

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Sebelumnya**

Khusnul Khotimah, Sparisoma Viridi, dan Siti Nurul Khotimah (2011) dalam penelitian yang berjudul “AYUNAN SEDERHANA: PENGARUH PANJANG TALI, SUDUT AWAL, DAN MASSA BANDUL TERHADAP PERIODE SERTA MENENTUKAN KONSTANTA REDAMAN” tertulis bahwa suatu system ayunan sederhana terdiri dari bola dan tali. Bola dan tali dianggap sebagai suatu massa titik. Tali dianggap ideal, yaitu tak bermassa serta tak dapat mulur. Panjang tali, sudut simpangan ayunan, dan massa bandul divariasikan untuk melihat pengaruh parameter-parameter ini terhadap periode ayunan.

Dengan menggunakan set pengukuran dengan sensor yang diproduksi oleh vernier, teramati bahwa nilai rata-rata periode ayunan sebanding dengan akar dari panjang tali dan sebanding dengan besar sudut awal simpangan

ayunan, sedangkan massa bola tidak mempengaruhi nilai rata-rata periode ayunan. Secara umum nilai periode mengecil dengan bertambahnya waktu karena adanya redaman akibat gesekan udara. Pengukuran ini memberikan konstanta redaman rata-rata  $0,002 \pm 0,001$ . Dengan menganggap bahwa redaman akibat gesekan udara sama. Pengukuran lain dilakukan dengan merekam ayunan sederhana yang sama, dengan menggunakan kamera video yang kemudian hasilnya diolah dengan *software Video Studio 8* untuk mendapatkan data simpangan. Dari pengukuran ini diperoleh bahwa konstanta redaman rata-rata adalah  $0,004 \pm 0,002$ . Konstanta redaman yang diperoleh dari kedua alat memiliki nilai yang seorde.

Fendik Dwiatmoko, Dzulkiflih (2019) dalam penelitian yang berjudul “RANCANG BANGUN PERCOBAAN BANDUL FISIS BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK MENENTUKAN PERIODE MINIMUM” pada penelitian ini adalah

bertujuan untuk menentukan periode minimum pada kit bandul fisis berbasis *mikrokontroller*. Penentuan periode dilakukan dengan sistem pendulum yang merupakan bandul fisis, dikatakan bandul fisis yaitu suatu benda tegar yang berosilasi bebas pada sumbu tertentu. Pada perancangan digunakan sensor *rotary encoder* untuk mengukur nilai periode bandul.

Dalam penelitian tersebut, dilakukan manipulasi jarak antara titik poros dan pusat massa ( $L_{cg}$ ) untuk mengetahui nilai periode minimum. Selain itu, untuk mengetahui pengaruh dari simpangan, maka dilakukan manipulasi sudut  $16^\circ$  sampai  $25^\circ$  pada masing-masing  $L_{cg}(m)$ . dengan percepatan gravitasi sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$ , didapatkan nilai periode teori sebagai pembandingan nilai periode alat. Nilai kesalahan terendah penentuan periode sebesar  $0,24\%$  pada jarak ( $L_{cg}$ )  $0,04m$  dan nilai kesalahan maksimum  $1,81$  pada jarak ( $L_{cg}$ )  $0,08m$ . Periode ( $T$ ) tidak banyak dipengaruhi oleh sudut simpangan ( $\phi$ ). Sedangkan jarak titik poros ke pusat massa ( $L_{cg}$ ) berpengaruh terhadap osilasi

sehingga mempengaruhi periode ( $T$ ). Semakin pendek jarak titik poros ke pusat massa ( $L_{cg}$ ) tidak juga semakin minimum nilai periode ( $T$ ). Periode minimum terletak di jarak ( $L_{cg}$ ) 0,12m atau ditengah antara titik poros dan pusat massa.

Galih Setyawan, Suparwoto (2015) dalam penelitian yang berjudul “MODIFIKASI ALAT UKUR GRAVITASI BUMI MODEL AYUNAN MATEMATIS DENGAN SENSOR OPTOCOUPLER” tertulis bahwa telah dilakukan modifikasi alat ukur gravitasi bumi model ayunan matematis dengan sensor *optocoupler*. Tujuan dari modifikasi alat ukur gravitasi bumi tersebut adalah untuk memberikan kemudahan dan ketelitian dalam penentuan nilai gravitasi bumi. Alat tersebut dirancang dengan segala kemudahan, terutama dalam hal ketelitian pengukuran waktu untuk satu kali osilasi bandul. Resolusi waktu alat yang telah dibuat tersebut adalah dalam orde milidetik.

Metode yang digunakan untuk menentukan nilai gravitasi adalah dengan model ayunan

matematis yang sudah dimodifikasi. Sensor *optocoupler* akan membaca gerakan dari bandul yang melewati sensor tersebut. Setelah satu kali bandul berosilasi, penghitung waktu akan secara otomatis berhenti dan menunjukkan nilai waktunya. Bandul yang digunakan tersebut terbuat dari besi berbentuk bola dan set alat terbuat dari bahan aluminium.

Nilai gravitasi yang didapatkan dari alat tersebut adalah  $9,75 \text{ m/s}^2$ . Hasil tersebut dapat berubah semakin baik atau sebaliknya tergantung dari percobaan yang dilakukan. Percobaan yang dilakukan harus sesuai dengan standar kerja alat tersebut. Apabila standar kerja dilaksanakan dengan baik, maka akan dihasilkan nilai gravitasi yang mendekati nilai gravitasi sesuai tempat dilakukan percobaan tersebut.

## **2.2 Teori Pendukung Penelitian**

### **2.2.1 Bandul**

Bandul adalah benda yang terikat pada sebuah tali dan dapat berayun secara

bebas dan periodik yang menjadi dasar kerja dari sebuah jam dinding kuno yang mempunyai ayunan. Dalam bidang fisika, prinsip ini ditemukan pada tahun 1602 oleh Galileo Galilei, bahwa perioda (lama gerak osilasi satu ayunan,  $T$ ) dipengaruhi oleh panjang tali dan percepatan gravitasi (Tripler, 1991: 21).



Gambar 2.1 Sistem Bandul

Sumber: Jurnal Arina Wardha, 2019

Dalam fisika getaran diartikan sebagai gerakan bolak-balik yang melalui titik keseimbangan. Getaran terjadi di sekitar titik seimbang. Perhatikan gambar 2.1 di atas. Titik A merupakan titik keseimbangan benda sedangkan titik B dan

titik C merupakan amplitudo atau titik terjauh yang dapat dicapai benda. Amplitudo disimbolkan dengan A dengan satuan meter. Satu getaran penuh jika benda bergerak dari A-B-A-C-A, sedangkan jika benda bergerak dari A-B-A maka benda hanya bergerak setengah getaran.

Sebuah gerak harmonik sederhana memiliki sebuah periode. Periode adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu benda untuk melakukan satu getaran. Atau secara matematis periode merupakan waktu yang dibutuhkan gerak bolak-balik secara utuh. Dituliskan dengan persamaan:

$$T = \frac{t}{n} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

T = Periode (s)

t = Waktu (s)

n = Banyaknya getaran

Untuk mencari banyaknya getaran (n), dapat dituliskan dengan persamaan:

$$n = \frac{n_1 - 1}{2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Bandul yang dipergunakan pada percobaan ini ada dua jenis, yaitu bandul mekanis dan bandul fisis.

### **2.2.1.1 Bandul Matematis**

Sebuah benda yang massanya dianggap sebagai sebuah partikel yang terletak dipusat massanya, diikat dan digantung dengan tali lentur pada titik tetap. Bila benda itu diberi simpangan awal sehingga tali membentuk sudut yang cukup kecil terhadap arah vertikal dan kemudian benda dilepaskan, maka benda akan berayun di sekitar titik setimbangnya pada sebuah bidang datar vertikal dengan frekuensi tetap. Sistem yang demikian itu disebut bandul sederhana atau bandul matematis.

Bandul sederhana adalah sistem mekanik lain yang menunjukkan gerak periodik. Bandul terdiri atas cakram yang menyerupai partikel bermassa  $m$  yang digantung pada seutas tali



ringan dengan panjang  $L$  yang bagian atasnya tidak bergerak. (dikatakan ke suatu titik). Gerak terjadi pada bidang vertikal dan disebabkan oleh gaya gravitasi. Kita akan menunjukkan bahwa saat sudut  $\theta$  kecil (kurang dari  $10^\circ$ ), gerak yang terjadi sangat mirip dengan gerak osilator harmonik sederhana.



Gambar 2.2 Bandul matematis

Sumber: Jurnal Rizki dkk, 2015

Pada bandul matematis,  $mg \sin\theta$  disebut sebagai gaya pemulih. Berdasarkan hukum newton untuk gerak rotasi, dapat dituliskan.

$$\sum \tau = I\alpha$$

$$-(mg \sin\theta)l = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgl \sin\theta}{I} = 0$$

Karena  $I$  adalah momen inersia bandul, dengan  $I = ml^2$ , sehingga akan diperoleh:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgl \sin\theta}{I} = 0, \text{ untuk } \theta \ll \text{ maka } \sin\theta = \theta$$

Sehingga,

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \theta = 0 \dots \dots \dots (2.3)$$

Dari persamaan, diperoleh bahwa  $\omega^2 = \frac{g}{l}$ , sehingga periode bandul sederhana itu adalah:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan,

$T$  = periode osilasi (s)

$l$  = panjang tali penggantung bandul (m)

$g$  = percepatan gravitasi bumi ( $\text{m/s}^2$ )

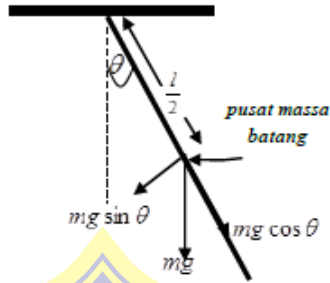
Dengan kata lain, periode dan frekuensi bandul hanya bergantung pada pangjang tali

dan percepatan yang diakibatkan oleh gravitasi. Oleh karena periode tidak bergantung pada massa, maka kita simpulkan bahwa semua bandul sederhana dengan panjang yang sama dan berada pada lokasi yang sama (sehingga  $g$  konstan) akan beresilasi dengan periode yang sama pula.

Sebuah pendulum sederhana, atau suatu variasinya juga merupakan alat yang tepat dan menyakinkan untuk pengukuran percepatan gravitasi  $g$ , karena  $L$  dan  $T$  dapat diukur dengan mudah dan tepat. Pengukuran-pengukuran seperti itu sering digunakan dalam geofisika.

### **2.2.1.2 Bandul Fisis**

Bandul fisis ialah bandul yang berbentuk batang yang mana apabila bandul tidak diberi beban maka pusat massanya berada di tengah batang dan apabila diberi beban maka pusat massa berada di tengah beban tersebut.



Gambar 2.3 Bandul fisis

Sumber: Jurnal Rizki dkk, 2015

Untuk bandul fisis perhatikan gambar 2.3, berdasarkan hukum newton dapat ditulis,

$$\sum \tau = I a$$

$$-(mg \sin \theta) \times \frac{1}{2} = I \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{mg \sin \theta}{I} = 0$$

Karena  $I$  adalah momen inersia batang yang diputar di ujung bandul, dengan  $I = \frac{1}{3} ml^2$ , sehingga akan diperoleh:

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{(mg \sin \theta) \frac{1}{2}}{\frac{1}{3} ml^2} = 0$$

Untuk  $\theta \ll$  maka  $\sin \theta = \theta$  sehingga,

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{3g}{2l}\theta = 0 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dari persamaan di atas diperoleh bahwa  $\omega^2 = \frac{g}{l}$ , sehingga periode bandul sederhana itu adalah:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2l}{3g}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan, gravitasi bumi ( $m/s^2$ )

Periode dari bandul fisis juga dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{K^2 + \alpha^2}{\alpha g + K^2}}$$

$$g = \frac{4\pi^2 \alpha}{T^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

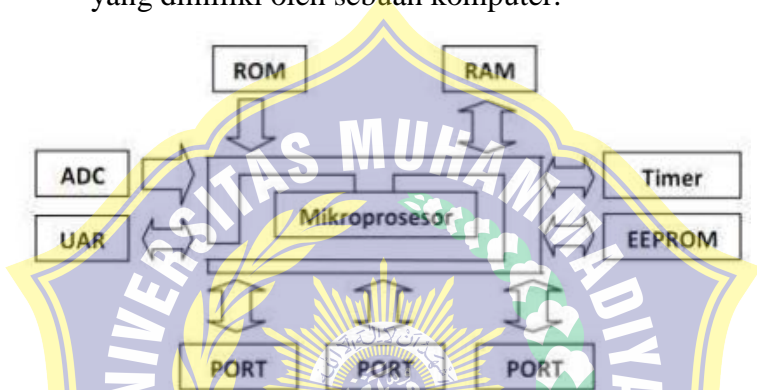
K = radius girasi pusat massa (cm)

$\alpha$  = jarak titik gantung pusat massa (m)

### 2.2.2 Mikrokontroler

Menurut Bejo (2008: 1), *mikrokontroler* dapat dianalogikan dengan sebuah sistem

komputer yang dikemas dalam sebuah *chip*. Artinya bahwa di dalam sebuah mikrokontroler sudah terdapat kebutuhan minimal mikroprosesor, yaitu ROM, RAM, I/O, dan *clock* seperti halnya yang dimiliki oleh sebuah komputer.



Gambar 2.4 Diagram Blok Rangkaian Internal Mikrokontroler

Sumber: Sasongko, 2012

- Mikroprosesor : Unit yang mengeksekusi program dan jalur data, jalur alamat, dan jalur kendali perangkat-perangkat yang terhubung dengannya.
- ROM (*Read Only Memory*) : Memori untuk menyimpan program yang dapat dieksekusi oleh mikroprosesor. Bersifat *non volatile*

artinya dapat mempertahankan data di dalamnya walaupun tanpa sumber tegangan. Saat sistem ini berjalan, memori ini bersifat *read only* (hanya bisa baca).

- RAM (*Random Acces Memory*) : Memori untuk menyimpan data sementara yang diperlukan saat eksekusi program. Memori ini bisa digunakan untuk baca tulis.
- Port I/O : *Port Input/Output* sebagai pintu masukan atau keluaran bagi *mikrokontroler*. Umumnya sebuah port bisa difungsikan sebagai *port* masukan atau *port* keluaran tergantung kontrol yang dipilih.
- Timer : Pewaktu yang bersumber dari osilator *mikrokontroler* atau sinyal masukan ke *mikrokontroler*. Program *mikrokontroler* bisa memanfaatkan *timer* untuk menghasilkan pewaktu yang cukup akurat.
- EEPROM : Memori untuk menyimpan data yang sifatnya *non volatile*.
- ADC : Konverter sinyal Analog menjadi data Digital.

- UART : Sebagai antarmuka komunikasi serial *asynchronous*.

### 2.2.3 Arduino Uno

Menurut Syahwil (2013), *Arduino* merupakan kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah *chip mikrokontroler* jenis AVR dari Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah sebuah *chip* atau IC (*Integrated Circuit*) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada *mikrokontroler* adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca *input*, memproses *input* tersebut kemudian menghasilkan *output* sesuai yang diinginkan. Jadi *mikrokontroler* bertugas sebagai “otak” yang mengendalikan *input*, proses dan *output* sebuah rangkaian elektronik.

Secara umum, *Arduino* terdiri dari dua bagian yaitu:

- 1) *Hardware* berupa papan *input/output (I/O)* yang *open source*.



- 2) *Software Arduino* yang juga *open source*, meliputi *software Arduino IDE* untuk menulis program dan *driver* untuk koneksi dengan komputer.

### 2.2.3.1 Kelebihan *Arduino*

*Arduino* merupakan *platform mikrokontroler* yang bertujuan menyederhanakan berbagai macam kerumitan maupun detail rumit pada pemrograman *mikrokontroler* sehingga menjadi paket yang mudah digunakan. Selain kelebihan tersebut, *Arduino* menjadi juga menawarkan berbagai keunggulan lainnya seperti berikut:

- 1) Ekonomis, biaya pembuatan *board Arduino* cukup murah dibanding dengan *platform mikrokontroler* lainnya.
- 2) Sederhana dan mudah pemrogramannya. *Arduino* sangat ramah bagi pengguna pemula karena memang dikembangkan dalam dunia pendidikan.

- 3) Perangkat lunaknya *open source*.  
Perangkat lunak *Arduino IDE* dipublikasikan secara *open source*.
- 4) Perangkat kerasnya *open source*.
- 5) Tidak perlu perangkat *chip programmer*.  
Tersedia *bootloader* yang menangani *upload* program dari komputer.
- 6) Sudah memiliki sarana komunikasi USB.  
Sehingga memudahkan pengguna komputer terbaru yang tidak memiliki *port serial/RS323* bisa menggunakannya.
- 7) Bahasa pemrograman relatif mudah, karena *software Arduino* dilengkapi kumpulan *library* yang cukup lengkap.
- 8) Memiliki modul siap pakai (*shield*) yang bisa ditancapkan pada *board Arduino*, misalkan *shield GPS, Ethernet, SD Card*, dll.

### **2.2.3.2 Hardware Arduino Uno R3**

Ada beberapa jenis *board Arduino* yang disesuaikan dengan kebutuhan. Pada sub bab

ini akan dijabarkan *Arduino Uno R3* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2.5 *Arduino Uno R3*

Sumber: foto pribadi

Tabel 2.1 di bawah ini menunjukkan spesifikasi perangkat *Arduino Uno R3* yang digunakan dalam penelitian ini.

**Tabel 2.1 Spesifikasi *Arduino Uno R3***

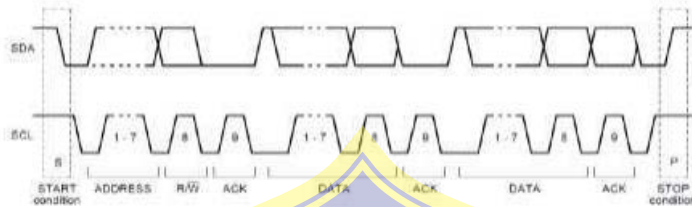
| <b>Parameter</b>            | <b>Spesifikasi</b>                  |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| <i>Mikrokontroler</i>       | ATMega328                           |
| Tegangan operasional        | 5V                                  |
| Tegangan <i>input</i>       | 7-12V                               |
| Batas tegangan <i>input</i> | 6-20V                               |
| Pin digital I/O             | 14 (dimana 6 pin <i>output</i> PWM) |
| Pin analog <i>input</i>     | 6                                   |

|                     |   |
|---------------------|---|
| Arus DC per pin I/O | 40 mA   |
| Arus DC untuk 3,3V  | 50 mA   |
| <i>Flash Memory</i> | 32KB (ATMega328),<br>0,5KB digunakan<br>sebagai <i>bootloader</i> |
| SRAM                | 2KB (ATMega328)   |
| EEPROM              | 1KB (ATMega328)   |
| <i>Clock</i>        | 16 MHz  |

#### 2.2.4 Komunikasi I<sup>2</sup>C (*Inter-Integrated-Circuit*)

Biasanya disebut I<sup>2</sup>C, bus I2C atau IIC bus. Pada awalnya dikembangkan sebagai bus control untuk menghubungkan *mikrokontroler* dan *peripheral IC* (Raafat. S Habeeb, 2011). *Inter-Integrated-Circuit* atau sering disebut sebagai komunikasi I2C adalah komunikasi yang dikembangkan oleh Philips *Semiconductor*, yang hanya menggunakan dua jalur data yang digunakan untuk mengirim dan menerima data (*bi-directional*) dan jalur *clock* yang digunakan untuk mengirim sinyal sinkronasi. *Protocol I2C* untuk pengiriman

satu *byte* data dapat dilihat pada gambar 2.4 (Nianda AjiPratama, 2014).



Gambar 2.6 Protokol Komunikasi I<sup>2</sup>C

Sumber: Kugelstadt, 2011

Dari gambar 2.6 dapat dijelaskan bagaimana pengiriman satu *byte* data yang digambarkan dengan dua buah sinyal pada jalur SCL dan jalur SDA, dimulai dari transisi *high* ke *low* sampai pada transisi *low* ke *high* pada sinyal SCL. Untuk lebih jelas pengiriman satu *byte* data dapat dilihat pada table 2.2.

**Tabel 2.2 Pengiriman satu bit data pada transisi PC**

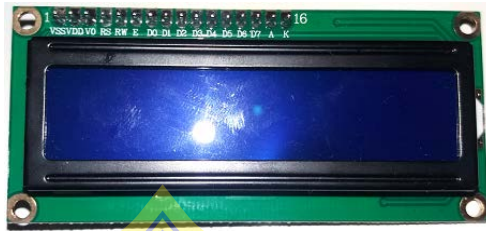
| Bit Penyusun      | Keterangan  |
|-------------------|---|
| S = Start (1-bit) | Transisi <i>high</i> ke <i>low</i> pada SDA dimana kondisi SCL high menandakan awal dari sebuah <i>frame</i> data yang dikirim. |

|                 |  |
|-----------------|--|
| SLAVE           | Digunakan untuk menentukan alamat <i>peripheral</i> eksternal.   |
| ADDRESS (7-bit) | Yang akan diakses  |
| R/W (1-bit)     | Bit ini digunakan untuk menentukan operasi baca atau tulis data dari <i>peripheral</i> eksternal. Bit bernilai 1 mengandung arti operasi baca dan bernilai 0 mengandung operasi tulis.   |
| A = ACK (1-bit) | Bit ini digunakan untuk menentukan operasi baca atau tulis data dari <i>peripheral</i> yang diakses, jika bit ACK bernilai 1 mengandung arti tidak adanya respon dari <i>peripheral</i> (transmisi data bermasalah), sebaliknya jika bit ACK bernilai 0 maka ada respon dari <i>peripheral</i> yang diakses. |
| DATA (8-bit)    | 8 bit data yang akan ditulis atau dibaca <i>peripheral</i> .   |
| P = Stop        | Transisi <i>low</i> ke <i>high</i> pada SDA dimana kondisi SCL <i>high</i>   |

|  |  |
|--|--|
|  | menandakan akhir dari satu <i>frame</i> data yang telah diakses. |
|--|--|

## 2.2.5 *Liquid Crystal Display (LCD)*

*Liquid Crystal Display (LCD)* adalah media tampilan dengan memanfaatkan kristal cair. Modul LCD yang digunakan pada penelitian ini berupa LCD M1632, modul ini dilengkapi dengan mikrokontroler HD44780 sebagai pengendali LCD yang memiliki CGROM (*Character Generator Read Only Memory*) yang digunakan untuk mengembangkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut ditentukan secara permanen dari HD44780, CGRAM (*Character Generator Random Acces Memory*) yang digunakan untuk mengembangkan pola sebuah karakter dan DDRAM (*Display Data Random Acces Memory*) sebagai memori tempat kedudukan karakter yang ditampilkan. LCD M1632 memiliki konsumsi daya yang rendah dan memiliki tampilan 16 x 2 karakter. Tabel 2.3 berikut ini adalah konfigurasi *output* pin LCD (Nianda Aji Pratama).



Gambar 2.7 LCD M1632

Sumber: foto pribadi

**Table 2.3 Deskripsi *pin out* LCD**

| <b>Nama Pin</b> | <b>Diskripsi</b>   |
|-----------------|--|
| VCC             | +5V  |
| GND             | 0V   |
| VEE             | <i>Contrast Adjust</i>   |
| RS              | <i>Register Select, 0 = register perintah,<br/>1 = register data</i> |
| R/W             | <i>1 = Read, 0 = Write</i>   |
| EN              | <i>Enable clock LCD</i>  |
| D0-D7           | <i>Data Bus 0 sampai 7</i>   |
| +/-             | <i>Tegangan positif/negatif backlight</i>                            |



### 2.2.6 Light Sensor Module

*Light Sensor Module* merupakan modul dengan sensor cahaya (LDR) yang digunakan dengan cara menghubungkannya ke modul *mikrokontroler Arduino* untuk keperluan sensor / *auto switch* / robotika dan proyek lainnya. Modul ini memungkinkan untuk pendeteksian kecerahan dan intensitas cahaya lingkungan sekitar dengan menggunakan *chip* komparator LM393. Tegangan operasi modul LDR ini adalah 3.3V-5V. Modul ini menghasilkan sinyal analog dan digital, yang dapat digunakan untuk memicu modul lain dengan tipe keluaran *output* tegangan analog – A0, *output switching* digital (0 dan 1) – D0.

Berikut adalah cara menggunakan Modul LDR ini:

- 1) Modul resistor fotosensitif yang paling peka terhadap intensitas cahaya lingkungan umumnya digunakan untuk mendeteksi kecerahan dan intensitas cahaya di sekitar.
- 2) Ketika kondisi lampu modul atau intensitas cahaya mencapai ambang batas yang ditetapkan, maka *output* modul D0 rendah.

- 3) Modul keluaran digital D0 dapat langsung mengarahkan modul *relay*, yang dapat terdiri dari fotolistrik.
- 4) Modul *output* analog A0 dan modul AD dapat dihubungkan melalui konverter AD, sehingga mendapatkan nilai intensitas cahaya yang lebih akurat.



Gambar 2,8 Modul LDR

Sumber: foto pribadi

### 2.2.7 Laser dioda

Pada penelitian ini digunakan laser dioda. Sensor ini digunakan sebagai *transmitter* atau pemancar. Laser memiliki panjang gelombang 650nm. Memiliki tegangan operasi sebesar 5 Volt sehingga cocok dengan *Arduino Uno*. Digunakan sensor ini karena memiliki harga yang murah dan memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan sensor bermerek KEYENCE.



Gambar 2.9 Laser dioda

Sumber: foto pribadi

### **2.2.8 Perhitungan Ralat**

Dalam setiap pengukuran selalu timbul ketidakpastian yang disebabkan tidak sempurnanya alat pengukur, tidak tepatnya cara mengukur, kurang sempurnanya panca indra dan lain-lain. Untuk itu diperlukan “teori ralat” yang dapat memberikan gambaran secara agak kuantitatif terhadap ketelitian suatu pengukuran.

### 2.2.8.1 Ralat Sistematis

Digunakan terhadap sumber-sumber kesalahan yang timbulnya dapat diikuti dan dapat dipelajari secara sistematis.

Misalnya :

- a) Jarum penunjuk skala Ampermeter yang seharusnya menunjukkan angka 0,0 Ampere pada saat arus tidak ada, ternyata menunjuk angka 0,5 Ampere. Untuk keadaan ini diperlukan koreksi titik nol = - 0,5 Ampere dan bila ini dipergunakan maka : “Arus yang sebenarnya” = (Arus yang ditunjukkan oleh jarum skala) koreksi titik nol.
- b) Jangka sorong dan Mikrometer sering tidak tepat lagi menunjukkan “titik nol”.
- c) Pada waktu membaca skala barometer air raksa, diperlukan koreksi dan memperhitungkan permuaian air raksa. Demikian pada skala logam yang mudah memuai atau menyusut akibat perubahan temperatur.

Dalam melakukan percobaan-percobaan kita menggunakan koreksi-koreksi terhadap ralat sistematis, sehingga ralat sistematis tidak diperhitungkan untuk menyatakan ralat suatu pengukuran, akan tetapi perlu dituliskan.

#### **2.2.8.2 Ralat Kebetulan**

Berbeda dengan ralat sistematis, Ralat Kebetulan ini sumbernya tidak dapat kita ikuti dan kita tidak dapat mengendalikan ralat ini. Ralat ini terdapat misalnya kalau kita mengadakan pengukuran berulang-ulang, ternyata hasilnya berbeda-beda. Dalam hal ini kita tidak dapat mengadakan koreksi agar hasilnya selalu sama, sehingga untuk mendapatkan harga yang paling mendekati dengan harga sesungguhnya diambil “harga rata-rata”nya saja.

Akan tetapi dalam melakukan pengukuran yang berulang-ulang dengan hasil yang berbeda-beda, diperlukan “ralat suatu pengukuran”. Dengan demikian ralat suatu pengukuran harus dicantumkan pada hasil-

hasil pengukuran dan ralat yang demikian juga disebut “ Ralat Kebetulan”.

Seperti telah diuraikan di atas, jika pengamatan/pengukuran dilakukan berkali-kali pada besaran yang diukur secara langsung hasilnya berbeda, misalnya hasil pengamatan/pengukuran yang dilakukan sebanyak n kali dengan hasil tiap kali  $x_1; x_2; x_3 \dots x_n$ , dimana  $x_i$  yang besarnya  $x_1; x_2; x_3 \dots x_n$ , dinamakan nilai terukur yang merupakan nilai atau harga yang mungkin. Nilai terbaik dari nilai-nilai terukur adalah nilai rata-rata yang juga merupakan nilai yang paling mungkin, jadi nilai terbaiknya ( $\bar{x}$ ) yaitu:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n}$$

.....(2.8)

Untuk menentukan nilai pengamatan yang mungkin, ditentukan nilai terbaik ( $\bar{x}$ ) dengan penyimpangan yang disebut deviasi standart atau harga mutlak. Deviasi standard ini didefinisikan

sebagai akar rata-rata kuadrat deviasianya dan untuk pengamatan di lab. Fisika Dasar umumnya besaran terukur tunggal digunakan rumus :

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Sedangkan deviasi standard relatifnya atau biasa disebut dengan ralat nisbi dapat ditulis :

$$I = \frac{\Delta}{x} 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dalam menyatakan nilai suatu pengukuran, seringkali dinyatakan dengan keseksaman atau ketelitian, yaitu  $100\% - I\%$ . Keseksamaan atau ketelitian dapat dianggap sebagai jaminan akan kebenaran hasil pengamatan.