

# RANCANG BANGUN PENCATAT SELANG WAKTU OTOMATIS DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR PEKA CAHAYA UNTUK PESAWAT ATWOOD

Santoso<sup>1</sup>, Sunarno<sup>2</sup>, Isa Akhlis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SMA Muhammadiyah 1 Karanganyar Surakarta

Jl. Brigjen Slamet Riyadi, Karanganyar, Surakarta

<sup>1,2</sup>Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Fisika, UNNES

Kampus UNNES Sekaran, Gunungpati Semarang 50229

Email: sant\_fisika@yahoo.com<sup>1</sup>

## Abstract

*The Atwood machine is the equipment consists of two masses connected with string or rope on a pulley fixed. In the Atwood best practical implementation by using a stopwatch timekeeping is done manually lead time calculations are inaccurate because it depends on the precision of the practitioner. Manufacture of electronic equipment by utilizing light-sensitive sensor that can automatically record the time interval in experiments using the calculation time is expected to minimize these inaccuracies. This electronic equipment uses the principle of the switch transistor, where the transistor is in two circumstances, namely the state of saturation and discontinuity. Specifications of this electronic circuit when the infrared light is not blocked by an object, the resulting output voltage of 11.07 volts and when the infrared light is blocked by an object, the output voltage drops to 1.2 volts using input voltage of 12 volts. From the research could have made an electronic device that can be used to record time lapse automatically by using a light-sensitive sensor based phototransistor. Series that has been created can be utilized in the best lab Atwood. The result of the calculation of the acceleration of gravity by using the self-timer on the plane practicum Atwood is  $9.791 \text{ m/s}^2$ .*

**Keywords:** Phototransistor, Atwood's machine

## PENDAHULUAN

Pesawat Atwood diperkenalkan oleh ilmuwan Inggris George Atwood (1746-1807) untuk mendemonstrasikan berlakunya Hukum II Newton. Alat ini terdiri dari dua buah massa atau beban yang dihubungkan oleh suatu katrol tetap. Selama ini pesawat Atwood telah digunakan untuk menunjukkan peranan Hukum II Newton didalam memprediksi gerak pasangan beban dan aspek lain yang terkait. Penelitian tentang pesawat Atwood sampai saat ini telah banyak dilakukan, mulai dari aplikasinya untuk dunia pendidikan pada proses belajar mengajar, kemampuan menggali konsep-konsep fisis dan keluwesannya terhadap modifikasi desain dari pesawat Atwood ini. Dalam eksperimen pesawat Atwood dapat digunakan untuk menggali konsep-konsep fisis seperti dari bagian yang berotasi, percepatan gravitasi, kecepatan terminal dan percepatan negatif positif.

Pada pelaksanaan praktikum pesawat Atwood dimana pengukuran waktunya dilakukan secara manual dengan menggunakan stopwatch dapat mengakibatkan ketidakakuratan hasil pengukuran. Ketidakakuratan ini disebabkan oleh jeda selang waktu untuk mengaktifkan dan mematikan stopwatch dan juga bergantung pada kecermatan praktikan.

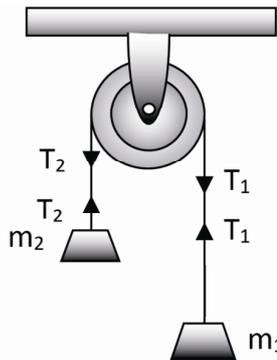
Pada penelitian ini, penulis merancang dan membuat suatu peralatan elektronik yang dapat digunakan sebagai pencatat waktu otomatis untuk menggantikan pencatat waktu secara manual tersebut. Pada penelitian ini, eksperimen pesawat Atwood direvitalisasi dengan bantuan timer otomatis berbasis fototransistor, sehingga diharapkan dinamika gerak pasangan beban dapat dideskripsikan dengan baik. Tujuan penelitian adalah merancang pencatat selang waktu otomatis dengan menggunakan sensor peka cahaya.

Berdasarkan pada uraian diatas maka peneliti mencoba untuk mengembangkan pesawat Atwood dengan bantuan *fotogate* dalam pengukuran selang waktu secara otomatis sehingga diharapkan diperoleh data yang lebih teliti dan tepat.

**LANDASAN TEORI**

**Pesawat Atwood**

Pesawat Atwood pertama kali digambarkan oleh George Atwood (1746-1807) dalam bukunya *Atreatise On the Rectilinear Motion and Rotation of bodies with a Deskription of original Experiments Relative to the Subject* yang di publikasikan pada tahun 1784. Pesawat Atwood yang pertama berupa peralatan yang terdiri dari dua massa yang terhubung dengan benang atau tali pada sebuah katrol tetap. Pesawat Atwood merupakan salah satu aplikasi yang sering digunakan selama bertahun-tahun untuk menggambarkan Hukum II Newton. Meskipun prinsipnya sudah tergolong lama, namun sampai saat ini penelitian-penelitian tentang pesawat Atwood terus dilakukan. Pada awalnya, pesawat Atwood digunakan untuk mengukur besaran-besaran mekanika, misalnya untuk mengukur percepatan jatuh bebas. Perkembangan selanjutnya pesawat Atwood meluas kepada upaya menggali konsep baru yang berkaitan, seperti massa efektif dan bagian yang berotasi, percepatan gravitasi, kecepatan terminal dan percepatan negatif-positif.



**Gambar 1. Diagram sederhana Pesawat Atwood**

Pesawat Atwood yang sederhana terdiri dari pasangan dua massa yang tergantung pada katrol melalui sebuah tali. Apabila dua massa tersebut tidak sama, misalkan  $m_1$  lebih besar dari  $m_2$  maka arah  $\vec{a}$  akan mengikuti gaya berat  $m_1$  dan demikian juga sebaliknya. Jika  $m_2$  lebih besar dari  $m_1$  maka arah  $\vec{a}$  akan mengikuti gaya berat  $m_2$ .

Jika  $m_1$  lebih besar dari  $m_2$  maka persamaan gerak translasi  $m_1$  adalah:

$$m_1g - T_1 = m_1a \dots\dots\dots (1)$$

dan untuk gerak translasi  $m_2$  adalah:

$$T_2 - m_2g = m_2a \dots\dots\dots (2)$$

Selain gerak translasi juga terjadi gerak rotasi pada katrol yaitu:

$$T_1r - T_2r = I \frac{a}{r} \dots\dots\dots (3)$$

dimana  $g$ ,  $a$ ,  $I$ ,  $r$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  masing-masing secara berturut-turut adalah percepatan gravitasi, percepatan, momen kelembaman, jari-jari katrol dan tegangan tali.

Setiap benda yang berputar atau berotasi akan memiliki kelembaman rotasi benda, terhadap suatu sumbu rotasi tertentu. Kelembaman rotasi benda tergantung pada sumbu rotasi

tertentu yang dikitarinya dan juga pada bentuk benda dan cara massa tersebar dalam benda tersebut (Halliday, 1999: 348). Untuk katrol berbentuk lempeng lingkaran dengan massa  $m_k$ , momen kelembaman katrolnya adalah:

$$I = \frac{1}{2} m_k r^2 \dots\dots\dots (4)$$

Jika gesekan diabaikan, maka percepatan suatu beban yang diperoleh dari gabungan persamaan (1) sampai (4) dapat dinyatakan:

$$a = \frac{g(m_1 - m_2)}{\left(\frac{1}{2}m_k + m_1 + m_2\right)} \dots\dots\dots (5)$$

dengan  $m_1$  dan  $m_2$  adalah massa beban 1 dan massa beban 2.

**Sensor Inframerah**

Komponen yang dapat mendeteksi sinar infra merah merupakan komponen peka cahaya, yang berupa *photodiode* atau *phototransistor*. Komponen-komponen ini sering disebut sebagai *photodetector* yang mempunyai fungsi merubah energi cahaya, dalam hal ini energi cahaya infra merah, menjadi sinyal listrik. Komponen ini harus mampu mengumpulkan sinyal infra merah sebanyak mungkin sehingga pulsa sinyal listrik yang dihasilkan kualitasnya cukup baik. Semakin besar intensitas sinar infra merah yang diterima maka sinyal listrik yang dihasilkan semakin besar.

Sumber cahaya bekerja sebagai pemancar cahaya yang membawa informasi. Sumber tersebut harus koheren yaitu berfrekuensi tunggal, sefasa, terarah dan terpolarisasi. Untuk mendapatkan pancaran sinar infra merah sesuai dengan yang diharapkan digunakan LED (*Light Emitting Diode*) inframerah. LED merupakan dioda dengan sambungan p-n yang mengeluarkan cahaya inframerah (*INRED*) dan mempunyai sifat tak dapat dilihat oleh mata, maka untuk mengaktifkan LED inframerah diperlukan sumber tegangan agar dihasilkan pancaran inframerah sesuai dengan yang dikehendaki (Woollard,1988: 143)

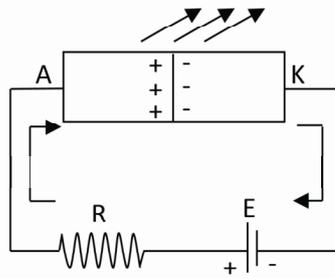
Didalam LED terdapat dua jenis semikonduktor, yaitu, semikonduktor tipe n yang memiliki elektron bebas, dan tipe p yang memiliki lubang bebas. Jika semikonduktor tipe p disambungkan dengan tipe n akan terbentuk suatu penghalang tenaga, sehingga lubang dan elektron bebasnya tidak memiliki cukup tenaga untuk melewati penghalang tersebut. Apabila diberikan suatu tenaga maju, maka besarnya penghalang tenaga akan turun, sehingga elektron dan lubang bebas akan memiliki cukup tenaga untuk melewati penghalang tersebut untuk berekomendasi. Pada saat elektron dan lubang bebas bertemu, maka elektron akan turun kebidang valensi, kemudian berekomendasi dengan lubang bebas. Tenaga yang dilepaskan pada peristiwa ini diubah menjadi tenaga optik dalam bentuk foton. Besarnya foton yang dipancarkan adalah:

$$W = hf \dots\dots\dots (6)$$

dengan

$h$  = konstanta Plank ( $6,626 \times 10^{-34}$  J.s)

$f$  = frekuensi gelombang yang dipancarkan ( $3,3 \times 10^{14}$  Hz)



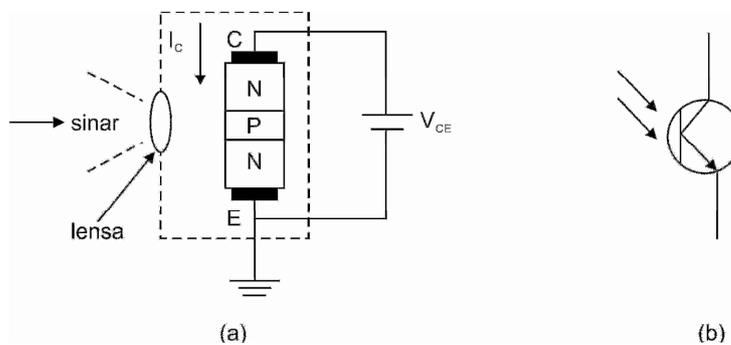
Gambar 2. Rangkaian sederhana dari LED.

Karakteristik LED adalah daya optik yang dihasilkan berbanding lurus dengan arus penggerak maju yang diberikannya. Jika arus makin besar maka intensitas cahayanya semakin naik, dan kenaikan ini adalah linear.

### Fototransistor

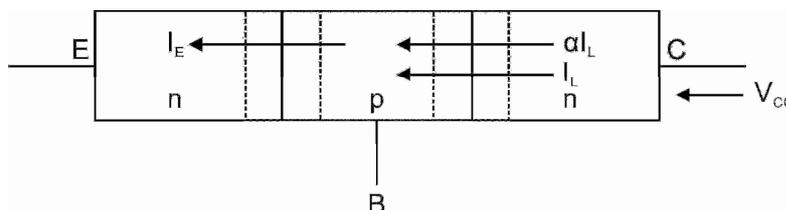
Fototransistor yang paling sering dijumpai adalah transistor bipolar NPN dengan sambungan kolektor-basis PN yang peka cahaya. Apabila sambungan tersebut dikenai cahaya melalui lensa yang membuka pada bungkus transistor, maka timbul aliran arus kontrol yang menghidupkan transistor. Apabila cahaya mengenai sambungan PN kolektor-basis, arus basis yang dihasilkan berbanding langsung dengan intensitas cahaya, hal tersebut menghasilkan arus kolektor yang dikuatkan. (Petruzella, 1996: 258-259).

Cara kerja fototransistor adalah dengan memanfaatkan masukan cahaya yang difokuskan pada basis transistor. Cahaya yang dibiaskan pada permukaan peka cahaya akan memberikan panjaran maju, dengan basis yang dirangkai secara terbuka. Cahaya yang masuk akan membuat lubang-lubang (hole) pada kaki basis dan akan menyebabkan arus menyeberang dari kolektor ke basis dan membentuk arus balik kolektor. Berikut gambar dari konstruksi fototransistor:



Gambar 3. a. Konstruksi phototransistor NPN, b. simbol fototransistor

Kelebihan fototransistor dibanding dengan transistor lain terletak pada penguatannya yang lebih tinggi. Karena sifat penguatannya yang besar ini, maka fototransistor banyak dipakai dalam optoisolator dengan tambahan piranti penguatan lain. Proses penguatan pada fototransistor dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Blok diagram fototransistor

Jika sumber cahaya jatuh pada basis, maka akan terbentuk pasangan lubang elektron didaerah sambungan BC, sehingga menghasilkan arus foto  $I_L$  dalam arah prategangan balik. Lubang menuju daerah P (basis tertutup) sehingga basis relatif positif terhadap emitor. Arus BE adalah arus prategangan maju, artinya aliran elektron dari emitor menuju basis. Harga arus elektron pada penjumlahan antara arus foto dan reaksi arus emitor adalah

$$I_E = \alpha I_L + I_L \dots\dots\dots (7)$$

dengan :  $I_E$  = arus emitor  
 $\alpha$  = penguatan arus emitor

pada saat rangkaian terbuka maka arus kolektor sama dengan arus emitor

$$I_C = I_E \dots\dots\dots (8)$$

Maka persamaan akan menjadi

$$I_C = \alpha I_L + I_L \dots\dots\dots (9)$$

atau

$$I_C = I_L(1 + \alpha) \dots\dots\dots (10)$$

Penguatan arus common emitor sama dengan pada transistor yaitu:

$$I_C = I_L(1 + \beta) \dots\dots\dots (11)$$

dengan  $\beta$  = penguatan arus emitor  
 atau

$$\frac{I_C}{I_L} = 1 + \beta \dots\dots\dots (12)$$

dengan demikian arus kolektor mengalami penguatan sebesar  $(1+\beta)$ .

**Relai**

Relai pengendali elektromagnetis (*an electromechanical relay = EMR*) adalah saklar magnetis. Relai ini menghubungkan rangkaian beban *on* atau *off* dengan pemberian energi elektromagnetik, yang membuka atau menutup kontak pada rangkaian. EMR mempunyai variasi aplikasi yang luas, baik pada rangkaian listrik maupun elektronis.

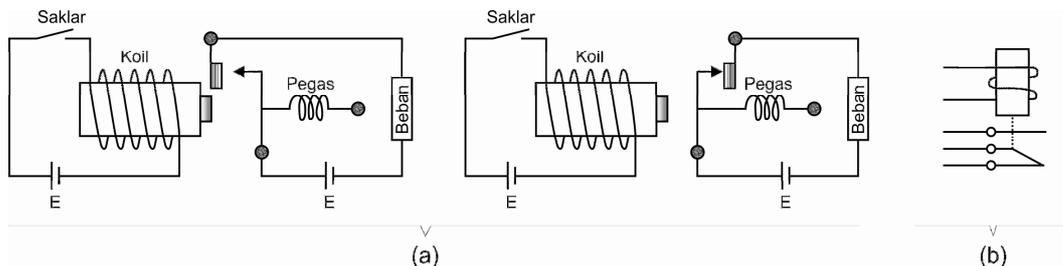
Relai biasanya hanya mempunyai satu kumparan, tetapi relai dapat mempunyai beberapa kontak. Relai elektromagnetis berisi kontak diam dan kontak bergerak. Pada keadaan awal kontak dapat dalam kondisi *Normally Open (NO)* dan *Normally Close (NC)*. Apabila kumparan diberi tenaga, terjadi medan elektromagnetis. Aksi dari medan elektromagnetis ini akan menyebabkan plunger bergerak pada kumparan menutup kontak *NO* dan membuka kontak *NC*. Jarak gerak plunger biasanya pendek sekitar 0,25 inchi atau kurang.

Prinsip kerja dari relai adalah pada saat arus melewati kumparan, maka akan menghasilkan medan magnet disekitar kumparan. Hal ini menyebabkan inti besi lunak akan dimagnetisasi atau tertarik oleh adanya medan magnet yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut. Kuat medan yang ditimbulkan oleh kumparan adalah:

$$H = \frac{0,2 \times \pi \times N \times I}{L} \dots\dots\dots (13)$$

- dengan :  $H$  = kuat medan magnetik (oersted)  
 $0,2$  = konstanta (tetapan)  
 $N$  = jumlah lilitan  
 $I$  = kuat arus  
 $L$  = panjang kumparan

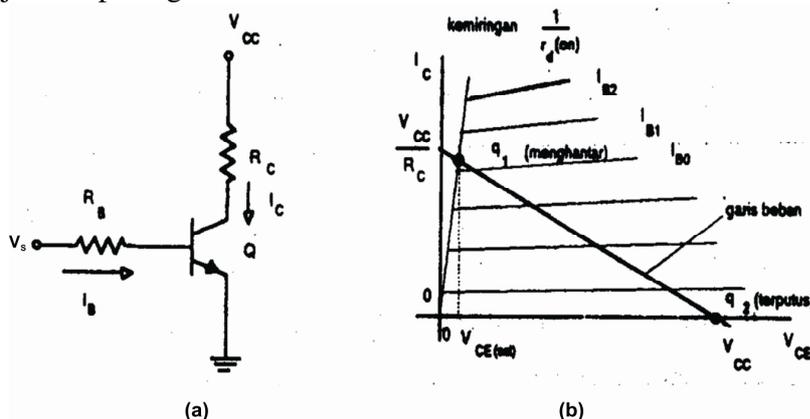
Dalam penelitian yang dilakukan, daya dari relai yang digunakan sebesar 12 watt. Kontak *Normally Open* akan membuka ketika tidak ada arus mengalir pada kumparan, tetapi tertutup secepatnya setelah kumparan menghantarkan arus atau diberi tenaga. Kontak *Normally Close* akan tertutup apabila kumparan tidak diberi arus dan membuka ketika diberi arus. (Petruzella, 1996: 371-372).



Gambar 5. a. Relai elektromekanis (NO dan NC). b. Simbol relai

**Saklar Transistor**

Transistor juga bisa sebagai saklar dimana transistor dibuat agar hanya ada pada dua keadaan yaitu keadaan saturasi dan keadaan terputus. Pada keadaan saturasi beda tegangan antara kolektor dan emitor sama dengan nol, dan arus yang mengalir mendekati  $V_{CC}/R_C$ . Pada keadaan terputus tegangan antara kolektor dan emitor sama dengan  $V_{CC}$  dan arus kolektor sama dengan nol. Pada keadaan saturasi transistor akan dikatakan menghantar (*ON*) dan pada keadaan terputus transistor dikatakan padam (*OFF*). Rangkaian dasar dari suatu saklar transistor ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. a. Rangkaian saklar transistor, b. Karakteristik keluaran transistor dengan garis beban

Pada gambar rangkaian 6.(b), terlihat bahwa bila arus basis  $I_B = I_{B0}$  maka transistor tepat akan saturasi. Pada keadaan ini beda potensial antara kolektor dan emitor adalah amat kecil, yaitu sama dengan  $V_{cc}(sat)$ , arus kolektor yang mengalir hampir sama dengan  $V_{CC}/R_C$ , dan hambatan kolektor adalah kebalikan dari pada kemiringan kurva saturasi dari transistor. Bila arus basis diperbesar menjadi  $I_{B1}$  atau  $I_{B2}$  atau lebih besar lagi, tegangan kolektor  $V_{CE}$  dan arus kolektor  $I_C$  tak berubah nilainya, yaitu masing-masing tetap sama dengan

$V_{CE(sat)}$  dan  $V_{CC}/R_C$ , sehingga keadaan ini diberi nama keadaan saturasi atau keadaan jenuh, sebab nilainya tak berubah walaupun arus basis ditambah terus.

Nilai arus basis tergantung kepada tegangan  $V_S$  yang digunakan untuk menghantarkan transistor (membuat *ON*) dan juga kepada hambatan  $R_B$  yang dipasang seri dengan basis.

Arus basis  $I$  dapat dihitung dari:

$$I_B = \frac{V_S - V_{BE}}{R_B} = \frac{V_S - 0,6V}{R_B} \dots\dots\dots (14)$$

Hubungan antar arus basis dan arus kolektor adalah linier, yang berarti arus kolektor berbanding lurus dengan arus basis kurang dari  $I_{BO}$ , yaitu arus basis yang tepat mengakibatkan keadaan saturasi. Bagian dari garis beban  $q_1$  dan  $q_2$  disebut daerah linier, dimana pada daerah linier tersebut  $I_C = h_{fe} I_B = \beta I_B$ . (Sutrisno, 88-89).

**BAHAN DAN METODE**

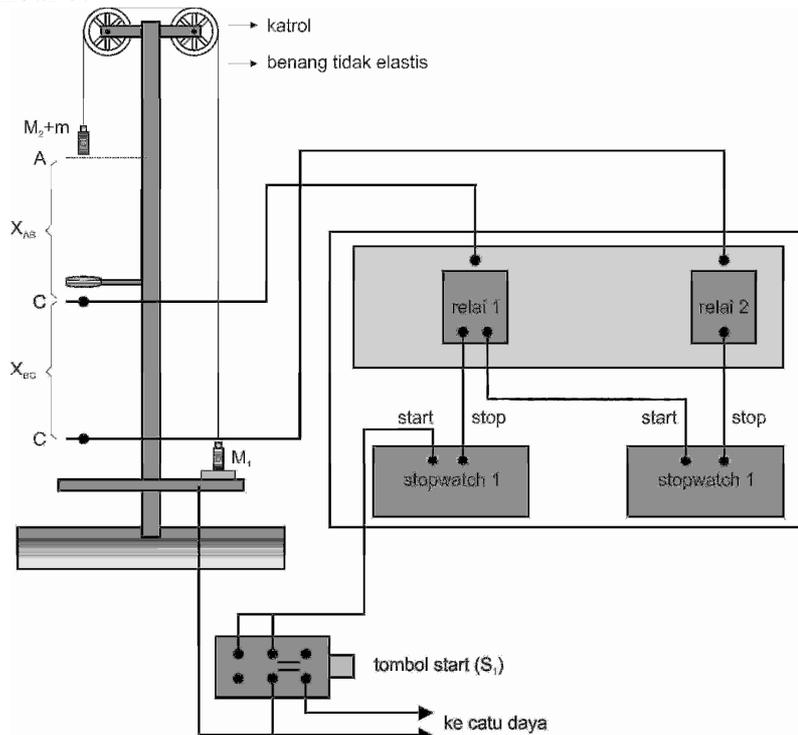
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika FMIPA UNNES. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- |                           |                         |                     |
|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 Dioda IN4148            | 5 PCB                   | 9 Saklar Push On    |
| 2 Transistor BC184C       | 6 Relay                 | 10 Konektor telepon |
| 3 Fototransistor MRD 300  | 7 Catu Daya             | 11 Kabel telepon    |
| 4 LED ( <i>Infrared</i> ) | 8 Resistor 460 $\Omega$ | 12 Stopwatch        |

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu desain pesawat Atwood, perencanaan piranti elektronik pendukung, dan pengambilan data.

**Desain Pesawat Atwood**

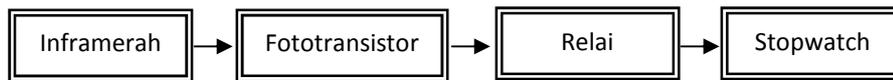
Desain percobaan praktikum pesawat Atwood dengan timer otomatis dapat dilihat seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Desain percobaan Pesawat Atwood

### Perencanaan piranti elektronik pendukung

Desain alat yang akan dipakai dalam eksperimen Pesawat Atwood ini memerlukan pencatatan waktu yang akurat. Berikut ini diagram blok rangkaiannya.

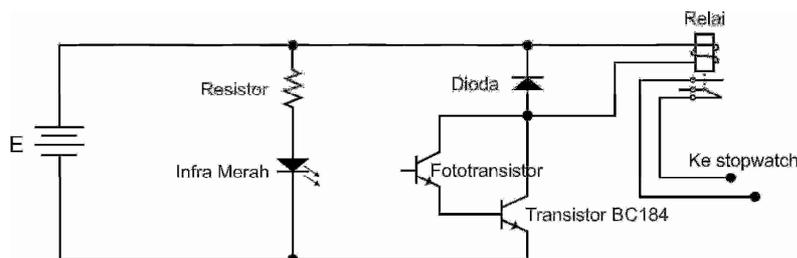


Gambar 8. Diagram blok rangkaian pencatat waktu

#### Desain Pembuatan Pencatat waktu Otomatis.

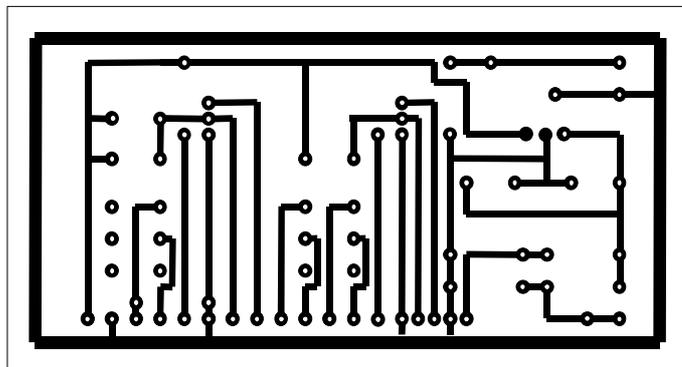
Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan alat ini yaitu:

- Membuat gambar desain rangkaian pencatat selang waktu



Gambar 9. Rangkaian pencatat selang waktu

- Membuat PCB dan rangkaian pencatat selang waktu  
Setelah melakukan desain rangkaian pencatat waktu, tahap selanjutnya yaitu membuat PCB dari rangkaian tersebut.



Gambar 10. Desain PCB

Setelah proses pembuatan PCB selesai, langkah selanjutnya yaitu proses perakitan.

- Perakitan komponen  
Perakitan komponen yaitu pemasangan komponen-komponen ke lubang-lubang yang sudah disiapkan lalu dipatri dengan timah solder. Setelah semua komponen terpasang dengan benar, rangkaian siap diujicobakan.

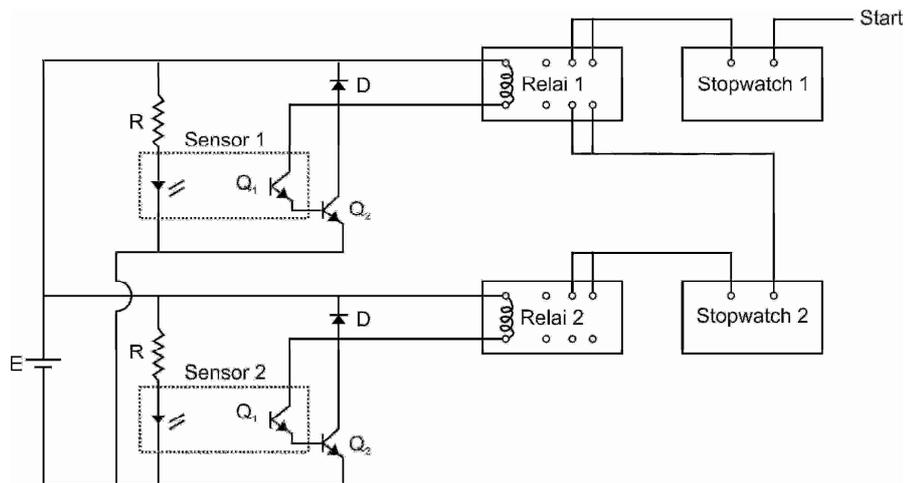
#### Proses Pengambilan Data

1. Massa tambahan dan jarak  $X_{BC}$  tetap, sedangkan jarak  $X_{AB}$  diubah-ubah.
  - a. Menimbang massa beban  $M_1$  dan  $M_2$  serta beban tambahan  $m_1, m_2, m_3$
  - b. Memasang sensor 1 dan sensor 2 serta elektromagnet pada statif serta menentukan jarak  $X_{AB}$  dan  $X_{BC}$ .
  - c. Memasang tali pada katrol dan menggantungkan beban  $M_1$  dan  $M_2$  pada masing-masing ujung tali.

- d. Memberikan massa tambahan  $m$  pada beban  $M_2$  kemudian melepaskan beban  $M_1$  dengan jalan menekan saklar  $S_1$ , sehingga beban  $M_1$  akan naik dan beban  $(M_2+m_1)$  akan turun. Pada saat  $S_1$  di tekan secara otomatis stopwatch 1 akan mulai menghitung dan setelah  $(M_2+m)$  melewati sensor 1 maka stopwatch 1 akan berhenti. Kemudian mencatat waktu yang diperlukan oleh  $(M_2+m_1)$  untuk bergerak dari kedudukan A sampai ke sensor 1 (ke penahan B) yaitu dengan  $t_{AB}$ , setelah  $m_1$  tersangkut di penahan B. Pada saat  $(M_2+m_1)$  melewati sensor 1 (melewati penahan B) secara otomatis stopwatch 2 akan mulai menghitung dan setelah  $M_2$  melewati sensor 2 (kedudukan C) maka stopwatch 2 akan berhenti. Kemudian mencatat waktu yang diperlukan oleh  $M_2$  untuk bergerak dari kedudukan B ke kedudukan C yaitu  $t_{BC}$ .
- e. Mengubah jarak  $X_{AB}$  dan jarak  $X_{BC}$  dibuat tetap, kemudian melakukan percobaan seperti langkah b.
2. Massa tambahan dan jarak  $X_{AB}$  tetap, sedangkan jarak  $X_{BC}$  diubah-ubah.
  - a. Melakukan langkah-langkah seperti pada point a sampai dengan c pada percobaan 1.
  - b. Memberikan massa tambahan  $m_1$  pada beban  $M_2$  kemudian melepaskan beban  $M_1$  dengan jalan menekan saklar  $S_1$ , sehingga beban  $M_1$  akan naik dan beban  $(M_2+m_1)$  akan turun. Pada saat  $S_1$  di tekan secara otomatis stopwatch 1 akan mulai menghitung dan setelah  $(M_2+m_1)$  melewati sensor 1 maka stopwatch 1 akan berhenti. Kemudian mencatat waktu yang diperlukan oleh  $(M_2+m_1)$  untuk bergerak dari kedudukan A sampai ke sensor 1 (ke penahan B) yaitu dengan  $t_{AB}$ , setelah  $m_1$  tersangkut di penahan B. Pada saat  $(M_2+m_1)$  melewati sensor 1 (melewati penahan B) secara otomatis stopwatch 2 akan mulai menghitung dan setelah  $M_2$  melewati sensor 2 (kedudukan C) maka stopwatch 2 akan berhenti. Kemudian mencatat waktu yang diperlukan oleh  $M_2$  untuk bergerak dari kedudukan B ke kedudukan C yaitu  $t_{BC}$ .
  - c. Mengubah jarak  $X_{BC}$  dan jarak  $X_{AB}$  dibuat tetap, kemudian melakukan percobaan seperti langkah b.
3. Massa total beban dibuat konstan.
  - a. Melakukan langkah-langkah seperti pada point a sampai dengan c pada percobaan 1.
  - b. Memberikan massa tambahan  $(m_1, m_2, m_3)$  pada beban  $M_2$
  - c. Melepaskan beban  $M_1$  dengan jalan menekan saklar  $S_1$ , sehingga beban  $M_1$  akan naik dan beban  $(M_2+ m_{tambahan})$  akan turun. Pada saat  $S_1$  di tekan secara otomatis stopwatch 1 akan mulai menghitung dan setelah  $(M_2+ m_{tambahan})$  melewati sensor 1 maka stopwatch 1 akan berhenti. Kemudian mencatat waktu yang diperlukan oleh  $(M_2+ m_{tambahan})$  untuk bergerak dari kedudukan A sampai ke sensor 1 (ke penahan B) yaitu dengan  $t_{AB}$ .
  - d. Memindahkan massa tambahan  $(m_1+m_2+m_3)$  satu persatu dari beban  $M_2$  ke beban  $M_1$ , kemudian melakukan percobaan seperti pada langkah c.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini adalah Pesawat Atwood dilengkapi dengan sensor peka cahaya (fototransistor) yang dapat digunakan sebagai pencatat waktu dan bisa bekerja secara otomatis. Skema rangkaian terlihat pada gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. Rangkaian sensor peka cahaya (fototransistor) pada praktikum pesawat Atwood

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah alat tersebut layak digunakan atau tidak, pengujian ini dilakukan dengan mengukur tegangan masukan dari sensor dan mengukur tegangan keluaran yang dihasilkan. Relai yang digunakan yaitu: relai seri 4078-2C-12V-0.36 1A.

Adapun spesifikasi dari alat ini ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian saat sensor photogate tidak terhalang oleh beban

Sensor	V <sub>CC</sub> (volt)	Arus (I <sub>R</sub> ) (mA)	I <sub>E</sub> Sensor (μA)	Intensitas (Lux)	V <sub>output</sub> (volt)	Ketelitian alat
1	12	22,5	55,4	13	11,07	0,01 sekon
2	12	22,5	54,9	13	11,07	0,01 sekon

Tabel 2. Hasil pengujian saat sensor photogate terhalang oleh beban

Sensor	V <sub>CC</sub> (volt)	Arus (I <sub>R</sub> ) (mA)	I <sub>E</sub> Sensor (μA)	Intensitas (Lux)	V <sub>output</sub> (volt)	Ketelitian alat
1	12	22,5	0,6	4	1,2	0,01 sekon
2	12	22,5	0,6	4	1,2	0,01 sekon

Dari hasil penelitian tersebut maka rangkaian ini dapat digunakan untuk eksperimen dalam fisika yang memerlukan penghitungan waktu. Hasil penelitian ini telah diterapkan pada eksperimen Pesawat Atwood.

Pesawat Atwood dengan timer otomatis yang sudah dibuat telah dilakukan ujicoba pengambilan data dengan tiga variasi percobaan. Pertama massa tambahan (m) tetap, jarak X<sub>BC</sub> tetap, sedangkan jarak X<sub>AB</sub> diubah-ubah. Kedua massa tambahan (m) tetap, jarak X<sub>AB</sub> tetap, tetapi jarak X<sub>BC</sub> diubah-ubah. Ketiga massa tambahan (m) diubah-ubah, jarak X<sub>AB</sub> tetap dan massa total (M<sub>1</sub>+M<sub>2</sub>+m<sub>k</sub>+m) dibuat konstan. Data hasil percobaan terlampir.

Waktu 1 (t<sub>1</sub>) dan waktu 2 (t<sub>2</sub>) dapat langsung dilihat pada *Stopwatch 1* dan *Stopwatch 2*. Pada saat tombol start ditekan maka elektromagnet akan kehilangan sifat kemagnetannya, sehingga M<sub>1</sub> akan bergerak ke atas. Bersamaan dengan itu maka *Stopwatch 1* akan mencatat waktu tempuh (M<sub>1</sub>+m) yang bergerak dari posisi A ke B atau gerak GLBB.

Ketika (M<sub>2</sub>+m) belum menghalangi sensor 1, cahaya yang cukup kuat dari Inframerah tepat mengenai fototransistor yang menyebabkan fototransistor akan mengalir arus. Arus emitor dari fototransistor Q<sub>1</sub> akan memicu basis transistor Q<sub>2</sub>, dengan demikian akan mengalir arus kolektor melalui Q<sub>2</sub> yang akan menggerakkan relai. Relai yang digunakan ini merupakan kontak start/stop dari stopwatch.

Pada saat ( $M_2+m$ ) melewati sensor 1, cahaya dari fototransistor terhalang oleh beban  $M_2$  sehingga basis fototransistor  $Q_1$  tidak cukup arus untuk mensaklar transistor  $Q_1$ . Oleh karena itu pada basis tidak ada arus yang mengalir, hal ini menyebabkan arus kolektor turun yang menjadikan relai dalam keadaan off. Ketika relai off, kontak start/stop dari stopwatch akan terhubung, yang mengakibatkan stopwatch 1 stop dan stopwatch 2 start.

Pada saat  $M_2$  melewati sensor 2 (merupakan gerak GLB), cahaya dari fototransistor terhalang oleh beban  $M_2$  sehingga basis fototransistor  $Q_1$  tidak cukup arus untuk mensaklar transistor  $Q_1$ . Oleh karena itu pada basis tidak ada arus yang mengalir, hal ini menyebabkan relai dalam keadaan off. Ketika relai off kontak stop dari stopwatch akan terhubung, yang mengakibatkan stopwatch 2 stop. Dioda D digunakan untuk mencegah terjadinya GGL induksi pada kumparan relai.

Timer yang digunakan pada penelitian ini berupa stopwatch yang mempunyai skala terkecil 0,01 detik, dimana stopwatch tersebut dapat bekerja secara otomatis pada saat beban M menghalangi sensor 1 dan sensor 2 yang terpasang pada statif. Penggunaan Timer otomatis pada percobaan Pesawat Atwood ini mempunyai beberapa kelebihan antara lain: didapatkan data hasil percobaan yang lebih teliti bila dibandingkan dengan cara manual, serta dapat mengukur waktu tempuh untuk jarak yang sangat dekat.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa telah dibuat peralatan pencatat selang waktu otomatis dengan menggunakan sensor peka cahaya (fototransistor) dan dapat digunakan pada percobaan Pesawat Atwood. Hasil perhitungan untuk percepatan gravitasi pada praktikum pesawat atwood yang menggunakan sensor peka cahaya adalah:  $9,791 \text{ m/s}^2$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, 1999. *Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, 1999. *Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- Lukmanto, Yudi, 2003. **Skripsi: Eksperimen Pesawat Atwood berbantuan Komputer**
- Paul, 1983. *Industrial Electronics*. Mc Graw-Hill Publising Company LTD. New York.
- Petruzella, Frank, 1996. *Industrial Electronics*. (terjemahan Sumanto). Yogyakarta: Andi.
- Sears, 2002. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Susanto, Hadi, 2003. *Petunjuk Praktikum Fisika Dasar I*. Semarang: Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA IKIP Semarang
- Surya, Yohanes, 2000. *Mekanika*. Jakarta: TOFI.
- Sutrisno, 1984. *Fisika Dasar (mekanika)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- , 1986. *Elektronika Teori dan Penerapannya Jilid 1*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- , 1987. *Elektronika Teori dan Penerapannya Jilid 2*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- , 1987. *Elektronika Lanjutan Teori dan Penerapannya*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tipler, Paul A, 1998. *Fisika Untuk Sains dan teknik*. Terjemahan Prasetio, Lea. Jakarta: Erlangga.
- Woollard, Barry, 1988. *Elektronika Praktis*. Jakarta: Pradnya Paramita.

