1052	0.1426	0.1837	0.2023
9	0.0879	0.1055	0.1418	0.1821	0.2019
10	0.0889	0.1036	0.1446	0.1833	0.2006
11	0.0885	0.1048	0.1438	0.1834	0.2018
12	0.0876	0.1032	0.1445	0.184	0.203
13	0.0875	0.1038	0.1427	0.1815	0.2029
14	0.0886	0.1043	0.1435	0.1823	0.2025
15	0.0899	0.1057	0.1433	0.1839	0.2016
Rata-rata	0.088067	0.104286	0.14306	0.18282	0.201753
Simpangan Baku	0.001009	0.000809	0.000856	0.010151	0.000735

LAMPIRAN I**DATA HASIL PENGAMATAN WAKTU TEMPUH GERAK JATUH****BEBAS BOLA PINGPONG OLEH SENSOR 2**

No	Waktu Tempuh Benda Pada Jarak (cm)				
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1	0.0852	0.1046	0.1432	0.1825	0.2024
2	0.0869	0.105	0.1441	0.1833	0.202
3	0.088	0.1041	0.1435	0.1833	0.2018
4	0.0892	0.1048	0.1431	0.1831	0.2023
5	0.0875	0.1038	0.1434	0.1832	0.2024
6	0.0884	0.1039	0.1441	0.1829	0.2018
7	0.0872	0.1046	0.1439	0.1833	0.2019
8	0.0878	0.105	0.1432	0.1827	0.2017
9	0.0873	0.1043	0.1426	0.183	0.2019
10	0.089	0.1039	0.1432	0.1826	0.2022
11	0.0868	0.1053	0.1429	0.1834	0.2024
12	0.0882	0.1049	0.144	0.1832	0.2021
13	0.0877	0.1035	0.1443	0.1831	0.2023
14	0.089	0.1031	0.1434	0.1832	0.202
15	0.0876	0.105	0.1429	0.1831	0.2021
Rata-rata	0.08772	0.104387	0.143453	0.18306	0.202087
Simpangan Baku	0.000987	0.000734	0.001084	0.001185	0.00042

LAMPIRAN I**DATA HASIL PENGAMATAN WAKTU TEMPUH GERAK JATUH****BEBAS BOLA BEKEL OLEH SENSOR 3**

No	Waktu Tempuh Benda Pada Jarak (cm)				
	5cm	10cm	15 cm	20 cm	25 cm
1	0.0873	0.1043	0.1425	0.1832	0.201
2	0.0879	0.1037	0.143	0.1825	0.2015
3	0.088	0.1035	0.1426	0.1826	0.2019
4	0.0872	0.1048	0.1427	0.1832	0.2013
5	0.0878	0.1052	0.1422	0.1831	0.2017
6	0.0877	0.1049	0.1431	0.1836	0.2023
7	0.0876	0.1044	0.1432	0.1829	0.2014
8	0.0877	0.1042	0.1431	0.1831	0.2021
9	0.0879	0.1041	0.1432	0.1828	0.202
10	0.087	0.1039	0.1424	0.1824	0.2009
11	0.0879	0.1037	0.143	0.1825	0.2022
12	0.0879	0.104	0.1431	0.183	0.2025
13	0.0875	0.1045	0.1424	0.1821	0.2021
14	0.0879	0.1038	0.1427	0.1824	0.2027
15	0.0878	0.106	0.1432	0.1829	0.2011
Rata-rata	0.087673	0.104333	0.142827	0.18282	0.20178
Simpangan Baku	0.000289	0.000646	0.000481	0.010189	0.001004

LAMPIRAN I

**DATA HASIL PENGAMATAN WAKTU TEMPUH GERAK JATUH
BEBAS BOLA PINGPONG OLEH SENSOR 3**

No	Waktu Tempuh Benda Pada Jarak (cm)				
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1	0.086	0.105	0.1423	0.1827	0.2021
2	0.0873	0.1048	0.1425	0.182	0.2019
3	0.0875	0.1044	0.1421	0.1828	0.2014
4	0.0879	0.1042	0.1426	0.1835	0.2022
5	0.0875	0.1037	0.143	0.1834	0.2018
6	0.0882	0.1039	0.1437	0.1831	0.2023
7	0.0887	0.1045	0.1436	0.1836	0.2032
8	0.0883	0.104	0.1439	0.1831	0.2024
9	0.0873	0.106	0.1425	0.1822	0.2022
10	0.088	0.1048	0.1427	0.1825	0.2023
11	0.0879	0.1056	0.1422	0.1837	0.2015
12	0.0881	0.1054	0.1435	0.1825	0.2027
13	0.0879	0.1053	0.1439	0.184	0.2021
14	0.0875	0.1046	0.1434	0.1839	0.2022
15	0.0876	0.1052	0.1457	0.1832	0.2017
Rata-rata	0.087713	0.10476	0.143173	0.18308	0.202133
Simpangan Baku	0.000595	0.000517	0.00091	0.001126	0.000555

LAMPIRAN I**DATA HASIL PENGAMATAN WAKTU TEMPUH GERAK JATUH****BEBAS BOLA BEKEL OLEH SENSOR 4**

No	Waktu Tempuh Benda Pada Jarak (cm)				
	5cm	10cm	15 cm	20 cm	25 cm
1	0.0873	0.1049	0.1415	0.1827	0.202
2	0.0877	0.1033	0.1423	0.1832	0.2023
3	0.0883	0.1041	0.1416	0.1829	0.2019
4	0.0876	0.1035	0.1427	0.1824	0.2015
5	0.0881	0.1045	0.1422	0.1814	0.2019
6	0.0875	0.1059	0.1435	0.1818	0.2014
7	0.0879	0.1039	0.1438	0.1815	0.2018
8	0.0881	0.1043	0.1414	0.1834	0.2015
9	0.0875	0.1038	0.1442	0.1826	0.2023
10	0.0877	0.1042	0.1434	0.1839	0.2021
11	0.0873	0.1054	0.1419	0.1835	0.2021
12	0.0874	0.1058	0.1438	0.184	0.2016
13	0.0882	0.1056	0.1431	0.1835	0.2024
14	0.0871	0.1037	0.1437	0.1825	0.2023
15	0.088	0.1047	0.1414	0.1828	0.2017
Rata-rata	0.087713	0.104507	0.1427	0.182807	0.20192
Simpangan Baku	0.000358	0.00082	0.000967	0.000779	0.000319

LAMPIRAN I**DATA HASIL PENGAMATAN WAKTU TEMPUH GERAK JATUH****BEBAS BOLA PINGPONG OLEH SENSOR 4**

No	Waktu Tempuh Benda Pada Jarak (cm)				
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1	0.0877	0.1044	0.1435	0.182	0.202
2	0.0878	0.1046	0.1426	0.1819	0.2025
3	0,0879	0.1049	0.1435	0.1815	0.2023
4	0.0873	0.105	0.1424	0.1817	0.203
5	0.088	0.1051	0.1428	0.1823	0.2013
6	0.0875	0.1049	0.1423	0.1824	0.2021
7	0.0881	0.1053	0.1433	0.1829	0.2018
8	0.0877	0.1045	0.1429	0.1833	0.2023
9	0.0876	0.1049	0.1435	0.1834	0.2024
10	0.0882	0.1048	0.144	0.1836	0.2024
11	0.0875	0.1054	0.1421	0.1846	0.2026
12	0.0872	0.1041	0.146	0.1844	0.2021
13	0.0878	0.1049	0.1419	0.1848	0.2021
14	0.0876	0.1051	0.142	0.185	0.2014
15	0.0881	0.1042	0.143	0.1814	0.2022
Rata-rata	0.087717	0.104807	0.143053	0.183013	0.202167
Simpangan Baku	0.000313	0.000366	0.000996	0.001209	0.000673

LAMPIRAN I

DATA HASIL PENGAMATAN WAKTU TEMPUH GERAK JATUH
BEBAS DENGAN STOPWATCH KONVENSIONAL

Percobaan	Bahan Uji	
	Bola Bekel	Bola Pingpong
1	0.2	0.22
2	0.19	0.23
3	0.21	0.2
4	0.22	0.21
5	0.19	0.19
6	0.18	0.18
7	0.22	0.18
8	0.21	0.2
9	0.2	0.22
10	0.19	0.22
11	0.19	0.21
12	0.17	0.21
13	0.22	0.19
14	0.2	0.2
15	0.21	0.22
Rata-Rata	0.2	0.2053333
Simpangan Baku	0.01511858	0.0155226

LAMPIRAN II

Hasil uji-t

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Benda 5 cm sensor1

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.0881	0.087753333
Variance	1.20857E-06	1.34981E-06
Observations	15	15
Pooled Variance	1.27919E-06	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	0.839411873	
P(T<=t) one-tail	0.204174135	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.40834827	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Benda 10 cm sensor1

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.104246667	0.1047
Variance	4.66952E-07	7.08571E-07
Observations	15	15
Pooled Variance	5.87762E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-1.619375514	
P(T<=t) one-tail	0.058288403	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.116576806	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 15 cm sensor1

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.142473333	0.143226667
Variance	6.54952E-07	1.43781E-06
Observations	15	15
Pooled Variance	1.04638E-06	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-2.016846768	
P(T<=t) one-tail	0.026696296	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.053392592	
t Critical two-tail	2.048409442	

LAMPIRAN II

Hasil Uji-t

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 20 cm sensor1

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.182826667	0.182941333
Variance	3.64952E-07	4.13627E-07
Observations	15	15
Pooled Variance	3.8929E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.503305251	
P(T<=t) one-tail	0.309343153	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.618686305	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 5 cm sensor2

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.088066667	0.08772
Variance	1.09095E-06	1.04457E-06
Observations	15	15
Pooled Variance	1.06776E-06	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	0.918767248	
P(T<=t) one-tail	0.183032366	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.366064732	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 10 cm sensor2

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.1043	0.104386667
Variance	6.57143E-07	4.16952E-07
Observations	15	15
Pooled Variance	5.37048E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.323874181	
P(T<=t) one-tail	0.374220082	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.748440164	
t Critical two-tail	2.048409442	

LAMPIRAN II

Hasil Uji-t

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 15 cm sensor2

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.14306	0.143453333
Variance	7.85429E-07	2.65524E-07
Observations	15	15
Pooled Variance	5.25476E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-1.485986496	
P(T<=t) one-tail	0.07422825	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.148456499	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 20 cm sensor2

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.18282	0.18306
Variance	7.57429E-07	7.4E-08
Observations	15	15
Pooled Variance	4.15714E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-1.019399459	
P(T<=t) one-tail	0.158370549	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.316741098	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 5 cm Sensor3

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.087673333	0.087713333
Variance	8.92381E-08	3.7981E-07
Observations	15	15
Pooled Variance	2.34524E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.226202371	
P(T<=t) one-tail	0.411343594	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.822687188	
t Critical two-tail	2.048409442	

LAMPIRAN II

Hasil Uji-t

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 10 cm Sensor3

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.104333333	0.10476
Variance	4.46667E-07	4.41143E-07
Observations	15	15
Pooled Variance	4.43905E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-1.753777301	
P(T<=t) one-tail	0.045205172	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.090410343	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 15 cm Sensor3

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.142826667	0.143173333
Variance	1.1781E-07	8.86381E-07
Observations	15	15
Pooled Variance	5.02095E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-1.339829899	
P(T<=t) one-tail	0.095536915	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.19107383	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 20 cm Sensor3

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.18282	0.18308
Variance	1.58857E-07	3.78857E-07
Observations	15	15
Pooled Variance	2.68857E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-1.373229708	
P(T<=t) one-tail	0.090289237	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.180578474	
t Critical two-tail	2.048409442	

LAMPIRAN II

Hasil Uji-t

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 5 cm Sensor4

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.087713333	0.087717
Variance	3.7981E-07	1.04457E-06
Observations	15	15
Pooled Variance	7.1219E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.021634222	
P(T<=t) one-tail	0.491446587	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.982893173	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 10 cm sensor4

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.104506667	0.104806667
Variance	7.20667E-07	1.43524E-07
Observations	15	15
Pooled Variance	4.32095E-07	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-1.249862236	
P(T<=t) one-tail	0.11084807	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.22169614	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 15 cm sensor4

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.1427	0.143053333
Variance	1.00286E-06	1.06267E-06
Observations	15	15
Pooled Variance	1.03276E-06	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.95217141	
P(T<=t) one-tail	0.17457894	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.349157881	
t Critical two-tail	2.048409442	

LAMPIRAN II

Hasil Uji-t

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
Untuk Jarak Tempuh 20 cm sensor4

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.182806667	0.183013333
Variance	6.50667E-07	1.56695E-06
Observations	15	15
Pooled Variance	1.10881E-06	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.537492728	
P(T<=t) one-tail	0.297586851	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.595173702	
t Critical two-tail	2.048409442	

LAMPIRAN III

Hasil Uji-t

T-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

T₁₂ Untuk Bola Bekel Jarak 25 Cm Sensor 1 Dibanding Stopwatch Konvensional Pada Jarak Yang Sama

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.201953333	0.2
Variance	6.66952E-07	0.000228571
Observations	15	15
Pooled Variance	0.000114619	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
T Stat	0.499664304	
P(T<=T) One-Tail	0.310607714	
T Critical One-Tail	1.701130259	
P(T<=T) Two-Tail	0.621215428	
T Critical Two-Tail	2.048409442	

T-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

T₁₂ Untuk Bola Bekel Jarak 25 Cm Sensor 2 Dibanding Stopwatch Konvensional Pada Jarak Yang Sama

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.201753333	0.2
Variance	5.78381E-07	0.000228571
Observations	15	15
Pooled Variance	0.000114575	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
T Stat	0.448590806	
P(T<=T) One-Tail	0.328589665	
T Critical One-Tail	1.701130259	
P(T<=T) Two-Tail	0.65717933	
T Critical Two-Tail	2.048409442	

LAMPIRAN III

Hasil Uji-t

T-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

T₁₂ Untuk Bola Bekel Jarak 25 Cm Sensor 3 Dibanding Stopwatch Konvensional Pada Jarak Yang Sama

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.20178	0.2
Variance	3.13143E-07	0.000228571
Observations	15	15
Pooled Variance	0.000114442	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
T Stat	0.455677277	
P(T<=T) One-Tail	0.326068195	
T Critical One-Tail	1.701130259	
P(T<=T) Two-Tail	0.65213639	
T Critical Two-Tail	2.048409442	

T-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

T₁₂ Untuk Bola Bekel Jarak 25 Cm Sensor 4 Dibanding Stopwatch Konvensional Pada Jarak Yang Sama

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.20192	0.2
Variance	1.08857E-07	0.000228571
Observations	15	15
Pooled Variance	0.00011434	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
T Stat	0.491736556	
P(T<=T) One-Tail	0.313369312	
T Critical One-Tail	1.701130259	
P(T<=T) Two-Tail	0.626738624	
T Critical Two-Tail	2.048409442	

LAMPIRAN III

Hasil Uji-t

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
 T_{12} Untuk Bola Pingpong Jarak 25 Cm Sensor 1 Dibanding Stopwatch Konvensional
 Pada Jarak Yang Sama

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.20202	0.205333333
Variance	1.46E-07	0.000240952
Observations	15	15
Pooled Variance	0.000120549	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.826444345	
P(T<=t) one-tail	0.207769648	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.415539297	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
 T_{12} Untuk Bola Pingpong Jarak 25 Cm Sensor 2 Dibanding Stopwatch Konvensional
 Pada Jarak Yang Sama

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.202086667	0.205333333
Variance	5.69524E-08	0.000240952
Observations	15	15
Pooled Variance	0.000120505	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.809965277	
P(T<=t) one-tail	0.212395304	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.424790607	
t Critical two-tail	2.048409442	

LAMPIRAN III

Hasil Uji-t

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
 T_{12} Untuk Bola Pingpong Jarak 25 Cm Sensor 3 Dibanding Stopwatch Konvensional
 Pada Jarak Yang Sama

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.202133333	0.205333333
Variance	2.06667E-07	0.000240952
Observations	15	15
Pooled Variance	0.00012058	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.798075223	
P(T<=t) one-tail	0.215771917	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.431543834	
t Critical two-tail	2.048409442	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances
 T_{12} Untuk Bola Pingpong Jarak 25 Cm Sensor 4 Dibanding Stopwatch Konvensional
 Pada Jarak Yang Sama

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.202166667	0.205333333
Variance	1.89524E-07	0.000240952
Observations	15	15
Pooled Variance	0.000120571	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	28	
t Stat	-0.789790011	
P(T<=t) one-tail	0.218144088	
t Critical one-tail	1.701130259	
P(T<=t) two-tail	0.436288176	
t Critical two-tail	2.048409442	