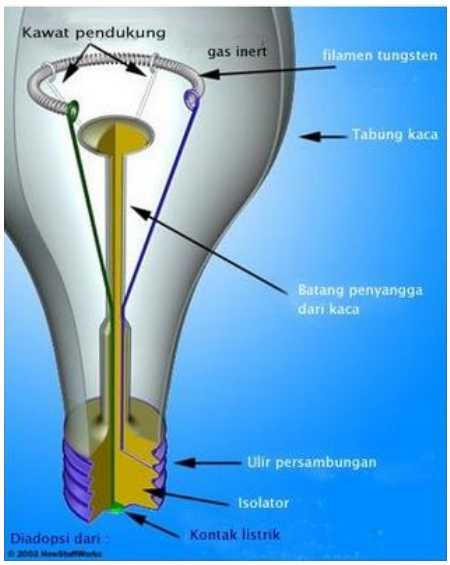
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Lampu DC

Lampu DC adalah lampu pijar yang menghasilkan cahaya dengan cara memanaskan kawat logam filamen sampai ke suhu tinggi sehingga menghasilkan sinar. Filamen panas dilindung dari udara oleh bola kaca yang diisi dengan gas lembam atau divakumkan.

Lampu pijar dibuat dalam berbagai macam bentuk dan tersedia untuk tegangan (voltase) kerja yang bervariasi dari mulai 1,25 volt hingga 300 volt. Energi listrik yang diperlukan lampu pijar untuk menghasilkan cahaya yang terang lebih besar dibandingkan dengan sumber cahaya buatan lainnya seperti lampu pendar dan dioda cahaya, maka secara bertahap pada beberapa negara peredaran lampu pijar mulai dibatasi.



Gambar 2.1. Lampu DC Sebagai Objek Pendeteksian

Di samping memanfaatkan cahaya yang dihasilkan, beberapa penggunaan lampu pijar lebih memanfaatkan panas yang dihasilkan, contohnya adalah

pemanas kandang ayam, dan pemanas inframerah dalam proses pemanasan di bidang industri.

Bola lampu

Selubung gelas yang menutup rapat filamen suatu lampu pijar disebut dengan bola lampu. Macam-macam bentuk bola lampu antara lain adalah bentuk bola, bentuk jamur, bentuk lilin, dan bentuk *lustre*. Warna bola lampu antara lain yaitu bening, warna susu atau buram, dan warna merah, hijau, biru, atau kuning.

Gas pengisi

Pada awalnya bagian dalam bola lampu pijar dibuat hampa udara namun belakangan diisi dengan gas mulia bertekanan rendah seperti argon, neon, kripton, dan xenon atau gas yang bersifat tidak reaktif seperti nitrogen sehingga filamen tidak teroksidasi. Konstruksi lampu halogen juga menggunakan prinsip yang sama dengan lampu pijar biasa perbedaannya terletak pada gas halogen yang digunakan untuk mengisi bola lampu.

Kaki lampu

Dua jenis kaki lampu adalah kaki lampu berulir dan kaki lampu bayonet yang dapat dibedakan dengan kode huruf E (Edison) dan B (Bayonet), diikuti dengan angka yang menunjukkan diameter kaki lampu dalam milimeter seperti E27 dan E14.

Operasi

Pada dasarnya filamen pada sebuah lampu pijar adalah sebuah resistor. Saat dialiri arus listrik, filamen tersebut menjadi sangat panas, berkisar antara 2800 derajat Kelvin hingga maksimum 3700 derajat Kelvin. Ini menyebabkan warna cahaya yang dipancarkan oleh lampu pijar biasanya berwarna kuning kemerahan. Pada temperatur yang sangat tinggi itulah filamen mulai

menghasilkan cahaya pada panjang gelombang yang kasatmata. Hal ini sejalan dengan teori radiasi benda hitam.

Indeks renderasi warna menyatakan apakah warna obyek tampak alami apabila diberi cahaya lampu tersebut dan diberi nilai antara 0 sampai 100. Angka 100 artinya warna benda yang disinari akan terlihat sesuai dengan warna aslinya. Indeks renderasi warna lampu pijar mendekati 100.



Gambar 2.2. Foto yang sangat diperbesar dari filamen lampu pijar 200 Watt.

Lampu putus

Karena temperatur kerja filamen lampu pijar yang sangat tinggi, lambat laun akan terjadi penguapan pada filamen. Variasi pada resistansi sepanjang filamen akan menciptakan titik-titik panas pada posisi dengan nilai resistansi tertinggi.. Pada titik-titik panas tersebut filamen wolfram akan menguap lebih cepat yang mengakibatkan ketebalan filamen akan semakin tidak merata dan nilai resistansi akan meningkat secara lokal; ini akan menyebabkan filamen pada titik tersebut meleleh atau menjadi lemah lalu putus. Variasi diameter sebesar 1% akan menyebabkan penurunan umur lampu pijar hingga 25%. Selain menyebabkan putusnya lampu, penguapan filamen wolfram juga menyebabkan penghitaman lampu. Elemen wolfram yang menguap pada lampu pijar akan mengendap pada dinding kaca bola lampu dan membentuk efek hitam. Lampu halogen menghambat proses ini dengan proses siklus halogen.

Efisiensi

Efisiensi lampu atau dengan kata lain disebut dengan efikasi luminus, adalah nilai yang menunjukkan besar efisiensi pengalihan energi listrik ke cahaya dan dinyatakan dalam satuan lumen per Watt. Kurang lebih 90% daya yang digunakan oleh lampu pijar dilepaskan sebagai radiasi panas dan hanya 10% yang dipancarkan dalam radiasi cahaya kasat mata.

Pada tegangan 120 volt, nilai keluaran cahaya lampu pijar 100W biasanya adalah 1.750 lumen, maka efisiensinya adalah 17,5 lumen per Watt. Sementara itu pada tegangan 230 volt seperti yang digunakan di Indonesia, nilai keluaran bolam 100W adalah 1.380 lumen atau setara dengan 13,8 lumen per Watt. Nilai ini sangatlah rendah bila dibandingkan dengan nilai keluaran sumber cahaya putih "ideal" yaitu 242,5 lumen per Watt, atau 683 lumen per Watt untuk cahaya pada panjang gelombang hijau-kuning di mana mata manusia sangatlah peka. Efisiensi yang sangat rendah ini disebabkan karena pada temperatur kerja, Filamen wolfram meradiasikan sejumlah besar radiasi inframerah.

2.2 Perangkat Keras (Hardware)

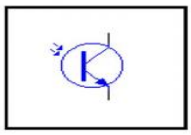
2.2.1 Sensor *Phototransistor* Sebagai Pendeteksi Cahaya



Gambar 2.3. Sensor *Phototransistor*

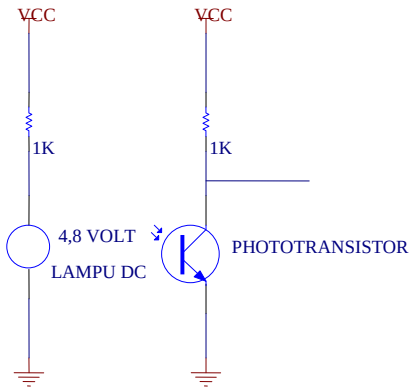
Phototransistor biasa disebut juga *photoduodiode* yang merupakan komponen semikonduktor yang sensitif terhadap cahaya dari p-n *photodiode*. Photodioda langsung mengkonversi photon menjadi bermuatan. Khususnya satu elektron dan satu lubang (lubang- pasangan elektron) per foton. *Phototransistor* dapat melakukan hal yang sama, dan di samping dapat memberikan arus *gain*,

juga menghasilkan kepekaan yang jauh lebih tinggi. Persimpangan kolektor-basis adalah dioda *reverse-bias* yang berfungsi seperti yang dijelaskan sebelumnya. Jika transistor terhubung ke dalam satu sirkuit yang berisi baterai, arus foto induksi mengalir melalui loop, yang meliputi arus pada *basis-emiter*. Ini diperkuat oleh transistor dengan cara yang sama seperti pada transistor konvensional, sehingga menghasilkan peningkatan signifikan pada arus kolektor.



Gambar 2.4. Simbol *Phototransistor*

Biasanya *phototransistor* dirangkai dalam konfigurasi *common-emitter* dengan basis tidak disambungkan dan radiasi cahaya dikonsentrasikan pada daerah sekitar *collector-junction*. Cara kerja komponen ini dapat dimengerti dengan collector-junction di reverse-bias. Phototransistor cukup peka terhadap perubahan intensitas cahaya yang masuk ke dalamnya. Dengan adanya perubahan intensitas cahaya yang masuk ke *phototransistor*, maka akan terjadi perubahan resistansi.



Gambar 2.5. Pendeteksian cahaya lampu oleh sensor *phototransistor*

Phototransistor akan saturasi pada saat menerima sinar infrared dan *cut off* pada saat tidak ada sinar infrared. Sensor *Phototransistor* digunakan untuk

menerima gelombang cahaya yang berasal dari LED infrared yang mengeluarkan gelombang cahaya.

2.2.2 Regulator

Regulator adalah rangkaian pembangkit tegangan yang merupakan rangkaian catu daya. Rangkaian catu daya memberikan supply tegangan pada alat pengendali. Rangkaian catu daya mendapatkan sumber tegangan dari PLN sebesar 220 VAC. Tegangan 220 VAC ini kemudian diturunkan menjadi 9 VAC melalui trafo penurun tegangan.

Tegangan AC 15V disearahkan oleh dioda *bridge* menjadi tegangan DC. Keluaran dari dioda *bridge* ini kemudian masuk ke IC regulator yang fungsinya adalah untuk menstabilkan tegangan.



Gambar 2.6. Dioda *Bridge* Sebagai Penyearah Tegangan

Dioda *Bridge* adalah rangkaian elektronika yang berfungsi menyearahkan gelombang arus listrik. Arus listrik yang semula berupa arus bolak-balik (AC) jika dilewatkan rangkaian penyearah akan berubah menjadi arus searah (DC).

IC regulator terdiri dari 10 buah IC, yaitu LM7805 yang menghasilkan tegangan DC sebesar 5V. Oleh karena tegangan yang diperlukan pada tiap rangkaian sama, maka rangkaian catu daya ini mempunyai 10 buah keluaran tegangan DC, yaitu 5V yang berfungsi untuk memberi supply tegangan pada tiap rangkaian. Kapasitor 100 nF berfungsi untuk membuang *noise* (gangguan) pada tegangan DC. Pada rangkaian, untuk menyearahkan tegangan digunakan dioda *bridge* karena dioda *bridge* mempunyai tegangan *ripple* yang lebih baik dibandingkan diode jenis lain.



Gambar 2.7. IC Regulator 7805

LM7805 adalah regulator tegangan DC positif yang hanya memiliki 3 terminal, yaitu tegangan input, *ground*, tegangan output. Meskipun LM7805 diutamakan dirancang untuk keluaran tegangan tetap (5V), akan tetapi ada kemungkinan jika menggunakan komponen eksternal untuk mendapatkan tegangan output DC: 5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V, 20V , 24V.

Fitur Umum:

- Sampai sekarang untuk output 1A
- Output Tegangan dari 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, hingga 24V
- Melindungi suhu yang berlebih
- Melindungi sirkuit pendek
- Output Transistor melindungi operasi pada daerah yang dilindungi

7805 adalah regulator tegangan tiga-terminal positif. Dengan *heatsinking* memadai, dapat memberikan lebih dari 0.5A arus keluaran. Aplikasi yang umum akan mencakup lokal (*on-card*) regulator yang dapat menghilangkan kebisingan dan kinerja yang rusak terkait dengan satu-titik regulasi.

7805 regulator berasal dari keluarga 78xx, terdapat rangkaian regulator tegangan linier yang tetap terintegrasi. Keluarga 78xx adalah pilihan yang sangat populer untuk banyak sirkuit elektronik yang membutuhkan catu daya yang diatur, karena relatif mudah penggunaan dan murah. Ketika menentukan individu IC dalam keluarga 78xx ini, xx diganti dengan angka dua digit, yang menunjukkan tegangan output perangkat tertentu dirancang untuk memberikan (misalnya, 7805 regulator tegangan memiliki output 5 volt, sedangkan 7812 menghasilkan 12

volt). Garis 78xx adalah regulator tegangan positif, yang berarti bahwa mereka dirancang untuk menghasilkan tegangan yang relatif positif untuk kesamaan. Ada garis terkait perangkat 79xx yang melengkapi regulator tegangan negatif. 79xx 78xx dan IC dapat digunakan dalam kombinasi untuk menyediakan pasokan tegangan positif dan negatif dalam sirkuit yang sama, jika perlu.

Seri 7805 memiliki beberapa kelebihan dibandingkan regulator tegangan lains:

- IC seri 7805 tidak memerlukan komponen tambahan untuk menyediakan sumber pengaturan konstan, mudah untuk digunakan, serta ekonomis, dan juga menggunakan sirkuit board yang efisien dan nyata. Sebaliknya, kebanyakan regulator tegangan lain memerlukan beberapa komponen tambahan untuk mengatur level tegangan keluaran dan untuk membantu dalam proses regulasi. Beberapa desain lain (seperti *switching power supply*) tidak hanya memerlukan sejumlah komponen besar, tetapi juga teknik keahlian yang besar untuk menerapkannya dengan benar.
- IC seri 7805 memiliki perlindungan body pada circuit yang memiliki banyak power. IC seri 7805 juga memiliki perlindungan terhadap panas dan sirkuit pendek, membuat IC ini cukup kuat dalam sebagian besar aplikasi. Dalam beberapa kasus, pada pembatas arus fitur dari perangkat 7805 dapat memberikan perlindungan tidak hanya untuk 7805 sendiri, tetapi juga untuk bagian lain dari dalam sirkuit yang digunakan, juga mampu mencegah komponen lain dari kerusakan.

2.2.3 Komparator LM311



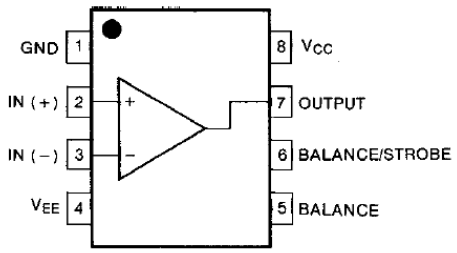
Gambar 2.8. IC LM311

LM311 adalah komparator tegangan yang memiliki arus masukan hampir seribu kali lebih rendah daripada perangkat seperti LM106 atau LM710. Mereka juga dirancang untuk beroperasi atas berbagai suplai tegangan yang lebih luas,

yaitu dari suplai standar ± 15V op amp ke suplai 5V tunggal yang digunakan untuk logika IC *(Intergrated Circuit)*. LM311 dapat mendorong lampu atau relay, beralih tegangan hingga 50V pada arus setinggi 50 mA. Baik input dan output dari LM311 dapat diisolasi dari sistem *ground*, dan output dapat mendorong beban yang disebut *ground* tersebut, baik suplai positif atau maupun suplai negatif.

Fitur :

- Masukan yang rendah bias arus: 250nA (Max)
- Rendah arus *offset* masukan: 50nA (Max)
- Diferensial tegangan Input: ± 30V
- Power supply tegangan: suplai tunggal 5.0V untuk ± 15V
- *Offset* kemampuan tegangan nol
- *Strobe* kemampuan



Gambar 2.9. Konfigurasi IC LM311

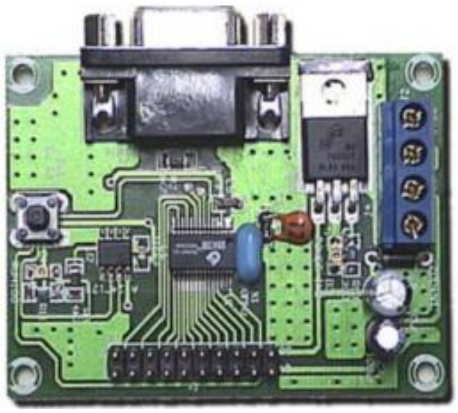
Jumlah pin yang dimiliki LM 311 sebanyak 8 pin, pin 2 dan pin 3 sebagai input positif dan negatif yang didapatkan dari tegangan pada sumber cahaya yang akan dikomparasikan tegangannya. Output tegangan pada LM 311 berupa tegangan referensi berdasarkan tegangan input, sehingga tegangan output pada komparator LM 311 ini akan dijadikan sebagai pembanding. Jika tegangan output dari LM 311 ini lebih kecil dari tegangan referensi maka dinyatakan dalam bentuk data *low* atau tidak ada cahaya yang ditangkap oleh sensor *phototransistor*, sebaliknya jika lebih besar dari tegangan referensi maka dinyatakan dalam bentuk data *high* atau ada cahaya yang ditangkap oleh sensor *phototransistor*.

2.2.4 Mikrokontroler Basic Stamp (BS2SX)

Basic Stamp adalah suatu mikrokontroler yang dikembangkan oleh *Parallax Inc* yang diprogram menggunakan bahasa pemrograman *Basic* dan populer sekitar pada tahun 1990an. Mikrokontroler *basic stamp* membutuhkan *power supply* saat men*download* dan program di *download* melaui *port serial*.

Kode PBasic (Pemrograman *Basic*) disimpan di dalam EEPROM serial pada *board Basic Stamp*. EEPROM digunakan dalam *Basic Stamp* 1 dan 2 yang dijamin menyimpan selama 40 tahun ke depan dan mampu ditulisi ulang 10.000.000 kali per lokasi memori.

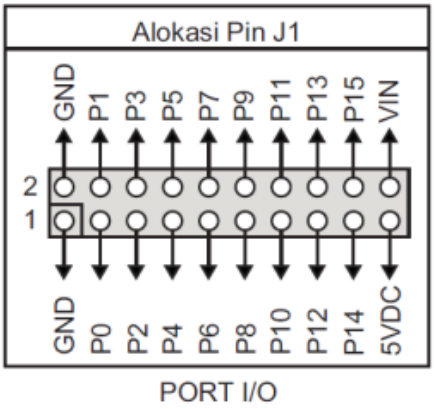
Mikrokontroler *basic stamp* memiliki beberapa versi yang berbeda – beda, yaitu *Basic Stamp* 1, *Basic Stamp* 2, *Basic Stamp* 1e, *Basic Stamp* 2P, *Basic Stamp* 2Pe dan *Basic Stamp* 2SX. *Basic Stamp* berfungsi pada tegangan DC 5 sampai 15 volt. *Basic Stamp* yang dipakai adalah *Basic Stamp* BS2SX yang mempunyai 20 pin I/O. Pemilihan *Basic Stamp* ini karena sesuai dengan kebutuhan banyaknya input atau output yang dipakai dalam pendeteksian *lifetime* cahaya lampu DC 4,8 Volt. Berikut ini adalah tampilan *Basic Stamp* BS2SX.



Gambar 2.10. Mikrokontroler *Basic Stamp* BS2SX

Basic Stamp BS2SX sebagai mikrokontroler, dimana mikrokontroler ini berfungsi untuk mengendalikan lampu DC melalui data yang diterima dari komputer. Jadi, komputer mengirimkan data pada komputer, selanjutnya data tersebut akan diolah oleh mikrokontroler. Jika data tersebut sesuai dengan data

yang telah diatur dalam mikrokontroler untuk menyalakan dan mematikan LED maka mikrokontroler akan mengontrol LED atau cahaya dari lampu sesuai dengan data tersebut. Akan tetapi jika data yang diterima oleh mikrokontroler tidak *valid*, data *illegal* atau tidak sesuai dengan data yang telah diatur atau datanya salah maka mikrokontroler akan mengabaikan data tersebut.



Gambar 2.11. Gambaran Port Pada Mikrokontroler Basic Stamp BS2SX

Port 1 dan 2 berfungsi untuk *ground* untuk memberi input tegangan negatif bagi *Basic Stamp* BS2SX. *Port* pendeteksi kondisi cahaya lampu DC bisa digunakan *port* 0 sampai *port* 15 baik input dan outputnya.

Beberapa spesifikasi hardware dari *Basic Stamp* BS2SX adalah :

1. Kecepatan prosesor 20 MHz Turbo dengan kecepatan eksekusi program hingga 12000 instruksi per detik.
2. RAM sebesar 38 byte dengan scracth pad sebesar 125 byte.
3. Jalur input dan output sebanyak 15 pin dengan kemampuan source/sink arus sebesar 30 mA per pin dan 60 mA per 8 pin.
4. Tersedia jalur komunikasi serial UART (*Universal Asyncronous Receiver Transmitter*) RS232 dengan konektor DB9.
5. Tegangan input 9-12 VDC dengan tegangan output 5 VDC.

Adapun hubungan antara komputer dengan modul BS2SX memiliki konfigurasi sebagai berikut :

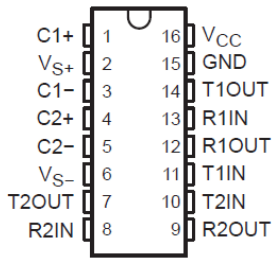
Tabel 2.1. Hubungan pin antara komputer dengan BS2SX

COM Port Komputer DB9	**Modul BS2p40 DB9**
RX (Pin 2)	RX (Pin 2)
TX (pin 3)	TX (pin 3)
DTR (pin 4)	DTR (pin 4)
GND (pin 5)	GND (pin 5)
DSR (Pin 6)	DSR (Pin 6)
RTS (Pin 7)	RTS (Pin 7)

2.2.5 Konverter MAX232



Gambar 2.12. IC MAX232



Gambar 2.13. Konfigurasi IC MAX232

IC MAX 232 ialah IC yang umum digunakan sebagai RS232 Converter. MAX232 adalah sebuah sirkuit terpadu yang mengubah sinyal dari port serial RS-232 untuk sinyal yang sesuai yang digunakan pada sirkuit TTL logika digital yang kompatibel. MAX232 adalah driver ganda penerima atau *receiver* dan biasanya mengubah sinyal RX, TX, CTS dan RTS. MAX232 mencakup tegangan generator yang berkapasitas yang digunakan untuk menyuplai input dari hardware pada

pada tegangan 5 V. MAX 232 memiliki ambang khas dari 1,3 V, histeresis khas 0,5 V, dan dapat menerima input ± 30-V.

Komunikasi serial ialah pengiriman data secara serial (data dikirim satu persatu secara berurutan), sehingga komunikasi serial jauh lebih lambat daripada komunikasi paralel. Serial port lebih sulit ditangani karena peralatan yang dihubungkan ke serial port harus berkomunikasi dengan menggunakan transmisi serial, sedang data di komputer diolah secara paralel. Oleh karena itu data dari dan ke serial port harus dikonversikan ke dan dari bentuk paralel untuk bisa digunakan. Menggunakan hardware, hal ini bisa dilakukan oleh *Universal Asyncronous Receiver Transmitter* (UART), kelemahannya kita butuh software yang menangani register UART yang cukup rumit dibanding pada *paralel port.* Kelebihan dari komunikasi serial ialah panjang kabel jauh dibanding paralel, karena serial port mengirimkan logika "1" dengan kisaran tegangan –3 V hingga –25 V dan logika 0 sebagai +3 Volt hingga +25 V sehingga kehilangan daya karena panjangnya kabel bukan masalah utama. Bandingkan dengan *port* paralel yang menggunakan level TTL berkisar dari 0 V untuk logika 0 dan +5 Volt untuk logika 1. Umumnya sinyal serial diawali dengan *start bit*, *data bit* dan sebagai pengecekan data menggunakan *parity bit* serta ditutup dengan 2 *stop bit*. Level tengangan -3 V hingga +3 V dianggap sebagai *undetermined region.*

Berikut tampilan port serial DB9 yang umum digunakan sebagai alat bantu untuk komunikasi serial antara hardware dengan computer :



Gambar 2.14. *Port* Serial DB9

Jika peralatan yang kita gunakan menggunakan logika TTL maka sinyal serial port harus kita konversikan dahulu ke pulsa TTL sebelum kita gunakan, dan sebaliknya sinyal dari peralatan kita harus dikonversikan ke logika RS-232 sebelum di-inputkan ke serial port. Konverter yang paling mudah digunakan adalah MAX232. Di dalam IC ini terdapat *Charge Pump* yang akan

membangkitkan +10 Volt dan -10 Volt dari sumber +5 Volt tunggal. Dalam IC DIP *(Dual In-line Package)* 16 pin (8 pin x 2 baris) ini terdapat 2 buah *transmiter* dan 2 *receiver*. *Port* serial sering digunakan untuk interfacing komputer dan mikrokontroler, karena kemampuan jarak pengiriman data dibandingkan port paralel. Komunikasi melalui serial port adalah asinkron, yakni sinyal detak tidak dikirim bersama dengan data. Setiap *word* disinkronkan dengan *start bit*, dan sebuah *clock* internal di kedua sisi menjaga bagian data saat pewaktuan *(timing).*

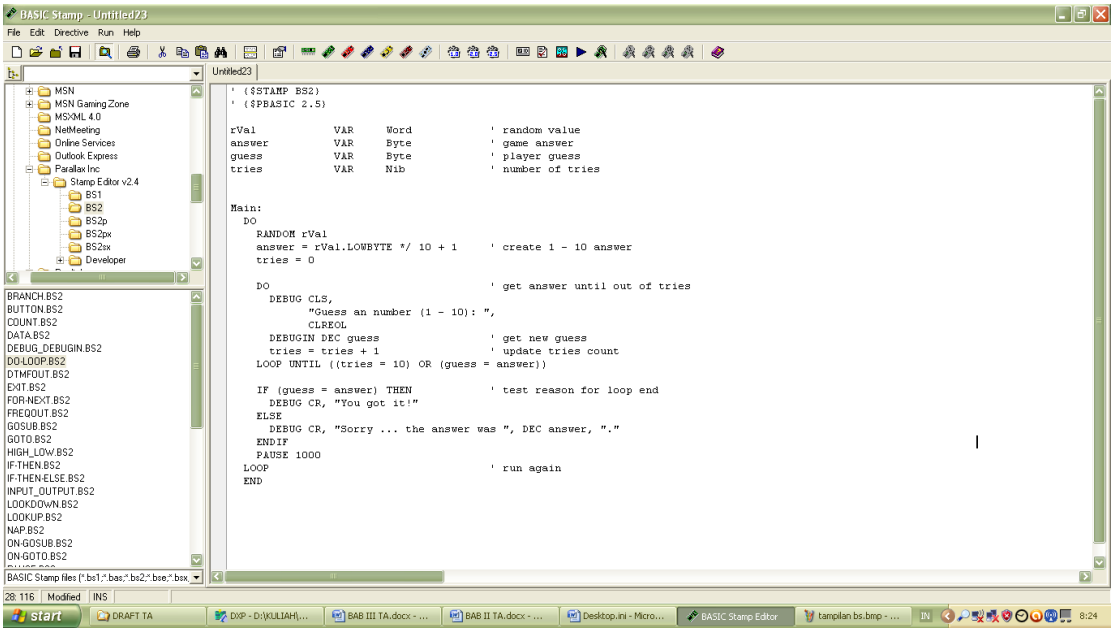
2.3 Perangkat Lunak (Software)

2.3.1 Basic Stamp Editor

Basic Stamp Editor adalah sebuah *editor* yang dibuat oleh *Paralax Inc* untuk menulis *listing program*, meng*compile* dan men*download*nya ke mikrokontroler keluarga *Basic Stamp*. Program ini memungkinkan penggunanya memprogram *Basic Stamp* dengan bahasa *basic* yang relatif ringan dibandingkan bahasa pemrograman lainnya. Berikut ini beberapa instruksi-instruksi dasar yang dapat digunakan pada mikrokontroler *Basic Stamp*.

Tabel 2.2. Beberapa instruksi dasar *Basic Stamp Editor*

Instruksi	**Keterangan**
DO...LOOP	Perulangan
GOSUB	Memanggil prosedur
IF..THEN	Percabangan
FOR...NEXT	Perulangan
PAUSE	Waktu tunda milidetik
IF...THEN	Perbandingan
PULSOUT	Pembangkit pulsa
PULSIN	Menerima pulsa
GOTO	Loncat ke alamat memori tertentu
HIGH	Menset pin I/O menjadi 1
LOW	Menset pin I/O menjadi 0



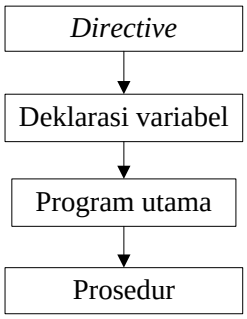
Gambar 2.15. Tampilan *Basic Stamp Editor*

2.3.1.1 Memprogram *Basic Stamp*

Dalam membuat sebuah program secara umum, dapat dibagi menjadi empat bagian penting, yaitu :

1. Header
2. Variabel
3. Program utama
4. Prosedur

Pemograman dalam *Basic Stamp Editor*, secara blok dibagi menjadi empat bagian penting.



Gambar 2.16. Urutan bagian dari program dalam *Basic Stamp Editor*

2.3.1.2 Directive

Directive ditulis paling awal dari *listing program* yang dibuat. Directive merupakan pemilihan tipe prosesor dan pemilihan versi kompiler PBASIC. Bagian ini menentukan tipe prosesor yang digunakan dan versi dari *compiler* PBASIC yang digunakan untuk meng*compile* bahasa *Basic* menjadi bahasa mesin. Tampilannya adalah seperti gambar berikut :

```
' {$STAMP BS2sx}     ' pemilihan tipe prosesor
' {$PBASIC 2.5}      ' pemilihan versi kompiler PBASIC
```

Gambar 2.17. Tampilan bagian *directive*

2.3.1.3 Menentukan Variabel

Beberapa ketentuan untuk mendeklarasikan variabel dalam mikrokontroler yaitu :

1. PIN : PIN dari mikrokontroler (0-15)
2. VAR : Variabel
3. CON : Konstanta

PIN yang digunakan sudah ditentukan sesuai dengan konfigurasi *hardware* / *mainboard* yang digunakan adalah BS2SX.

```
flip            VAR     Word                ' a random number
coin            VAR     flip.BIT0           ' Bit0 of the random number
trials          VAR     Byte                ' number of flips
heads           VAR     Byte                ' throws that come up heads
tails           VAR     Byte                ' throws that come up tails
btnWrk          VAR     Byte                ' workspace for BUTTON
```

Gambar 2.18. Tampilan Deklarasi Variabel

2.3.1.4 Bagian Program Utama

Pada bagian program utama bisa melakukan dua mode, yaitu mode pengetikan langsung atau mode pemanggilan prosedur. Mode pengetikan langsung akan efektif jika program tidak terlalu banyak dan kasus yang sederhana. Tetapi jika program sudah mulai banyak atau rumit, maka sebaiknya program utama memanggil prosedur. Pemanggilan prosedur akan mempermudah dalam pemeriksaan dan lebih terkendali. Listing programnya dapat dilihat pada gambar berikut.

```
Main:
  DO
    RANDOM rVal
    answer = rVal.LOWBYTE */ 10 + 1      ' create 1 - 10 answer
    tries = 0

    DO                                   ' get answer until out of tries
      DEBUG CLS,
            "Guess an number (1 - 10): ",
            CLREOL
      DEBUGIN DEC guess                  ' get new guess
      tries = tries + 1                  ' update tries count
    LOOP UNTIL ((tries = 10) OR (guess = answer))

    IF (guess = answer) THEN             ' test reason for loop end
      DEBUG CR, "You got it!"
    ELSE
      DEBUG CR, "Sorry ... the answer was ", DEC answer, "."
    ENDIF
    PAUSE 1000
  LOOP                                   ' run again
  END
```

Gambar 2.19. Tampilan bagian program utama yang memanggil prosedur

2.3.1.5 Bagian Prosedur

Berikut adalah prosedur untuk memanggil suatu bagian dari eksekusi oleh program utama.

Sebuah prosedur harus mempunyai nama prosedur yang disimpan dibagian paling atas prosedur itu sendiri, serta harus diakhiri dengan *return* agar kembali lagi ke program utama dan melanjutkan kembali urutan program berikutnya.

```
Next_Task:
  idx = idx + 1 // 4
  PAUSE 250
  GOTO Main

Task_0:
  DEBUG "BRANCHed to Task_0", CR
  GOTO Next_Task

Task_1:
  DEBUG "BRANCHed to Task_1", CR
  GOTO Next_Task

Task_2:
  DEBUG "BRANCHed to Task_2", CR
  GOTO Next_Task
```

Gambar 2.20. Tampilan Prosedur *Basic Stamp Editor*

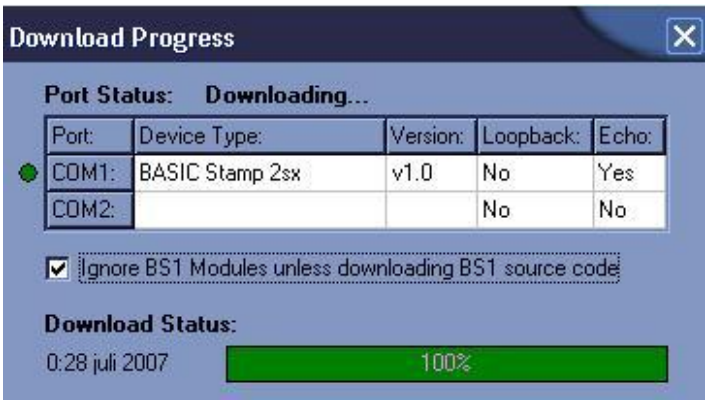
2.3.1.6 Memeriksa Sintaks

ProgramUntuk memeriksa sintaks ini bisa pilih menu *RUN*, Cek *Syntax* atau kombinasi tombol CTRL+T. Sehingga tampilannya akan seperti berikut ini :



Gambar 2.21. Tampilan jika program sukses tanpa ada kesalahan sintaks.

2.3.1.6 Menjalankan Program



Gambar 2.22. Tampilan jika program sukses di*download*

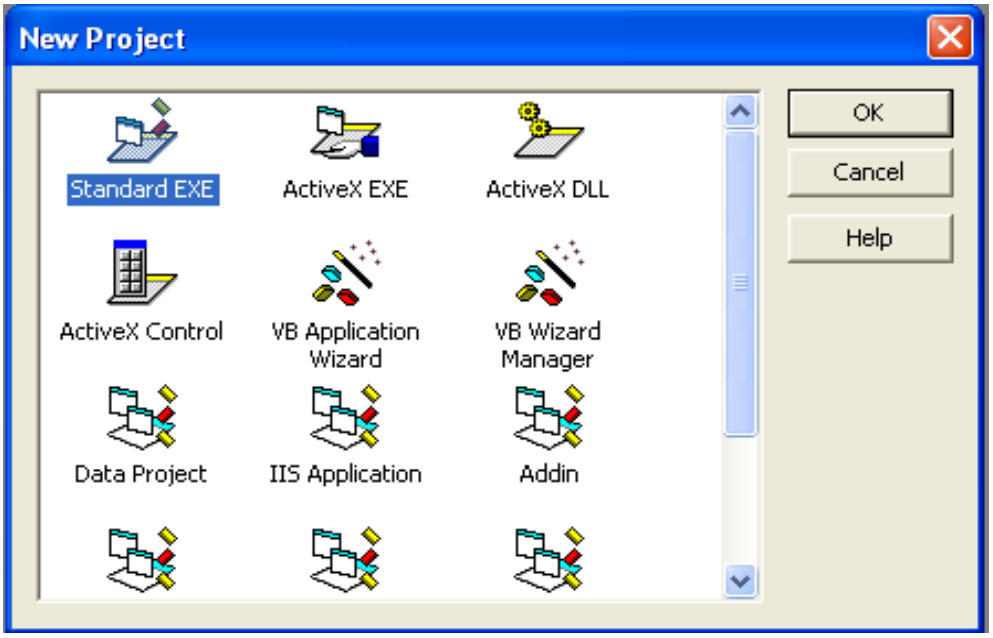
Ketika ingin menjalankan program maka program tersebut harus didownload terlebih dahulu ke mikrokontroler Basic Stamp BS2SX dengan cara memilih menu RUN atau kombinasi tombol CTR+R.

2.3.2 Microsoft Visual Basic 6.0

Microsoft Visual Basic (sering disingkat sebagai VB saja) merupakan sebuah bahasa pemrograman yang menawarkan *Integrated Development Environment* (IDE) visual untuk membuat program perangkat lunak berbasis sistem operasi Microsoft Windows dengan menggunakan model pemrograman (COM).

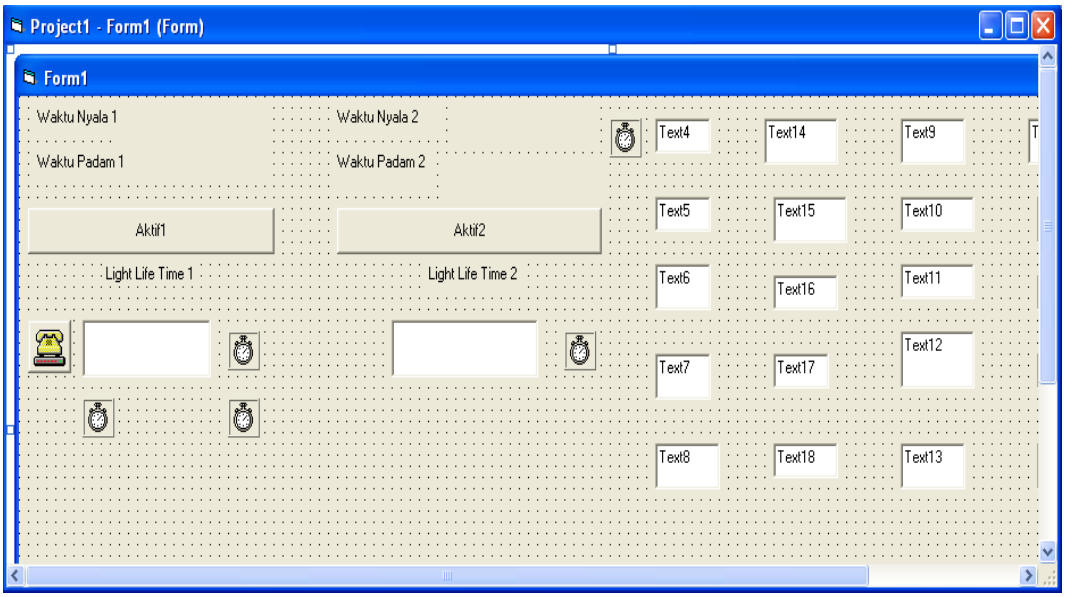
Visual Basic dimana programnya berorientasi objek merupakan turunan bahasa pemrograman BASIC dan menawarkan pengembangan perangkat lunak komputer berbasis grafik dengan cepat. Para programmer dapat membangun aplikasi dengan menggunakan komponen-komponen yang disediakan oleh Microsoft Visual Basic Program-program yang ditulis dengan Visual Basic juga dapat menggunakan Windows API, tapi membutuhkan deklarasi fungsi luar tambahan.

Microsoft Visual Basic merupakan salah satu bahasa pemrograman yang memungkinkan para pengembang atau programmer untuk membuat aplikasi yang berbasis Windows dengan sangat mudah. Bahasa ini sangat popular disebabkan kemudahan dan kelengkapannya untuk mengembangkan dan membuat aplikasi kecil (*tools* atau *desktop database*) maupun yang besar (*client/server*, aplikasi web dan lain-lain). Microsoft Visual Basic 6.0 akan digunakan sebagai pengendali hardware yang dirancang untuk memerika kondisi objek penelitian secara terus menerus.



Gambar 2.23. Tampilan *new project* pada *Visual Basic* 6.0

Tampilan *Itegrated Development Environment* (IDE) pada sebuah *project Visual Basic* dengan sebuah *form*, label dan *command button* terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.24. Tampilan IDE Visual Basic 6.0

2.3.2.1 Operator Dalam Visual Basic 6.0

Operator yang biasa digunakan dalam pemrograman *Visual Basic* 6.0 diantaranya adalah :

a. *Operator* Matematika. Penggunaan *Operator Matematika* lebih ditujukan untuk pembuatan rumus atau formula seperti '+', '-', '/', '*'. Rumus atau formula adalah pernyataan yang menggabungkan angka, *variabel, operator,* dan kata kunci untuk membuat suatu nilai baru.

b. *Operator* Perbandingan. *Operator* perbandingan digunakan untuk membandingkan dua variabel atau objek, seperti menggunakan 'IF..THEN..'

c. *Operator* Logika. Operator logika digunakan untuk membandingkan dua *expresi* seperti 'AND', 'OR', 'NAND', 'NOR', XOR'.

2.3.2.2 Fungsi Dalam Visual Basic 6.0

Fungsi yang digunakan dalam pemrograman antara lain adalah fungsi waktu dan *string*.

a. Fungsi Waktu. *Visual Basic* menggunakan fungsi-fungsi internal untuk mengolah waktu. Fungsi-fungsi ini digunakan di antaranya untuk menampilkan tanggal dan jam saat ini, selain itu dapat untuk menghitung selisih waktu dan tanggal.

b. Fungsi *String*. Fungsi *String* adalah fungsi-fungsi yang digunakan untuk penanganan dan manipulasi *string*. Fungsi-fungsi ini diantaranya adalah untuk menghitung jumlah paragraf dalam sebuah *string*, mengambil nilai dari sebagian *string*, dan sebagainya.

2.4 Teori Analisa Statistika

2.4.1 Teknik Reliabilitas

Reliabilitas *(Reliability)* artinya adalah tingkat keterpercayaan hasil suatu pengukuran. Pengukuran yang memiliki reliabilitas tinggi, yaitu pengukuran yang mampu memberikan hasil ukur yang terpercaya dan handal (reliabel). Reliabilitas merupakan salah satu ciri atau karakter utama instrumen pengukuran yang baik. Kadang-kadang reliabilitas disebut juga sebagai keterpercayaan, keterandalan, keajegan, konsistensi, kestabilan, dan sebagainya, namun ide pokok dalam konsep reliabilitas adalah sejauh mana hasil suatu pengukuran dapat dipercaya, artinya sejauh mana skor hasil pengukuran terbebas dari kekeliruan pengukuran (*measurement error*).

Keandalan suatu sistem untuk tetap dapat berkomunikasi meskipun ada simpul yang terganggu dapat diukur dengan MTBF (*Mean Time Between Failure*) dan MTTF (*Mean Time To Failure*). MTBF digunakan untuk alat atau instrumen yang dapat diperbaiki, misal kipas angin. Setiap terjadi kerusakan pada kipas maka kemungkinan besarnya kipas angin tersebut bisa diperbaiki lalu dapat digunakan kembali. Pada MTBF pada kasus kipas angin ini, maka dapat dihitumg masa hidup kipas angin tersebut dari hidup awalnya sampai ke kerusakan pertama. Lalu dapat dihitung lagi reliabilitasnya dari kerusakan yang pertama ke kerusakan yang kedua, dan seterusnya. Sedangkan MTTF hanya digunakan untuk alat atau instrumen yang apabila rusak maka tidak dapat diperbaiki lagi. Seperti lampu, ketika lampu sudah rusak/mati, maka tidak akan ada lagi perbaikan yang dilakukan pada lampu tersebut. Pada penelitian ini objek yang diujikan adalah berupa lampu DC sebanyak 10 unit dengan karakteristik dan merk yang sama. Dengan demikian pada penelitian ini metode pengukuran instrumen yang digunakan adalah metode pengukuran MTTF. MTTF pada kasus ini dimana lampu DC sebagai objeknya dapat dianalisa reliabilitas (kehandalan) *life time* (masa hidup) cahaya lampu DC 4,8 Volt atau menyalanya semua lampu DC 4,8 Volt yang diujikan dari awal dinyalakan sampai padam/mati/rusak. Analisa pengukuran MTTF yang digunakan peneliti adalah menggunakan analisa

berdistribusi eksponensial pada densitas probabilitasnya *(Exponential Probability Density Function).*

2.4.2 Jenis dan Kegunaan Distribusi Probabilitas

Probabilitas (Peluang) frekuensi relatif suatu kejadian atau peluang terjadinya suatu kejadian tertentu. Probabilitas sangat dibutuhkan, karena kebenaran dari suatu kesimpulan yang dibuat dari analisis data sebetulnya tidak dapat dipastikan benar secara absolut, disebabkan data berdasarkan dari sampel. Ketika probabilitas digunakan untuk menyelesaikan analisa suatu kejadian maka probabilitas dikonversikan menjadi distribusi probabilitasnya dalam bentuk tabel, grafik atau fungsi matematis. Distribusi probabilitas adalah konsep fundamental dalam statistik.

Distribusi probabilitas digunakan baik pada tingkat teoretis dan tingkat praktis. Distribusi probabilitas merupakan suatu distribusi yang mengambarkan peluang dari sekumnpulan variat sebagai pengganti frekuensinya yang merupakan nilai variabel random dengan memiliki banyak kemungkinan yang terjadi. Jumlah nilai probabilitas dari semua kemungkinan adalah 1 (satu). Distribusi probabilita disimbolkan dengan fungsi $P(X)$. Distribusi probabilitas dibagi menjadi 2 yaitu distribusi probabilitas diskrit dan distribusi probabilitas kontinu.

1. Distribusi Probablitas Diskrit

Distribusi probabilitas diskrit adalah probabilitas yang nilainya berupa bilangan cacah, dapat dihitung dan terhingga. Biasanya untuk hal-hal yang dapat dicacah, misal untuk probabilitas banyaknya komponen hardware yang rusak. Bila variabel X diketahui sebagai "set diskrit" (himpunan bilangan bulat) dari nilai $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ masing-masing dengan probabilitas $P_1, P_2, P_3, \dots, P_k$, dimana $P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_k = 1$; maka kita telah mengetahui "distribusi probabilitas atas X". Fungsi px yang berturut-turut adalah $P_1, P_2, P_3, \dots, P_k$ untuk X_1, X_2, X_3, X_k. Karena X dapat dianggap sebagai nilai tertentu biasanya dihasilkan

dari perhitungan suatu objek tertentu dengan probabilitas tertentu maka X sering disebut dengan "Variabel Acak Diskrit". Variabel acak/ variabel random/ variabel kesempatan/ variabel stokastik didefinisikan sebagai deskripsi numerik dari percobaan. Syarat yang harus dipenuhi untuk untuk probabilitas diskrit :

- $P(X) \geq 0 \ \ atau \ \ 0 \leq P(X) \leq 1$
- $P(X) = 1$

2. Distribusi Probablitas Kontinyu

Sedangkan distribusi probabilitas kontinyu adalah probabilitas yang nilainya berupa selang bilangan, tidak dapat dihitung dan tidak terhingga (memungkinkan pernyataan dalam bilangan pecahan) yang biasanya untuk hal-hal yang diukur (jarak, waktu, berat, volume), misal waktu produksi komponen hardware per unit, jarak antar satu pabrik ke pabrik yang lain, berat bersih produk dan volume kemasan.

Bentuk kurva dari distribusi peluang (probabilitas) kontinyu berupa kurva mulus (*smooth*). Kurva $f(x)$ sering disebut dengan fungsi kepadatan peluang (Probability Density Function). Luasan di bawah kurva distribusi peluang kontinyu identik sesuai dengan peluang untuk variabel X. Dengan demikian $P(X = a) = 0$ dan $P(a \leq X \leq b)$ untuk semua konstanta a dan b dengan $a < b$.

Bila $f(x)$ merupakan fungsi kepadatan peluang (PDF), maka berlaku:

1. $P(a \leq X \leq b) = P(a < X < b) = \int_a^b f(x)dx$
2. $f(x) \geq 0$ untuk semua x, dan
3. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$

Ketentuan lain :

- Rata-rata (μ) dari distribusi probabilitas kontinyu adalah nilai harapan (*expected value*) dari variabel acaknya.
- Nilai harapan variabel acak diskrit adalah rata-rata tertimbang terhadap seluruh kemungkinan hasil dimana penimbangnya adalah nilai probabilitas

yang dihubungkan dengan setiap hasil (*outcome*). misalkan anda mempunyai peluang 0.25 untuk mendapatkan uang 1 juta maka nilai ekspektasi anda adalah 0.25 x 1 juta = 250 ribu.

- Secara umum, bila variabel random X mempunyai kemungkinan nilai $X_1, X_2, X_{3,\dots,} X_k$ dengan masing-masing peluang X bernilai X_k adalah P_k maka nilai harapan X, ditulis $E(X)$ didefinisikan sebagai:

$$E(X) = P_1X_1 + P_2X_2 + \cdots + P_kX_k = \sum_{j=1}^{k} P_jX_j = \sum PX$$

Beberapa kegunaan praktis dari distribusi probabilitas adalah:

1. Untuk menghitung interval kepercayaan untuk parameter dan untuk menghitung daerah kritis untuk tes hipotesis.
2. Untuk data univariat, seringkali berguna untuk menentukan model distribusi yang wajar untuk data.
3. Untuk interval statistik dan uji hipotesis yang sering didasarkan pada asumsi distribusi tertentu. Sebelum komputasi interval atau tes berdasarkan asumsi distribusi, kita perlu untuk memverifikasi bahwa asumsi dibenarkan untuk kumpulan data yang diberikan. Dalam kasus ini, distribusi tidak perlu distribusi pemasangan terbaik untuk data, tapi model cukup memadai sehingga teknik statistik menghasilkan kesimpulan yang valid.
4. Untuk simulasi studi dengan angka acak yang dihasilkan dari menggunakan distribusi probabilitas tertentu sering dibutuhkan.

Distribusi probabilitas biasanya didefinisikan dalam istilah Fungsi Kepadatan Probabilitas *(Probability Density Function)*, disingkat dengan PDF. Namun ada sejumlah fungsi probabilitas yang digunakan dalam aplikasi. Untuk fungsi distribusi kontinyu, PDF memvariasikan probabilitas yang memiliki nilai X. Karena untuk distribusi probabilitas kontinyu pada satu titik adalah nol, hal ini sering dinyatakan dalam integral dua titik :

$$\int_{a}^{b} f(x)dx = P_r[a \leq X \leq b]$$

Distribusi probabilitas ada yang berdistribusi tunggal dan juga ada yang berdistribusi dengan memiliki parameter dua atau lebih tergantung dari jumlah parameter yang dibutuhkan dalam analisanya.

2.4.3 Fungsi Densitas Pada Distribusi Probabilitas

Fungsi densitas merupakan salah satu besaran pada distribusi probabilitas. Ada kalanya fungsi densitas suatu distribusi probabilitas disertai derajat kebebasan dan informasi. Fungsi densitas suatu distribusi probabilitas dapat ditampilkan dalam beberapaa bentuk :

- Bentuk tabel
- Bentuk grafik (biasanya histogram)
- Bentuk rumus

Pada statistika terapan, kita memerlukan tabel untuk menentukan nilai pada distribusi probabilitas. Bentuk grafik memberikan gambaran visual tentang distribusi probabilitas. Bentuk rumus merupakan dasar dari suatu distribusi probabilitas dan berguna untuk proses matematika pada statistika-matematika *(mathematical statistics).* Karena penelitian ini berkaitan dengan masa hidup cahaya *(life time of the light).*

2.4.4 Distribusi Eksponensial

Fungsi Eksponen Asli

Fungsi eksponen asli adalah balikan dari logaritma normal (ln) dimana logaritma normal berasal dari himpunan bilangan real positif. Fungsi eksponen asli dinyatakan dengan exp, jadi : $x = \exp y \;\leftrightarrow\; y = \ln x$

(i) $\exp(\ln x) = x, \qquad x > 0$
(ii) $\ln(\exp y) = y, \qquad untuk\ semua\ y$

e menyatakan bilangan real positif untuk sedemikian rupa sehingga $\ln e = 1$.

Teorema A

Andaikan a dan b sebarang bilangan real, maka $e^a e^b = e^{a+b}$ dan $\frac{e^a}{e^b} = e^{a-b}$

Fungsi Eksponensial

Eksponensial merupakan bilangan irrasional seperti $e^{\sqrt{2}}, e^{\pi}$ dan semua paket e.

$$a^r = \exp\ (\ln a^r) = \exp\ (r \ln a) =\ e^{r \ln a}$$

maka untuk $a > 0$ dan sebarang bilangan real x :

$$a^x = e^{x \ln a}$$

$$\ln(a^x) = ln\left(e^{x \ln a}\right) = x \ln a$$

Teorema B : Sisfat-sifat Eksponen

Jika $a > 0, b > 0$ dan x dan y adalah bilangan-bilangan real, maka :

(i)	$a^x a^y = a^{x+y}$;
(ii)	$\frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$;
(iii)	$(a^x)^y = a^{xy}$;
(iv)	$(ab)^x = a^x b^x$;
(v)	$\left(\frac{a}{b}\right)^x = \frac{a^x}{b^x}$;

Teorema C : Aturan-aturan Fungsi Eksponensial

$$D_x a^x = a^x \ln a$$

$$\int a^x dx = \left(\frac{1}{\ln a}\right) a^x + C, \qquad a \neq 1$$

Salah satu distribusi yang sering digunakan dalam rekayasa kehandalan (*Reliability Engineering*) adalah distribusi probabilitas Eksponensial. Maka fungsi densitas probabilitasnya adalah :

$$\boldsymbol{f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}}, \qquad 0 < x < \infty}$$

Fungsi ini memiliki satu parameter yang tidak diketahui yaitu μ. Parameter ini harus diestimasi atau diperkirakan berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran seperti tabel di atas. Untuk mengestimasi parameter digunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) sebagai berikut :

$$L(\mu) = L(\mu; X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$$

Dengan mengambil logaritma natural beserta turunan logaritma natural dari persamaan MLE tersebut maka akan didapat μ pada fungsi distribusi probabilitas Eksponensial.

2.4.5 Fungsi Reliabilitas Dengan PDF Eksponensial

Distribusi eksponensial menggambarkan tingkat kegagalan rata-rata yang konstan. Distribusi eksponensial adalah salah satu kasus distribusi khusus dari distribusi gamma. Fungsi gamma didefinisikan oleh:

$$P(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x}\, dx, \qquad untuk\ \alpha > 0$$

Fungsi gamma ini adalah fungsi rekursif di mana $P(n) = (n-1)!$ Pada saat α = 1, distribusi gamma mengambil suatu bentuk khusus yang dikenal sebagai Distribusi Eksponensial. Distribusi Eksponensial digunakan dalam teori keandalan dan waktu tunggu atau teori antrian.

Variabel random kontinu *X* memiliki sebuah distribusi Eksponensial, dengan parameter μ, maka fungsi densitas probabilitas eksponensial *(Exponential Probability Density Function)* adalah:

$$\boldsymbol{f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}}, \qquad 0 < x < \infty}$$

Teorema D :

Mean dan variansi Distribusi Gamma adalah:

$\mu = \alpha\beta$ dan $\sigma^2 = \alpha\beta^2$

Maka Mean dan variansi Distribusi Eksponensial adalah:

$\mu = \beta$ dan $\sigma^2 = \beta^2$

Reliabilitas menyatakan peluang atau probabilitas *lifetime* sebuah objek yang diuji lebih besar dari t :

$$R(t) = Probabilitas\ (lifetime > t)$$

$$R(t) = 1 - Probabilitas\ (lifetime \leq t)$$

Dimana :

$$Probabilitas\ (lifetime\ \leq t) = \int_0^t f(x)dx$$

Dengan demikian, Reliabilitas (kehandalan) dari objek penelitian dapat dianalisa dengan fungsi :

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(x)dx$$

Hasil analisa dari fungsi reliabilitas akan menunjukkan sejauh mana kehandalan *lifetime* dari objek yang diteliti, dimana reliabilitas terbesar adalah 1.

Tabel 2.3. Tabel Contoh Data *Lifetime* Cahaya Lampu DC

No	1	2	3	4	5	...	...	N
Lifetime Lampu DC	X1	X2	X3	X4	X5	....	....	XN

Distribusi PDF (*Probability Density Function*) yang digunakan adalah distribusi Eksponensial, karena distribusi Eksponensial adalah salah satu distribusi yang sering digunakan pada rekayasa kehandalan (*Reliability Engineering*). Fungsi densitas peluang (*Probability Density Function*) Eksponensial :

$$f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}}, \quad 0 < x < \infty \qquad (1)$$

Fungsi densitas peluang diatas mempunyai satu parameter yang tidak diketahui yaitu μ. Parameter ini harus diestimasi atau diperkirakan berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran seperti tabel diatas. Untuk mengestimasi parameter digunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE).

Maximum Likelihood Estimation

Dimisalkan terdapat data umur lampu sebanyak N: X1, X2, X3, …, XN, fungsi Likelihood dengan parameter μ yang ingin diestimasi bisa dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L(\mu) &= L(\mu; X1, X2, X3, \cdots, XN) \\ &= \left(\frac{1}{\mu} e^{-\frac{X1}{\mu}}\right)\left(\frac{1}{\mu} e^{-\frac{X2}{\mu}}\right)\left(\frac{1}{\mu} e^{-\frac{X3}{\mu}}\right)\cdots\left(\frac{1}{\mu} e^{-\frac{XN}{\mu}}\right) \\ &= \frac{1}{\mu^N} e^{-\left(\frac{1}{\mu}\sum_{i=1}^{N} Xi\right)} \end{aligned} \tag{2}$$

dengan $0<\mu<\infty$.

Jika diambil logaritma natural dari persamaan (2) diatas:

$$\ln L(\mu) = -N \ln \mu - \frac{1}{\mu}\sum_{i=1}^{N} Xi \tag{3}$$

Kemudian turunkan hasil logaritma persamaan (3) terhadap μ, maka akan diperoleh:

$$\frac{d\,L(\mu)}{d\mu} = -\frac{N}{\mu} + \frac{\sum_{i=1}^{N} Xi}{\mu^2} \tag{4}$$

Samakan dengan nol hasil penurunan persamaan (4) untuk memperoleh estimasi μ,

$$-\frac{N}{\mu}+\frac{\sum_{i=1}^{N} Xi}{\mu^{2}}=0 \tag{5}$$

Maka akan diperoleh,

$$\mu=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Xi \tag{6}$$

Sehingga μ pada fungsi rapat peluang eksponensial :

$$f(x)=\frac{1}{\mu}e^{-\frac{x}{\mu}}, \quad 0<x<\infty$$

Bisa diestimasi dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* berupa rata-rata sampel seperti pada persamaan (6) diatas. Hal ini sama dengan kasus untuk fungsi rapat peluang *Gaussian* ketika mengestimasi parameter rata-rata populasi (μ) dengan menggunakan rata-rata sampel sebagai hasil dari penurunan metode *Maximum Likelihood Estimation*.

Fungsi Reliabilitas R(t)

Fungsi ini menyatakan peluang atau probabilitas umur sebuah produk seperti lampu lebih besar dari t, atau bisa dituliskan sebagai berikut:

$$R(t)=P(lifetime>t)$$

$$R(t)=1-P(lifetime\leq t) \tag{7}$$

$P(lifetime\leq t)$ adalah fungsi densitas komulatif distribusi eksponensial ,

$$P(lifetime\leq t)=\int_0^t f(x)dx \tag{8}$$

Dengan demikian, fungsi reliabilitas untuk fungsi densitas peluang distribusi eksponensial bisa diturunkan sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(x)\,dx = 1 - \int_0^t \frac{1}{\mu} e^{-\frac{X}{\mu}}\,dx =$$

$$= 1 - \left[-\frac{\mu}{\mu} e^{-\frac{X}{\mu}} \right]_0^t = 1 - \left[1 - e^{-\frac{t}{\mu}} \right]$$

$$= e^{-\frac{t}{\mu}}$$

Secara singkat, fungsi reliabilitas distribusi eksponensial bisa dituliskan dengan persamaan berikut:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{\mu}} \tag{9}$$

Failure Rate Function:

Failure rate bisa didefinisikan sebagai peluang sesaat sebuah produk mengalami kerusakan setelah *survive* sampai waktu t. Failure rate merupakan rasio dari fungsi densitas peluang $f(t)$ dengan fungsi reliabilitas $R(t)$:

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)}, \tag{10}$$

dengan mensubstitusikan persamaan (1) dan (9) ke persamaan (10)

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{\mu} e^{-\frac{t}{\mu}}}{e^{-\frac{t}{\mu}}} = \frac{1}{\mu}. \tag{11}$$

Sehingga *failure rate* untuk fungsi densitas peluang distribusi eksponensial pada persamaan (11) merupakan inversi dari parameter μ yang diperoleh dari persamaan (6) dan mempunyai harga yang konstan tidak tergantung pada waktu.

Satuan yang dipakai untuk *failure rate* tergantung satuan yang dipakai saat pengukuran. Jika saat pengukuran menggunakan satuan jam maka *failure rate* mempunyai satuan 1/jam atau jam^{-1}.

Mean Time To Failure (MTTF)

MTTF biasanya dipakai untuk menyatakan waktu rata-rata sebuah produk mengalami kegagalan dan digunakan untuk produk-produk yang tidak bisa diperbaiki. Sedangkan untuk produk yang bisa diperbaiki digunakan parameter *Mean Time Between Failure* (MTBF) atau waktu rata-rata antar kegagalan. Produk lampu bisa dikategorikan sebuah produk yang tidak bisa diperbaiki dan dalam hal ini MTTF menyatakan waktu rata-rata umur lampu. MTTF bisa diperoleh dengan persamaan

$$MTTF = \int_0^\infty xf(x)\,dx = \int_0^\infty x \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}} dx = \mu \qquad (12)$$

Sehingga berdasarkan persamaan (11), MTTF berbanding terbalik dengan failure rate. Dengan memperhatikan persamaan (12), maka MTTF sama dengan parameter μ yang diestimasi dengan persamaan (6). Satuan dari MTTF tergantung satuan yang dipakai saat pengukuran. Jika saat pengukuran menggunakan satuan detik, maka MTTF mempunyai satuan detik.