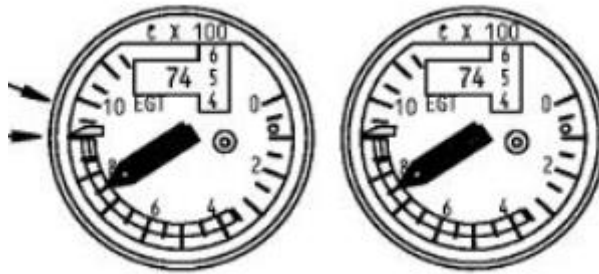


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Exhaust Gas Temperature*

Exhaust gas temperature (EGT) merupakan salah satu parameter penting didalam *engine* untuk mengukur *temperature* gas buang. Pada pesawat terbang, *Exhaust Gas temperature* diukur dengan menggunakan 8 buah *Thermo couple*.



Gambar 2.1 *Exhaust Gas Temperature Gauge*
(Muhammad Takdir, 2013)

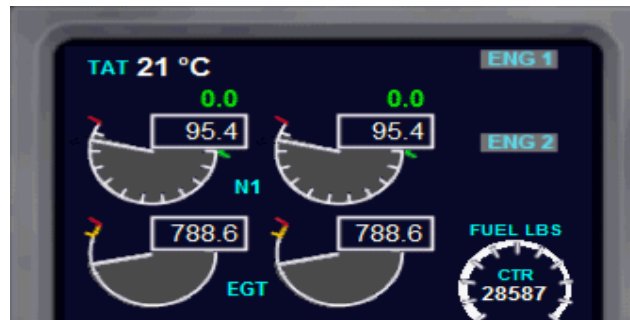
Thermocouple merupakan alat yang terpasang di dalam *engine*, guna menginformasikan suhu *engine*. Semakin tinggi suhu *engine*, maka akan mempengaruhi performa *engine*. Dalam *turbine engine*, *Exhaust Gas Temperature* (EGT) disebut sebagai *Turbine Outlet Temperature* (TOT), adalah suhu *exhaust gas temperature* saat meninggalkan *turbine* disajikan pada *engine instrument* dalam derajat *Fahrenheit* atau derajat *Celsius*. *Electronic engine control* (EEC) mengirimkan data ke *DEU* untuk menghasilkan EGT pada *common display system* (CDS). *temperature* yang dihasilkan adalah rata - rata nilai dari 8 buah *thermocouple* yang terdapat pada *engine* pesawat.

Pembacaan *EGT pointer*

Pembacaan pengukuran EGT dalam bentuk digital dalam keadaan normal berwarna putih (dalam °C). jarum penunjuk (*pointer*) juga ditampilkan. Angka

yang ditunjukkan yaitu dari 0°C hingga 950°C berwarna abu - abu. Indikasi *EGT* dapat berubah sesuai dengan perubahan suhu .

- *EGT Start Red line* 725°C
- *EGT Max continuous* 925°C
- *EGT Red line* 950°C



Gambar 2.2 *Engine Instrument*
(Muhammad Takdir, 2016)

2.2 Definisi *Thermocouple*

Termokopel (*Thermocouple*) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”. Efek *Thermo-electric* pada Termokopel ini ditemukan oleh seorang fisikawan Estonia bernama *Thomas Johann Seebeck* pada Tahun 1821, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara gradient akan menghasilkan tegangan listrik. Perbedaan Tegangan listrik diantara dua persimpangan (junction) ini dinamakan dengan Efek “*Seeback*”.



Gambar 2.3 *Thermo Couple* (Efendrik Popong, 2019)

Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Suhu (*Temperature*). Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C . Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan.

2.2.1 Jenis *Thermo couple*

Termokopel tersedia dalam berbagai ragam rentang suhu dan jenis bahan. Pada dasarnya, gabungan jenis-jenis logam konduktor yang berbeda akan menghasilkan rentang suhu operasional yang berbeda pula. Berikut ini adalah Jenis-jenis atau tipe Termokopel yang umum digunakan berdasarkan Standar Internasional.

●Termokopel Tipe E

- Bahan Logam Konduktor Positif : *Nickel-Chromium*
- Bahan Logam Konduktor Negatif : Constantan
- Rentang Suhu : $-200^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$

●Termokopel Tipe J

- Bahan Logam Konduktor Positif : *Iron* (Besi)
- Bahan Logam Konduktor Negatif : Constantan
- Rentang Suhu : $0^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$

●Termokopel Tipe K

- Bahan Logam Konduktor Positif : *Nickel-Chromium*
- Bahan Logam Konduktor Negatif : *Nickel-Aluminium*
- Rentang Suhu : $-200^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$

●Termokopel Tipe N

- Bahan Logam Konduktor Positif : *Nicrosil*
- Bahan Logam Konduktor Negatif : *Nisil*

- Rentang Suhu : $0^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$

●Termokopel Tipe T

- Bahan Logam Konduktor Positif : *Copper* (Tembaga)
- Bahan Logam Konduktor Negatif : Constantan
- Rentang Suhu : $-200^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$

●Termokopel Tipe U (kompensasi Tipe S dan Tipe R)

- Bahan Logam Konduktor Positif : *Copper* (Tembaga)
- Bahan Logam Konduktor Negatif : *Copper-Nickel*
- Rentang Suhu : $0^{\circ}\text{C} - 1450^{\circ}\text{C}$

2.2.2 Prinsip kerja *Thermo Couple*

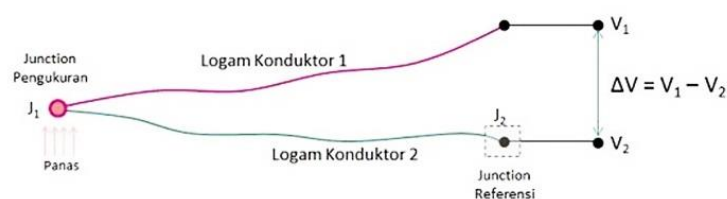
Thermocouple suatu rangkaian yang tersusun dari dua buah logam yang masing-masing mempunyai koefisien muai panjang berbeda yang dihubungkan satu dengan yang lain pada ujung-ujungnya. Jika pada kedua titik hubung kedua logam tersebut mempunyai perbedaan temperature, maka timbul lah beda potensial yang memungkinkan adanya arus listrik di dalamnya.

Termokopel secara sederhana merupakan perpaduan antara dua logam yang berbeda jenis, yang persambungan (kopel) kedua logam diberikan pengkondisian suhu yang berbeda (panas dan dingin). Setting alat untuk melakukan kalibrasi termokopel yaitu, misal kita sebut saja logam A dan logam B merupakan bahan logam pada termokopel. Ujung logam A dan B disambung dan ujung-ujung yang lain dihubungkan ke alat ukur listrik dan dimasukkan ke dalam kondisi suhu dingin, dan untuk ujung yang dikopel ditempatkan pada kondisi suhu panas. Jadi, nilai tegangan itu setara dengan suhu yang terukur oleh termometer, sehingga didapatkan nilai tegangan sekian = suhu sekian, Untuk memahami bagaimana sebuah sambungan logam pada termokopel dapat menimbulkan tegangan listrik kita bisa meninjaunya dari sisi pergerakan atom-atom logam yang digunakan pada termokopel. Suatu logam apabila dipanaskan maka akan mengalami pemuaian, baik memuai panjang maupun memuai lebar (volum). Pemuaian ini diakibatkan oleh pergerakan atom-atom atau elektron dari suhu tinggi menuju ke suhu yang lebih rendah. Pergerakan ini banyak sedikitnya atau cepat lambatnya tergantung pada

bahan logam itu sendiri, artinya logam satu dengan logam lainnya memiliki kecepatan muai yang berbeda-beda. Hal ini dapat kita amati pada bimetal (dua keping logam yang dipadu), ketika bimetal ini dipanaskan maka yang tadinya lurus akan membengkok ke arah logam yang pemuaiannya lebih lambat. Jadi, pada logam termokopel yang berbeda jenis akan memiliki kecepatan alir elektron yang berbeda pula, hal inilah yang kemudian menyebabkan beda potensial di ujung-ujung logam tersebut, yang mana telah dihubungkan ke alat ukur listrik sehingga timbul tegangan listrik di ujung-ujung logam tersebut. Termocouple banyak digunakan sebagai alat ukur suhu di dunia industri, salah satu keuntungannya yaitu mampu mengukur suhu yang sangat tinggi dan juga suhu rendah. Termokopel merupakan sebuah alat yang biasa digunakan untuk mengukur suhu yang pada umumnya sebagai termometer digital, karena termokopel memiliki output berupa arus listrik sehingga pengkonversiannya dapat secara digital. Pada banyak aplikasi, salah satu sambungan-sambungan yang dingin dijaga sebagai temperatur referensi, sedang yang lain dihubungkan pada objek pengukuran. Contoh, hubungan dingin akan ditempatkan pada tembaga pada papan sirkuit. Sensor suhu yang lain akan mengukur suhu pada titik ini, sehingga suhu pada ujung benda yang diperiksa dapat dihitung.

Thermocouple dapat dihubungkan secara seri satu sama lain untuk membuat *termopile*, dimana tiap sambungan yang panas diarahkan ke suhu yang lebih tinggi dan semua sambungan dingin ke suhu yang lebih rendah. Dengan begitu, tegangan pada setiap *Thermocouple* menjadi naik, yang memungkinkan untuk digunakan pada tegangan yang lebih tinggi. Dengan adanya suhu tetapan pada sambungan dingin, yang berguna untuk pengukuran di laboratorium, Secara sederhana *Thermocouple* tidak mudah dipakai untuk kebanyakan indikasi sambungan langsung dan instrumen kontrol. Mereka menambahkan sambungan dingin tiruan ke sirkuit mereka yaitu peralatan lain yang sensitif terhadap suhu (seperti termistor atau dioda) untuk mengukur suhu sambungan input pada peralatan, dengan tujuan khusus untuk mengurangi gradiasi suhu di antara ujung-ujungnya. *Thermocouple* mengukur perbedaan *temperature* diantara kedua kaki, bukan temperatur *absolute*.

Ketika terkena panas maka bimetal akan bengkok kearah yang koefisiennya lebih kecil. Pemuaian ini kemudian dihubungkan dengan jarum dan menunjukkan angka tertentu. Angka yang ditunjukkan jarum ini menunjukkan suhu benda (pada *Thermocouple digital*). Termokopel ini macam-macam, tergantung jenis logam yang digunakan. Jenis logam akan menentukan rentang temperatur yang bisa diukur (termokopel suhu badan (temperatur rendah) berbeda dengan termokopel untuk mengukur temperatur tungku bakar (temperatur tinggi), juga sensitivitasnya.



Gambar 2.4 prinsip kerja *thermo couple*

(Anonim, 2017)

Terdapat sebuah kawat pemanas lurus yang dibuat dari bahan yang mempunyai nilai tahanan yang cukup tinggi. Pada tengah-tengah kawat pemanas tersebut dihubungkan dengan salah satu titik hubung dari thermocouple. Kedua ujung bebas thermocouple masing-masing dihubungkan dengan pengukur milivolt yang akan mengukur beda tegangan yang dihasilkan oleh kedua ujung thermocouple tersebut. Jika arus I dialirkan melalui kawat pemanas maka kawat pemanas akan membangkitkan panas dengan besar daya berbanding dengan arus kuadratnya. Panas yang dibangkitkan ini menaikkan panas pada tengah kawat pemanas dari ke .

2.3. pengertian LED

Light Emitting Diode atau sering disingkat dengan LED adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan

tegangan maju. LED merupakan keluarga Dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Warna-warna Cahaya yang dipancarkan oleh LED tergantung pada jenis bahan semikonduktor yang dipergunakannya. LED juga dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak tampak oleh mata seperti yang sering kita jumpai pada *Remote Control* TV ataupun *Remote Control* perangkat elektronik lainnya.



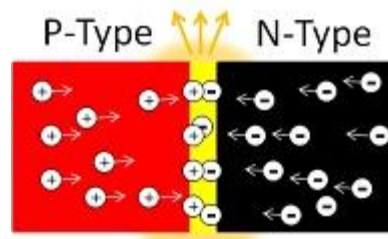
Gambar 2.5 *Light Emitting Diode*

(happyEc, 2019)

Bentuk LED mirip dengan sebuah bohlam (bola lampu) yang kecil dan dapat dipasangkan dengan mudah ke dalam berbagai perangkat elektronika. Berbeda dengan Lampu Pijar, LED tidak memerlukan pembakaran filamen sehingga tidak menimbulkan panas dalam menghasilkan cahaya. Oleh karena itu, saat ini LED (*Light Emitting Diode*) yang bentuknya kecil telah banyak digunakan sebagai lampu penerang dalam LCD TV yang mengganti lampu tube.

2.3.1. Prinsip kerja LED

LED merupakan keluarga dari Dioda yang terbuat dari Semikonduktor. Cara kerjanya pun hampir sama dengan Dioda yang memiliki dua kutub yaitu kutub Positif (P) dan Kutub Negatif (N). LED hanya akan memancarkan cahaya apabila dialiri tegangan maju (bias *forward*) dari Anoda menuju ke Katoda.



Gambar 2.6 Prinsip kerja LED (Suprianto, 2019)

LED terdiri dari sebuah chip semikonduktor yang di doping sehingga menciptakan *junction* P dan N. Yang dimaksud dengan proses doping dalam semikonduktor adalah proses untuk menambahkan ke tidak murnian (*impurity*) pada semikonduktor yang murni sehingga menghasilkan karakteristik kelistrikan yang diinginkan. Ketika LED dialiri tegangan maju atau *bias forward* yaitu dari Anoda (P) menuju ke Katoda (K), Kelebihan Elektron pada N-Type material akan berpindah ke wilayah yang kelebihan *Hole* (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif (*P-Type material*). Saat Elektron berjumpa dengan *Hole* akan melepaskan photon dan memancarkan cahaya monokromatik (satu warna).

LED atau Light Emitting Diode yang memancarkan cahaya ketika dialiri tegangan maju ini juga dapat digolongkan sebagai *Transduser* yang dapat mengubah Energi Listrik menjadi Energi Cahaya.

2.3.2. .jenis - jenis LED

LED telah memiliki beranekaragam warna, diantaranya seperti warna merah, kuning, biru, putih, hijau, jingga dan infra merah. Keaneka ragaman Warna pada LED tersebut tergantung pada *wave length* (panjang gelombang) dan senyawa semikonduktor yang

dipergunakannya. Berikut ini adalah tabel Senyawa Semikonduktor yang digunakan untuk menghasilkan variasi warna pada LED :

Tabel 2.1 jenis - jenis LED

Bahan Semikonduktor	Wavelength	Warna
Gallium Arsenide (GaAs)	850-940nm	Infra Merah
Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP)	630-660nm	Merah
Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP)	605-620nm	Jingga
Gallium Arsenide Phosphide Nitride (GaAsP:N)	585-595nm	Kuning
Aluminium Gallium Phosphide (AlGaP)	550-570nm	Hijau
Silicon Carbide (SiC)	430-505nm	Biru
Gallium Indium Nitride (GaInN)	450nm	Putih

2.4 Arduino Uno

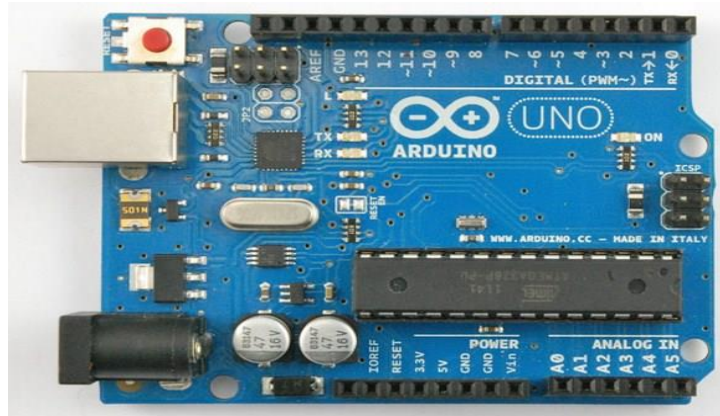
Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328 (datasheet). Memiliki 14 pin *input* dari *output digital* dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 6 pin *input analog*, 16 MHz osilator kristal, koneksi *USB*, *jack power*, *ICSP header*, dan tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *Board* Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang - ke adaptor - DC atau baterai untuk menjalankannya.

Uno berbeda dengan semua board sebelumnya dalam hal koneksi *USB-to-serial* yaitu menggunakan fitur Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial berbeda dengan board sebelumnya yang menggunakan chip FTDI driver USB-to-serial.

Nama “Uno” berarti *satu* dalam bahasa Italia, untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi dari Arduino. Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian board USB Arduino, dan sebagai model referensi untuk platform Arduino. Pada alat ini penulis menggunakan Arduino Uno karena memiliki beberapa kelebihan, yaitu :

- Murah – Papan (perangkat keras) Mikrokontroler ini dijual dengan harga relatif murah sekitar RP. 125.000
- Sederhana dan mudah pemrogramannya – Karena bahasa yang dipakai bukanlah assembler yang relatif sulit, maka untuk para pemula arduino ini akan mudah dipelajari
- *Connectornya* berupa USB sehingga mudah digunakan
- Pemrograman relatif mudah dipelajari untuk pemula
- Perangkat lunaknya *Open Source* – Karena *software* Arduino IDE dipublikasikan sebagai *Open Source*, maka Arduino tersedia bagi para pemrogram berpengalaman. Karena bahasanya bisa dikembangkan lebih lanjut melalui pustaka-pustaka C++ yang berbasis pada Bahasa C untuk AVR.
- Perangkat kerasnya *Open Source* – Perangkat keras Arduino berbasis mikrokontroler ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA328 dan ATMEGA1280 (yang terbaru ATMEGA2560). Dengan demikian siapa saja bisa membuatnya (dan kemudian bisa menjualnya) perangkat keras Arduino ini, apalagi bootloader tersedia langsung dari perangkat lunak Arduino IDE-nya. Bisa juga menggunakan breadboard untuk membuat perangkat Arduino beserta periferal-periferal lain yang dibutuhkan.

2.4.1. Spesifikasi Arduino Uno



Gambar 2.7 Arduino Uno
(Belajar Robot, 2016)

- Microcontroller ATmega328
- Operasi dengan daya : 5V
- Input Tegangan (disarankan) : 7-12V
- Input Tegangan (batas) : 6-20V
- Digital I / O Pin : 14 (dimana 6 memberikan output PWM)
- Analog Input Pin: 6
- DC Lancar per I / O Pin : 40 mA
- Saat 3.3V Pin 50 mA DC
- Flash Memory : 32 KB (ATmega328) yang 0,5 KB digunakan oleh bootloader
- SRAM : 2 KB (ATmega328)
- EEPROM : 1 KB (ATmega328)
- Clock Speed : 16 MHz

Daya

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal (otomatis).

Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari AC-ke adaptor-DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan plug jack pusat-

positif ukuran 2.1mm konektor POWER. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam Gnd dan Vin pin header dari konektor POWER.

Kisaran kebutuhan daya yang disarankan untuk board Uno adalah 7 sampai dengan 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 volt kemungkinan pin 5v Uno dapat beroperasi tetapi tidak stabil kemudian jika diberi daya lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak board Uno. Pin listrik adalah sebagai berikut:

- VIN. Tegangan masukan kepada board Arduino ketika itu menggunakan sumber daya eksternal (sebagai pengganti dari 5 volt koneksi USB atau sumber daya lainnya).
- 5V. Catu daya digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya.
- 3v3. Sebuah pasokan 3,3 volt dihasilkan oleh regulator on-board.
- GND. Ground pin.

Memori

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk bootloader), 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan EEPROM library).

Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin digital di Uno dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi *pinMode ()*, *digitalWrite ()*, dan *digitalRead ()*, beroperasi dengan daya 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki internal pull-up resistor (secara default terputus) dari 20-50 kOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) TTL data serial. Pin ini dihubungkan ke pin yang berkaitan dengan chip Serial ATmega8U2 USB-to-TTL.

Eksternal menyela: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interrupt pada nilai yang rendah, dengan batasan tepi naik atau turun, atau perubahan nilai. Lihat (`attachInterrupt`) fungsi untuk rincian lebih lanjut.

PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Menyediakan output PWM 8-bit dengan fungsi `analogWrite ()`.

SPI: 10 (SS), 11 (Mosi), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan *SPI library*.

LED: 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai nilai HIGH, LED on, ketika pin bernilai LOW, LED off.

Uno memiliki 6 masukan analog, berlabel A0 sampai dengan A5, yang masing-masing menyediakan 10 bit dengan resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

I2C: A4 (SDA) dan A5 (SCL). Dukungan I2C (TWI) komunikasi menggunakan perpustakaan Wire.

Aref. Tegangan referensi (0 sampai 5V saja) untuk input analog. Digunakan dengan fungsi `analogReference ()`.

Reset. Bawa baris ini LOW untuk me-reset mikrokontroler.

Komunikasi

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan UART TTL (5V) untuk komunikasi serial, yang tersedia di pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah ATmega8U2 sebagai saluran komunikasi serial melalui USB dan sebagai port virtual com untuk perangkat lunak pada komputer. Firmware '8 U2 menggunakan driver USB standar COM, dan tidak ada driver eksternal yang diperlukan. Namun, pada Windows diperlukan, sebuah file inf. Perangkat lunak Arduino terdapat monitor serial yang memungkinkan digunakan memonitor data tekstual sederhana yang akan dikirim ke atau dari board Arduino. LED RX dan TX di papan tulis akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dengan koneksi USB ke komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

Sebuah *Software Serial library* memungkinkan untuk berkomunikasi secara serial pada salah satu pin digital pada board Uno's.

ATmega328 juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan Kawat untuk menyederhanakan penggunaan bus I2C, lihat dokumentasi untuk rincian. Untuk komunikasi SPI, menggunakan perpustakaan SPI.

2.5 Motor Stepper

Motor stepper merupakan salah satu jenis motor yang banyak digunakan saat ini sebagai *actuator*, misalnya sebagai penggerak head baca/tulis pada disk drive yang akan menetapkan posisi head baca / tulis di atas permukaan piringan disket, penggerak *head* pada printer dan *line feed control*, dan yang lebih populer saat ini adalah aplikasi dalam bidang robotik. Dengan bantuan mikroprosesor atau mikrokontroler perputaran motor dapat dikontrol dengan tepat dan terprogram.

Umumnya motor stepper hanya mempunyai kumparan pada bagian *stator* sedangkan pada bagian *rotor* merupakan magnet permanen (bahan *ferro magnetic*). Karena konstruksi inilah maka motor stepper dapat diatur posisinya pada posisi tertentu dan/atau berputar ke arah yang diinginkan, apakah searah jarum jam atau sebaliknya. Ada tiga jenis motor stepper: motor stepper Magnet Permanen, *Variable Reluctance* dan *Hybrid*. Semua jenis tersebut melakukan fungsi dasar yang sama, tetapi mempunyai perbedaan penting pada beberapa aplikasi.

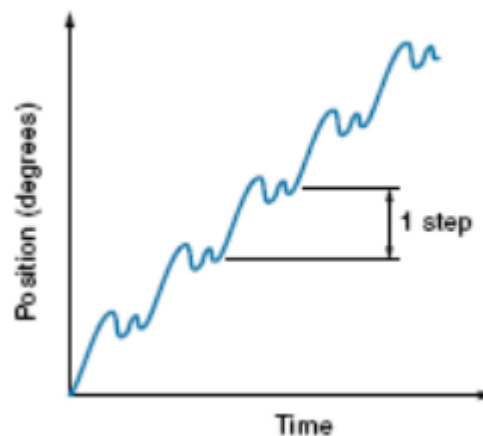
Motor stepper dapat berputar atau berotasi dengan sudut step yang bisa bervariasi tergantung motor yang digunakan. Ukuran step (*step size*) dapat berada pada *range* 0,90 sampai 900. Misalnya sudut step 7,50; 150; 300 dan seterusnya tergantung aplikasi atau kebutuhan yang diinginkan. Posisi putarannya pun relatif eksak dan stabil. Dengan adanya variasi sudut step tersebut akan lebih memudahkan untuk melakukan pengontrolan serta pengontrolannya dapat langsung menggunakan sinyal digital tanpa perlu menggunakan rangkaian *closed-loop feedback* untuk memonitor posisinya. Dengan alasan inilah maka motor stepper banyak digunakan sebagai *actuator* yang menerapkan rangkaian digital sebagai

pengontrol /driver ataupun untuk *interfacing* ke piranti yang berbasis mikroprosesor / mikrokontroler.

2.5.1 Mode Operasi Motor Stepper

Motor stepper mempunyai dua mode operasi yaitu *single step mode* dan *slew mode*. Pada *single step mode* atau disebut juga bidirectional mode, frekuensi step cukup lambat untuk memperbolehkan *rotor* (hampir semua) berhenti di antara step. Pada setiap step, motor meneruskan sudut tertentu dan kemudian berhenti. Jika motor bebannya kecil, *overshoot* (lonjakan) dan osilasi dapat terjadi pada akhir setiap step seperti yang ditunjukkan pada gambar.

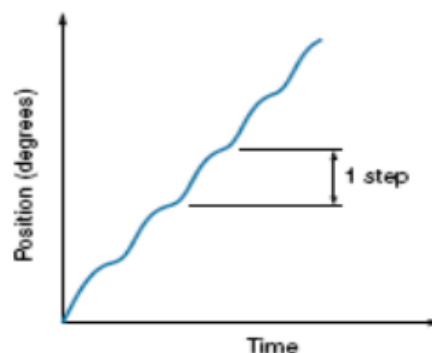
Keuntungan besar dari operasi *single-step* adalah bahwa setiap step benar-benar tidak tergantung pada step lainnya. Artinya motor dapat berhenti secara pasti (*dead stop*) atau bahkan berbalik arah kapan saja. Karena itu kontroler mempunyai kontrol yang *instant* dan sempurna pada operasi motor. Dan juga ada kepastian bahwa kontroler tidak akan kehilangan hasil cacahan (*count*, dan tentunya berarti posisi motor) sebab setiap step ditetapkan sedemikian baik. Kekurangan *single-step mode* adalah gerakannya lambat dan “*choppy*”(berombak). Kecepatan *single-step mode* yang tipikal adalah 5 step / detik yang mentranslasikan 12,5 rpm (*rotary per minute*) untuk motor 150/step.



Gambar 2.8 Motor stepper single - step
(Syahrul, 2019)

Pada *slew mode*, atau *unidirectional mode*, frekuensi step adalah cukup tinggi sehingga tidak mempunyai waktu untuk berhenti. Mode ini mirip dengan motor listrik biasa (*regular electric motor*). Jadi motor selalu mengalami torsi dan berotasi lebih halus dengan kontinyu. Walaupun setiap step dapat tetap dilihat, gerakannya jauh lebih halus dibandingkan dengan *single-step mode*.

Motor stepper dengan *slew mode* tidak dapat berhenti atau berbalik arah secara mendadak (*instantaneously*). Jika dicoba dilakukan, maka kemungkinan besar *rotational inertia* motor akan membawa rotor ke depan beberapa step sebelum berhenti. Jadi *step-count* keseluruhan akan hilang. Kemungkinan untuk menjaga *step-count* dalam *slew mode* dilakukan dengan memperlambat kecepatan lereng - atas dari *single-step* mode dan kemudian pada lereng - bawah bagian akhir dari *slew*. Hal ini berarti kontroler harus mengetahui waktu di depan seberapa jauh motor harus jalan. Secara tipikal *slew mode* digunakan untuk memperoleh posisi motor dalam “*ball park*”, dan kemudian *fine adjustment* dapat dilakukan dengan *single step*. *Slewing* menggerakkan motor lebih cepat tetapi memperbesar perubahan kehilangan *step-count*.



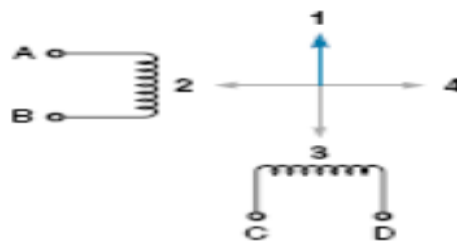
Gambar 2.9 Motor Stepper Slew - Mode
(Syahrul, 2019)

2.5.2 Jenis Motor Stepper

A. Motor Stepper 2 phase

Motor stepper dua-phase (bipolar) mempunyai konstruksi yang mirip dengan jenis unipolar, hanya tidak terdapat tap pada kumparannya. Penggunaan motor stepper jenis bipolar memerlukan rangkain yang agak

lebih rumit untuk mengatur agar motor ini dapat berputar dalam dua arah. Untuk menggerakkan motor stepper jenis ini biasanya diperlukan sebuah drivermotor yang dikenal dengan nama H bridge. Rangkaian ini akan mengontrol setiap kumparan secara terpisah (*independent*) termasuk polaritas untuk setiap kumparan.



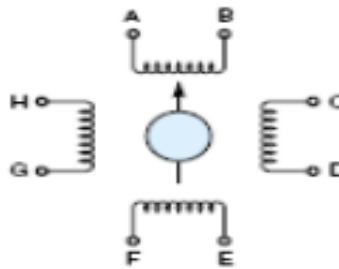
Gambar 2.10 Motor Stepper 2 phasa
(Syahrul, 2019)

Cara yang paling sederhana dalam memberikan step pada motor ini adalah dengan memberikan energi secara bergantian pada AB atau CD untuk menarik rotor dari kutub ke kutub. Jika rotor bergerak CCW (*counter clock wise*, berlawanan arah jarum jam) dari posisi 1, maka rangkaian CD harus diberi energi dengan polaritas C+D-. Hal ini akan menarik rotor ke posisi 2. Selanjutnya, rangkaian AB diberi energi lagi, tetapi kali ini polaritasnya terbalik (-A+B), yang menyebabkan kutub bawah memberikan ujung utara pada rotor, dengan demikian tertarik ke posisi 3. Istilah bipolar digunakan pada motor ini karena arus kadang-kadang terbalik. Urutan tegangan diperlukan untuk memutar motor satu putaran penuh dan ditunjukkan di bawah ini. Pembacaan dari atas ke bawah memberikan urutan untuk peralihan/perputaran CCW, pembacaan dari bawah ke atas adalah urutan CW (*clock wise*, sarah jarum jam).

B. Motor Stepper 4 Phase

Motor stepper empat - phase (*unipolar*) adalah jenis motor stepper yang paling umum. Istilah empat- phase digunakan karena motor

mempunyai empat kumparan medan yang dapat diberikan energi secara terpisah / tersendiri, dan istilah unipolar digunakan karena arus selalu mengalir dalam arah yang sama melalui kumparan. Cara sederhana untuk mengoperasikan motor stepper empat - phase adalah dengan memberikan energi phase satu pada suatu waktu yang berurutan (dikenal dengan *wave drive*).



Gambar 2.11 Motor Stepper 4 phase
(Syahrul, 2019)

Saat ini hampir semua motor stepper magnet permanen tersedia dalam ukuran step yang lebih kecil dibandingkan dengan motor sederhana yang telah kita bahas di depan.

C. Motor Stepper VR (Valuable - Reluctance)

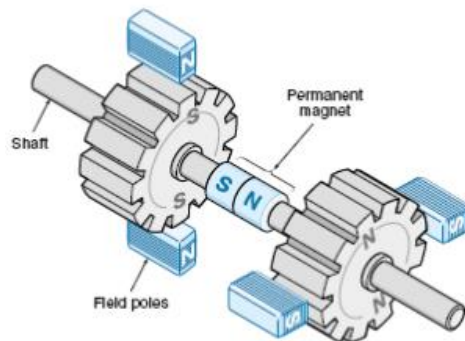
Motor stepper *variable – reluctance* (VR) tidak menggunakan magnet pada rotornya; sebagai gantinya, digunakan roda besi bergerigi. Keuntungan dari tidak diperlukannya rotor yang termagnetisasi adalah bahwa dia dapat dibuat dalam berbagai ketajaman (*any shape*).

Setiap gigi rotor ditarik mendekati kutub medan dalam stator yang mendapat energi, tetapi tidak dengan gaya yang sama seperti pada motor magnet permanen. Hal ini memberikan motor-VR orsi yang lebih kecil dibandingkan dengan motor magnet permanen.

D. Motor Stepper Hybrid

Motor stepper hybrid menggabungkan kelebihan / fitur *motor stepper magnet permanen* dan *motor stepper variable reluctance* (VR) dan

ini yang paling banyak digunakan saat ini. Rotor bergerigi, yang membolehkan sudut step yang sangat kecil (1,80 tipikal), dan mempunyai suatu magnet permanen yang memberikan *detent torque* yang kecil bahkan ketika catu daya dimatikan.

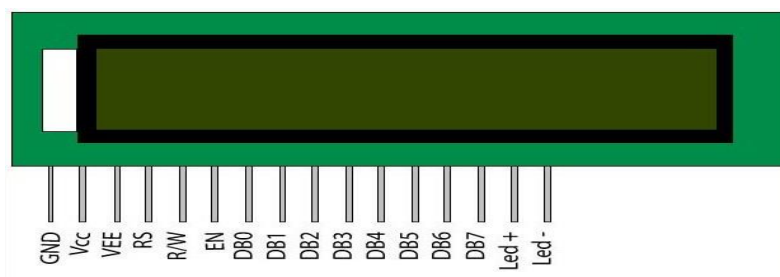


Gambar 2.12 Motor Stepper Hybrid
(Syahrul, 2019)

Teori operasi motor hybrid mirip dengan motor VR di mana rotor dan stator mempunyai jumlah gigi yang berbeda dan untuk setiap step, gigi yang mendapat energi terdekat yang akan ditarik untuk disejajarkan. Namun, prinsip - prinsip magnetik diperlukan, pada satu waktu kapan saja, setengah kutub - kutub menjadi utara dan setengah lainnya menjadi selatan. Untuk mempertahankan keseimbangan magnetik (*magnetic balance*), setiap kutub harus dapat men-switch polaritas supaya dapat memberikan kutub yang tepat pada waktu yang tepat. Hal ini diselesaikan dengan satu cara dari dua cara: Untuk *motor bipolar*, tegangan yang digunakan harus dibalik oleh rangkaian *driver* (seperti pada *motor stepper magnet* permanen dua - *phase*). Pada sisi lain, motor *unipolar* mempunyai dua kumparan terpisah arah berlawanan pada setiap kutub medan (disebut *bifilar winding*), dan juga setiap kutub dapat menjadi utara atau selatan. Karena itu *motor stepper hybrid unipolar* tidak memerlukan rangkaian pembalik polaritas.

2.6 LCD16x2

LCD 16×2 adalah salah satu penampil yang sangat populer digunakan sebagai *interface* antara mikrokontroler dengan user nya. Dengan penampil LCD 16×2 ini user dapat melihat/memantau keadaan sensor ataupun keadaan jalanya program. Penampil LCD 16×2 ini bisa di hubungkan dengan mikrokontroler apa saja. Salah satunya dari keluarga AVR ATmega baik ATmega 32, ATmega 16 ataupun ATmega 8535 dan ATmega 8.



Gambar 2.13 Spesifikasi Pin pada LCD
(Egi Anugrah, 2016)

Dari gambar di atas tersebut dapat dilihat bahwa LCD 16×2 mempunyai 16 pin. sedangkan pengkabelanya adalah sebagai berikut :

1. Kaki 1 dan 16 terhubung dengan Ground (GND)
2. Kaki 2 dan 15 terhubung dengan VCC (+5V)
3. Kaki 3 dari LCD 16×2 adalah pin yang digunakan untuk mengatur kontras kecerahan LCD. Jadi kita bisa memasang sebuah trimpot 10k untuk mengatur kecerahannya. Pemasanganya seperti terlihat pada rangkaian tersebut. Karena LCD akan berubah kecerahannya jika tegangan pada pin 3 ini di turunkan atau dinaikan.
4. Pin 4 (RS) dihubungkan dengan pin mikrokontroler
5. Pin 5 (RW) dihubungkan dengan GND
6. Pin 6 (E) dihubungkan dengan pin mikrokontroler

7. Sedangkan pin 11 hingga 14 dihubungkan dengan pin mikrokontroler sebagai jalur datanya.

Tabel 2.2 Pin LCD – Pin Arduino

Pin LCD	Pin Arduino
Pin 1 (GND)	GND
Pin 2 (VCC)	+5V
Pin 3 (VSS)	Potentio 50K
Pin 4 (RS)	PORT 12
Pin 5 (R/W)	GND
Pin 6 (E)	PORT 11
Pin 7	-
Pin 8	-
Pin 9	-
Pin 10	-
Pin 11 (D4)	PORT 5
Pin 12 (D5)	PORT 4
Pin 13 (D6)	PORT 3
Pin 14 (D7)	PORT 2
Pin 15 (LED +)	+5V
Pin 16 (LED -)	GND

2.7 Real Time Clock

Real Time Clock (RTC) merupakan IC yang dibuat oleh perusahaan Dallas Semikonduktor. IC ini memiliki Kristal yang dapat mempertahankan frekuensinya

dengan baik. *Real Time Clock (RTC)* merupakan suatu *chip* (IC) yang memiliki fungsi sebagai penyimpan waktu dan tanggal. Ada dua buah jenis IC RTC yaitu:

1. DS1307 merupakan Real Time Clock (RTC) yang menggunakan jalur data parallel yang dapat menyimpan data-data detik, menit, jam, tanggal, bulan, hari dalam seminggu, dan tahun valid hingga 2100. 56 byte, *battery - backed*, *RAM nonvolatile (NV) RAM* untuk penyimpanan.
2. DS12C887 menggunakan jalur data seri yang memiliki register yang dapat menyimpan data detik, jam, menit, jam, tanggal, bulan dan tahun. RTC ini memiliki 128 lokasi RAM yang terdiri dari 15 byte untuk data waktu serta control, dan 113 byte sebagai RAM umum. RTC DS 12C887 menggunakan bus yang termultipleks untuk menghemat pin. *Timing* yang digunakan untuk mengakses RTC dapat menggunakan *intel timing* atau *motorla timing*. RTC ini juga dilengkapi dengan pin IRQ untuk kemudahan proses.

2.7.1 Jenis - Jenis RTC

1. RTC Parallel (DS1307)

DS1307 merupakan *Real Time Clock (RTC)* dengan jalur data parallel yang memiliki *interface* serial *Two-wire* (12C), sinyal luaran gelombang - kotak terprogram (*Programmable Square wave*), deteksi otomatis kegagalan-daya (*power-fail*) dan rangkaian *switch*, konsumsi daya kurang dari 500nA menggunakan mode baterai cadangan dengan operasional osilator. Tersedia fitur industri dengan ketahanan suhu : -40 °C hingga +85 °C. Tersedia dalam kemasan 8-pin DIP atau SOIC.

Berikut ini merupakan daftar pin untuk RTC Parallel DS1307 :

1. X1, merupakan pin yang digunakan untuk dihubungkan dengan X2
2. X2, berfungsi sebagai keluaran / output dari *crystal* yang digunakan. Terhubung juga dengan X1
3. V BAT , merupakan *backup supply* untuk serial RTC dalam menjalankan fungsi waktu dan tanggal. Besarnya adalah 3 V dengan menggunakan jenis *Lithium Cell* atau sumber energi lain. Jika pin ini tidak digunakan maka harus terhubung dengan

Ground. Sumber tegangan dengan 48 mAH atau lebih besar dapat digunakan sebagai cadangan energi sampai lebih besar dari 10 tahun, namun dengan persyaratan untuk pengoperasian dalam suhu 25 °C.

4. GND, berfungsi sebagai Ground.
5. SDA – Serial Data, berfungsi sebagai masukan / keluaran (I/O) untuk I2C *serial interface*. Pin ini bersifat *open drain*, oleh sebab itu membutuhkan eksternal *pull up resistor*.
6. SCL – Serial Data, berfungsi sebagai clock untuk input ke I2C dan digunakan untuk mensinkronisasi pergerakan data dalam *serial interface*. Bersifat *open drain*, oleh sebab itu membutuhkan eksternal *pull up resistor*.
7. SWQ/OUT Sebagai *square wave/ Output Driver*. Jika diaktifkan, maka akan menjadi 4 frekuensi gelombang kotak yaitu 1 Hz, 4 kHz, 8 kHz, 32 kHz sifat dari pin ini sama dengan sifat pin SDA dan SCL sehingga membutuhkan eksternal *pull up resistor*. Dapat dioperasikan dengan VCC maupun dengan V BAT.
8. VCC, merupakan sumber tegangan utama. Jika sumber tegangan terhubung dengan baik, maka peengaksesan data dan pembacaan data dapat dilakukan dengan baik. Namun jika *backup supply* terhubung juga dengan VCC, namun besar VCC di bawah V TP, maka pengaksesan data tidak dapat dilakukan.

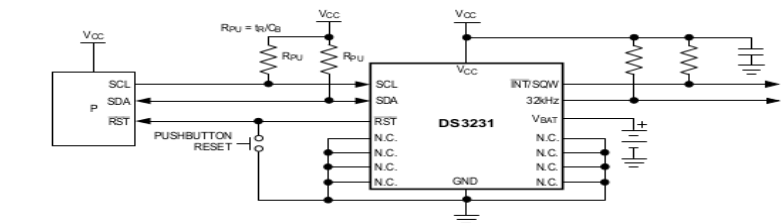
2. RTC SERI DS12C887

DS12C887 mempunyai 14 buah *register* yang terdiri dari 4 *Register Kontrol* dan 10 *Register Data*. *Register Data* sendiri terpisah menjadi *register waktu* dan *Register Alarm* sebagaimana ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Setelah *Register - register Kontrol* diinisialisasi, maka data waktu ataupun alarm dapat dibaca atau ditulisi dengna cara mengakses *register - register data* yang bersangkutan.

3. RTC DS 3231

DS3231 adalah real-time clock I2C (RTC) berbiaya rendah dan sangat akurat dengan osilator kristal kompensasi suhu terintegrasi (TCXO) dan kristal. Perangkat menggabungkan input baterai, dan menjaga ketepatan waktu ketika daya utama ke perangkat terganggu. Integrasi resonator kristal

meningkatkan keakuratan jangka panjang perangkat serta mengurangi jumlah bagian - potong dalam jalur manufaktur. DS3231 tersedia dalam rentang suhu komersial dan industri, dan ditawarkan dalam paket SO 16-pin, 300-mil.



Gambar 2.14 RTC DS3231 PIN Diagram (DS3231 DataSheet)

RTC mempertahankan informasi detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun. Tanggal pada akhir bulan secara otomatis disesuaikan untuk bulan dengan kurang dari 31 hari, termasuk koreksi untuk tahun kabisat. Jam beroperasi dalam format 24 jam atau 12 jam dengan indikator AM / PM. Dua alarm waktu hari yang dapat diprogram dan output gelombang persegi yang dapat diprogram disediakan. Alamat dan data ditransfer secara serial melalui bus dua arah I2C.

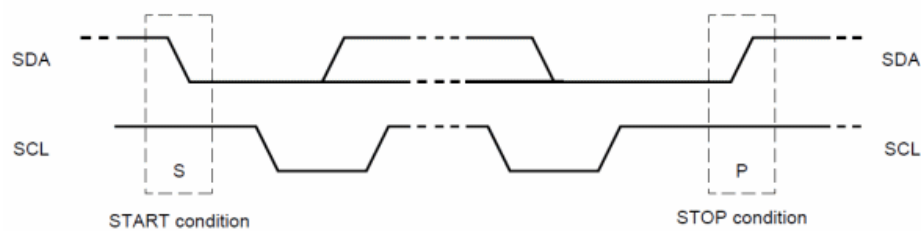
Referensi tegangan dan kompensasi komparator yang dikompensasi suhu memonitor status VCC untuk mendeteksi kegagalan daya, untuk menyediakan *output reset*, dan untuk secara otomatis beralih ke pasokan cadangan bila diperlukan. Selain itu, pin RST dipantau sebagai *input* tombol tekan untuk menghasilkan *reset* μP .

2.8 Sistem Komunikasi I2C

Inter Integrated Circuit atau sering disebut I2C adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didisain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I2C terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya. Piranti yang dihubungkan dengan sistem I2C Bus dapat dioperasikan sebagai *Master* dan *Slave*. Master adalah piranti yang memulai transfer data pada I2C Bus dengan membentuk sinyal *Start*, mengakhiri transfer

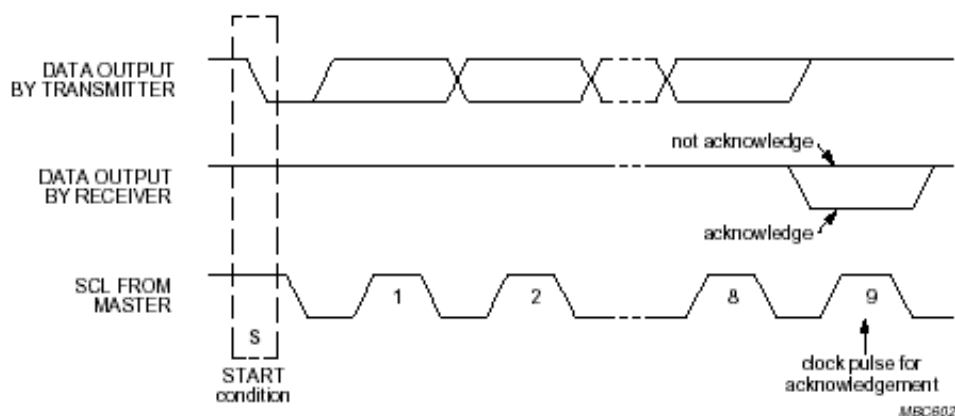
data dengan membentuk sinyal *Stop*, dan membangkitkan sinyal *clock*. *Slave* adalah piranti yang dialamati master.

Sinyal *Start* merupakan sinyal untuk memulai semua perintah, didefinisikan sebagai perubahan tegangan SDA dari “1” menjadi “0” pada saat SCL “1”. Sinyal *Stop* merupakan sinyal untuk mengakhiri semua perintah, didefinisikan sebagai perubahan tegangan SDA dari “0” menjadi “1” pada saat SCL “1”.



Gambar 2.15 kondisi sinyal I2C *Start* dan *Stop*
(I Nyoman Kusuma Wardana, 2016)

Sinyal dasar yang lain dalam *I2C Bus* adalah sinyal *acknowledge* yang disimbolkan dengan ACK. Setelah transfer data oleh master berhasil diterima *slave*, *slave* akan menjawabnya dengan mengirim sinyal *acknowledge*, yaitu dengan membuat SDA menjadi “0” selama siklus *clock* ke 9. Ini menunjukkan bahwa *Slave* telah menerima 8 bit data dari Master.

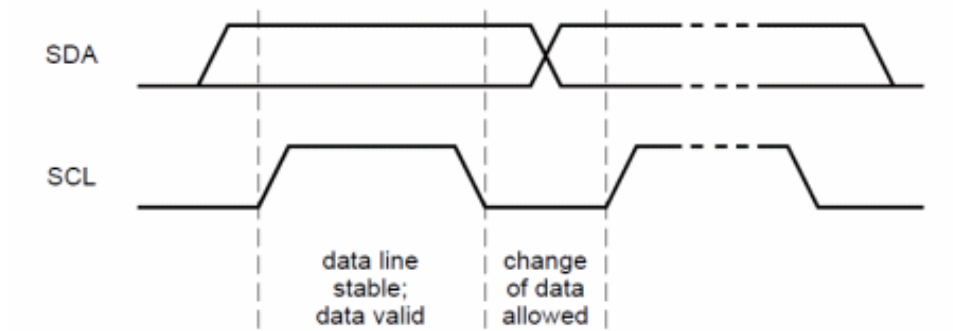


Gambar 2.16 sinyal ACK dan NACK
(I Nyoman Kusuma Wardana, 2016)

Dalam melakukan transfer data pada *I2C Bus*, kita harus mengikuti tata cara yang telah ditetapkan yaitu:

- Transfer data hanya dapat dilakukan ketika Bus tidak dalam keadaan sibuk.

- Selama proses transfer data, keadaan data pada SDA harus stabil selama SCL dalam keadaan tinggi. Keadaan perubahan “1” atau “0” pada SDA hanya dapat dilakukan selama SCL dalam keadaan rendah. Jika terjadi perubahan keadaan SDA pada saat SCL dalam keadaan tinggi, maka perubahan itu dianggap sebagai sinyal Start atau sinyal Stop



Gambar 2.17 transfer bit pada i2c bus
(I Nyoman Kusuma Wardana, 2016)

