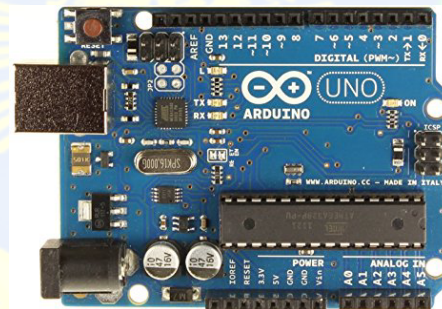


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Arduino UNO

Arduino UNO adalah sebuah board mikrokontroller yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu *men-support* mikrokontroller dan dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB. Gambar 2.4 merupakan tampilan dari Arduino UNO yang berfungsi sebagai mikrokontroller pada tugas akhir ini.



Gambar 2 1Tampilan Arduino UNO

2.2 Spesifikasi Arduino UNO

Berikut ini adalah Spesifikasi yang dimiliki oleh Arduino UNO:

Tabel 2.1 Deskripsi Arduino UNO

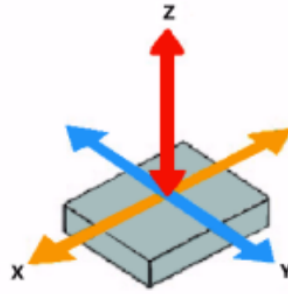
Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V

Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 Ma
DC Current for 3.3V Pin	50 Ma
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 Mm

2.3 Accelerometer Dan Gyroscope

2.3.1 Accelerometer

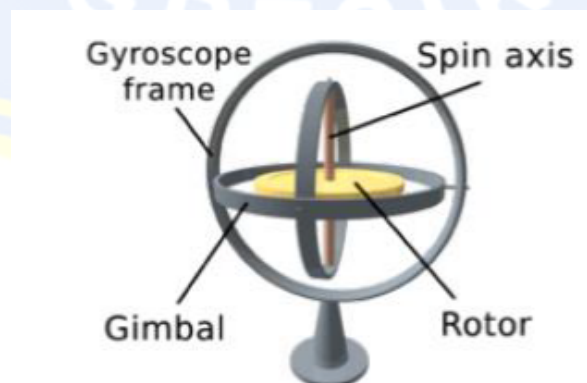
Accelerometer adalah perangkat yang berfungsi untuk mengukur akselerasi. Akselerasi yang diukur dengan accelerometer belum tentu memiliki laju perubahan velositas. Sebaliknya, accelerometer mendapatkan akselerasi yang dimaksud dengan fenomena berat yang dialami oleh uji massa pada kerangka acuan perangkat accelerometer.



Gambar 2.2 Gambaran sensor accelerometer

2.3.2 Gyroscope

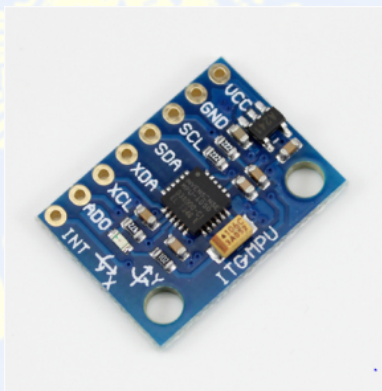
Gyroscope adalah roda berat yang berputar pada jari-jarinya. Sebuah giroskop mekanis terdiri dari sebuah roda yang diletakkan pada sebuah bingkai. Roda ini berada di sebuah batang besi yang disebut dengan poros roda. Ketika gyroscope digerakkan, maka ia akan bergerak mengitari poros tersebut. Poros tersebut terhubung dengan lingkaran-lingkaran yang disebut gimbal. Gimbal tersebut juga terhubung dengan gimbal lainnya pada dasar lempengan. Jadi saat piringan itu berputar, unit gyroscope itu akan tetap menjaga posisinya saat pertama kali dia diputar.



Gambar 2.3 Konstruksi dalam sensor gyroscope

2.3.3 Sensor MPU6050

GY-521 MPU-6050 Module adalah sebuah modul berinti MPU-6050 yang merupakan 6 axis Motion Processing Unit dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya yang membuat modul ini siap dipakai dengan tegangan supply sebesar 3-5VDC. Modul ini memiliki interface I2C yang dapat disambungkan langsung ke MCU yang memiliki fasilitas I2C. Sensor MPU-6050 berisi sebuah MEMS Accelerometer dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas hardware internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan menangkap nilai kanal axis X, Y dan Z bersamaan dalam satu waktu. Bentuk dari sensor dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.4 MPU6050

Berikut adalah spesifikasi dari Modul ini :

1. Berbasis Chip MPU-6050
2. Supply tegangan berkisar 3-5V
3. Gyroscope range + 250 500 1000 2000 ° / s

4. Acceleration range: $\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16$ g
5. Communication standard I2C
6. Chip built-in 16 bit AD converter, 16 bits data output
7. Jarak antar pin header 2.54 mm
8. Dimensi modul 20.3mm x 15.6mm

2.4 Brushless DC Motor (BLDC)

Motor DC tanpa sikat atau disebut juga dengan motor *Brushless DC motor (BLDC Motor)* merupakan salah satu jenis motor sinkron. Dimana medan magnet yang dihasilkan oleh rotor dan stator pada frekwensi yang sama. Motor BLDC tidak mengalami Slip, seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. Motor jenis ini mempunyai magnet permanent pada "rotor" sedangkan pada bagian stator-nya. Setelah itu, dengan menggunakan sebuah rangkaian sederhana (*simple computersystem*), maka kita dapat merubah arus eletromagnet yang dihasilkan oleh motor ketika bagian rotor-nya berputar. Motor BLDC sering digunakan dalam berbagai bidang seperti; industry otomotif, kesehatan maupun bidang otomasi robotic. Motor BLDC mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan DC motor dan Motor induksi biasa. Motor *Brushless DC (BLDC)* adalah pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan keandalan yang tinggi, efisiensi tinggi, dan rasio power-volume yang tinggi.

2.4.1 Keunggulan motor BLDC

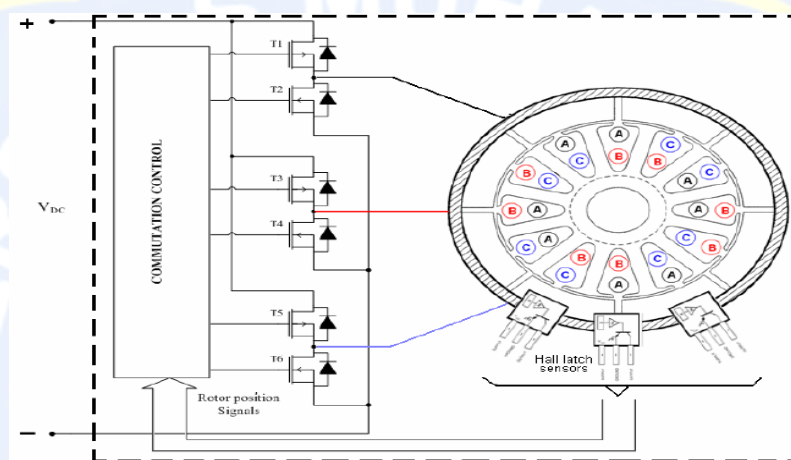
1. *High Speed Operation*, Sebuah motor BLDC dapat beroperasi pada kecepatan di atas 10.000 rpm dalam kondisi *loading* dan *unloading*.
2. *Responsif & acceleration*, rotor Brushless DC motor memiliki inersia rotor rendah, yang memungkinkan motor ini untuk mempercepat, mengurangi kecepatan, dan membalik arah dengan cepat.
3. *High Power Density*, motor BLDC memiliki torsi berjalan tertinggi per inci kubik dari pada motor DC lainnya.
4. *Keandalan tinggi*, motor BLDC tidak memiliki sikat, sehingga motor jenis ini memiliki ketahanan dan *lifetime* yang cukup tinggi hingga mencapai 10.000 jam pemakaian. Hal ini menjadikan motor jenis ini sangat jarang sekali dilakukan penggantian atau perbaikan secara menyeluruh.

Selain itu terdapat keunggulan-keunggulan lain yaitu:

1. Kecepatan yang lebih baik untuk melawan karakteristik tenaga putaran
2. Efisiensi tinggi
3. Tahan lama atau usia pakainya lebih lama
4. Nyaris tanpa suara bila dioperasikan

2.4.2 Prinsip dasar motor BLDC

prinsip kerja dari motor BLDC memiliki konstruksi yang berbeda dengan motor dc pada umumnya, dimana motor ini memiliki tiga fasa yang berbeda sehingga masing-masing fasa memiliki sudut sebesar 120^0 , sehingga motor BLDC menggunakan hall effect yang digunakan untuk mendeteksi posisi dimana rotor berada dengan menggunakan signal dari komutasi motor



Gambar 2. 5 Diagram BLDC

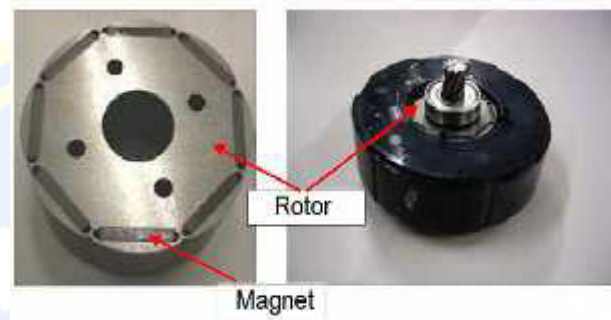
2.4.3 Konstruksi

Setiap motor BLDC memiliki dua bagian utama, rotor (bagian berputar) dan stator (bagian stasioner). Bagian penting lainnya dari motor adalah gulungan stator dan magnet rotor.

a) Rotor

Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana pada motor DC *brushless* bagian rotornya berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang berada

diantara *brushes* (sikat) yang terhubung pada dua buah motor hingga delapan pasang kutub magnet permanen berbentuk persegi panjang yang saling direkatkan menggunakan semacam “epoxy” dan tidak ada *brushes*-nya.



Gambar 2.6 Rotor Motor BLDC

Rotor dibuat dari magnet tetap dan dapat desain dari dua sampai delapan kutub Magnet Utara(N) atau Selatan(S). Material magnetis yang bagus sangat diperlukan untuk mendapatkan kerapatan medan magnet yang bagus pula. Biasanya magnet ferrit yang dipakai untuk membuat magnet tetap. Tetapi dewasa ini dengan kemajuan teknologi, campuran logam sudah kurang populer untuk digunakan. Benar sekali magnet Ferrit lebih murah, tetapi material ini mempunyai kekurangan yaitu flux density yang rendah untuk ukuran volume material yang diperlukan untuk membentuk rotor.

b) Stator

Stator adalah bagian pada motor yang diam/statis dimana fungsinya adalah sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar.

Pada motor DC *brushless* statornya terdiri dari 12 lilitan (elektromagnet) yang bekerja secara elektromagnetik dimana stator pada motor DC *brushless* terhubung dengan tiga buah kabel untuk disambungkan pada rangkaian kontrol sedangkan pada motor DC konvensional statornya terdiri dari dua buah kutub magnet permanen.



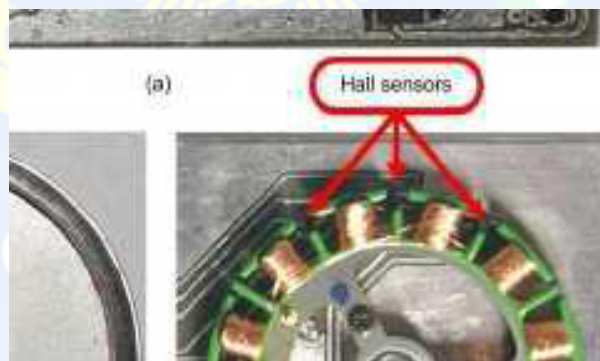
Gambar 2.7 Stator Motor BLDC

Lilitan stator pada motor DC brushless terdiri dari dua jenis, yaitu lilitan stator jenis trapezoidal dan jenis sinusoidal. Yang menjadi dasar perbedaan kedua jenis lilitan stator tersebut terletak pada hubungan antara koil dan lilitan stator yang bertujuan untuk memberikan EMF (Electro Motive Force) balik yang berbeda. EMF balik sendiri adalah tegangan balik yang dihasilkan oleh lilitan motor BLDC ketika motor BLDC tersebut berputar yang memiliki polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan tegangan sumber yang dibangkitkan. Ketika motor BLDC sudah dibuat, jumlah lilitan pada stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya sudah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan. Perubahan besarnya EMF balik ini mempengaruhi torsi motor BLDC, apabila

kecepatan motor yang dihasilkan lebih besar dari tegangan potensial pada lilitan stator sehingga arus yang mengalir pada stator akan turun dan torsi pun akan ikut turun. Karena berbanding lurus dengan faktor-faktor lain yang mempengaruhi torsi maka kenaikan dan penurunan arus sangat berpengaruh pada besarnya torsi yang dihasilkan motor BLDC

2.4.4 Sensor Hall

Tidak seperti motor DC *brushed* komutasi dari motor DC *brushless* diatur secara elektronik agar motor dapat berputar, stator harus di-*energize* secara berurutan dan teratur. Sensor hall inilah yang berperan dalam mendeteksi pada bagian rotor mana yang ter-*energize* oleh fluks magnet sehingga proses komutasi yang berbeda (enam step komutasi) dapat dilakukan oleh stator dengan tepat karena sensor hall ini dipasang menempel pada stator.[7]



Gambar 2.8 Sensor Hall

2.5 Kalman filter

R.E Kalman mempublikasikan tulisannya pada tahun 1960 berjudul "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems."

R.E Kalman menjelaskan solusinya atas masalah filter linear pada data diskrit. Sekarang Kalman filter itu sendiri sudah sering digunakan di kontrol sistem embedded dan sistem navigasi.

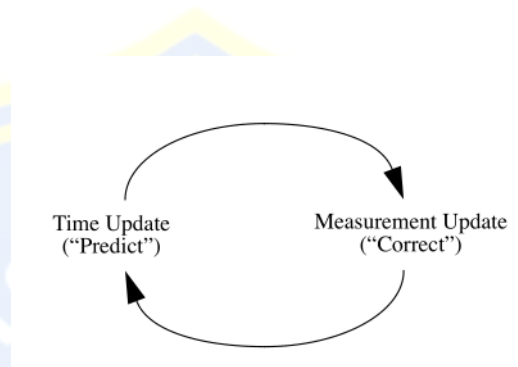
Menunjukkan kelebihan Kalman filter untuk memberi prediksi yang baik untuk sudut robot terhadap permukaan bumi dan menjaga robot agar tetap seimbang. Karena Kalman Filter digunakan untuk menghilangkan segala noise pengukuran pada accelerometer dan gyroscope. Kelemahan dari Filter ini sendiri adalah tidak adanya standar dalam metode mendapatkan persamaan matematis yang akan digunakan di Kalman Filter. Pada paper *An Introduction to the Kalman Filter* [4][6]. Dijelaskan bahwa kalman filter dapat digunakan untuk menghilangkan noise dari sensor.

2.5.1 Algoritma Kalman Filter Diskrit

Kalman filter mengestimasi satu proses melalui mekanisme kontrol umpan-balik: Filter mengestimasi state dari proses kemudian mendapat umpan balik berupa nilai hasil pengukuran yang bercampur noise. Persamaan untuk Kalman filter dikelompokkan dalam dua bagian: persamaan update waktu dan persamaan update pengukuran. Persamaan update waktu bertugas untuk mendapatkan nilai pra-estimasi untuk waktu step selanjutnya. Persamaan update pengukuran bertugas untuk keperluan umpan balik, seperti memadukan hasil pengukuran terbaru dengan nilai pra-estimasi untuk mendapatkan nilai pasca-estimasi yang lebih baik.

Persamaan update waktu disebut juga persamaan prediksi,

sedangkan persamaan update pengukuran disebut persamaan koreksi. Algoritma estimasi Kalman filter menyerupai algoritma prediksi-koreksi untuk menyelesaikan masalah numerik sebagaimana pada Gambar 2.11



Gambar 2.9 Skema algoritma Kalman filter

Persamaan spesifik untuk update waktu dan pengukuran disertakan dalam persamaan update waktu untuk kalman filter diskrit.

$$\hat{x}_k = A \hat{x}_{k-1} + B u_{k-1} \quad (2.1)$$

$$P_k^- = A P_{k-1} A^T + Q \quad (2.2)$$

persamaan update waktu memproyeksikan (memprediksi) nilai state dan estimasi kovarian dari waktu step k-1 menuju step k. A dan B. Persamaan update pengukuran untuk Kalman filter diskrit.

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \quad (2.3)$$

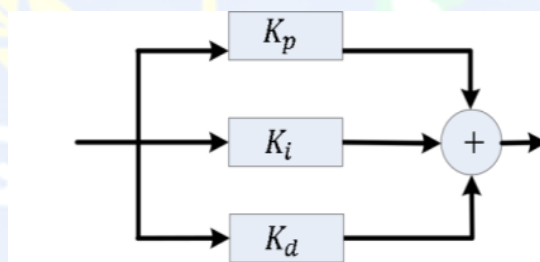
$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H \hat{x}_k^-) \quad (2.4)$$

$$P_k = (I - K_k H) P_k^- \quad (2.5)$$

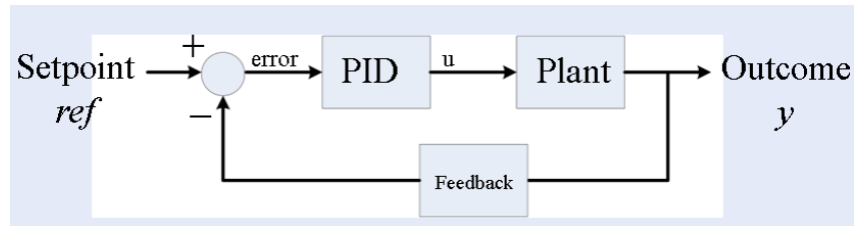
Tugas pertama dalam Update pengukuran adalah menghitung Kalman Gain, K_k . Persamaan Kalman gain disini (2.3). Selanjutnya mengukur nilai proses aktual z_k , kemudian menghitung pasca-estimasi state dengan melibatkan nilai hasil pengukuran sebagaimana (2.4). Tugas terakhir adalah mendapatkan nilai pasca-estimasi kovarian error melalui (2.5). Setelah menjalani satu siklus update waktu dan pengukuran, siklus ini diulang yang mana nilai pasca-estimasi sebelumnya digunakan untuk memprediksi nilai pra-estimasi yang baru.

2.6 PID

Kontrol PID merupakan sebuah kontrol yang terdiri dari kombinasi beberapa kontroler yaitu *propotional*, *integral* dan *derivative*. Ketiga kontroler tersebut bekerja bersama-sama sehingga dapat menghasilkan suatu keluaran sistem kontrol yang baik dikarenakan jika berdiri sendiri maka hasil yang dicapai kurang baik.



Gambar 2.10 Kontrol PID



Gambar 2.11 Diagram Blok PID

Berikut ini merupakan penjelasan singkat dari parameter-parameter yang ada pada kontrol PID :

1. Kontrol Proportional

Kontrol proportional umumnya dinyatakan dengan sebuah gain tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Adanya kontroler proportional ini mengakibatkan sinyal error akan semakin besar sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya overshoot. Namun kontrol proportional dapat mengakibatkan keluaran sistem lebih cepat mencapai set point. Kontrol proportional memperbaiki rise time dan settling time dari sebuah sistem

2. Kontrol Integral

Kontrol integral digunakan untuk menghilangkan nilai offset yang biasanya dihasilkan oleh kontrol proportional. Namun pemilihan nilai K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan ketidak stabilan sistem. Jika pemilihan nilai K_i terlalu tinggi maka akan menyebabkan nilai keluaran akan berosilasi. Penambahan kontrol integral ini juga akan membuat respon dari sistem menjadi lambat. Oleh sebab itu maka dalam implementasinya kontrol integral dikombinasikan dengan kontrol

proportional.

3. Kontrol Derivatif

Keuntungan dari menggunakan kontrol derivative yaitu dapat merespon perubahan error aktuator dan dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum magnitude dari error aktuatornya menjadi sangat besar. Seakan-akan kontrol derivative ini mampu memprediksi error yang akan terjadi sebagai efek dari perhitungan error yang sebelumnya. Karena kontrol derivative ini bekerja berdasarkan laju perubahan error aktuatornya dan bukan pada error aktuator itu sendiri maka kontrol derivative ini tidak dapat berdiri sendiri. Kontrol derivative biasanya dikombinasikan dengan kontrol proportional atau dengan kontrol proportional plus integral.

Gambar 2.3 dapat dipresentasikan dalam persamaan :

$$\text{error} = \text{ref} - \text{y} \quad (2.6)$$

$$u(t) = K_p \text{error}(t) + K_i \int_0^t \text{error}(t) \Delta t + K_d \frac{\Delta \text{error}(t)}{\Delta t} \quad (2.7)$$

Dan bentuk diskritnya sehingga dapat diimplementasikan pada mikrokontroler adalah :

$$\int_0^t \text{error}(t) \approx T \sum \text{error}(k) \quad (2.8)$$

$$\frac{\Delta \text{error}(t)}{\Delta t} \approx \frac{\text{error}(k) - \text{error}(k-1)}{T} \quad (2.9)$$

$$u(t) = K_p \text{error}(t) + K_i T \sum \text{error}(k) + K_d \frac{\text{error}(k) - \text{error}(k-1)}{T}$$

(2.10)

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan parameter PID diantaranya adalah metode coba-coba (cut and try method), metode Ziegler-nichols dan metode tanggapan tangga tentunya masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing.[5]

2.7 MATLAB

MATLAB adalah bahasa komputasi teknis yang sangat terkenal. MATLAB sangat tangguh untuk operasi-operasi yang melibatkan matriks, seperti pemrosesan gambar, pemrosesan suara, persamaan polinomial, dan sebagainya. MATLAB sangat tangguh dalam hal simulasi dan display data, baik dalam bentuk gambar maupun grafik. Tidak hanya itu, dengan berbagai Toolbox yang dimilikinya, MATLAB menjadi perangkat lunak yang paling sering digunakan oleh akademisi, praktisi dan pihak terkait lainnya.

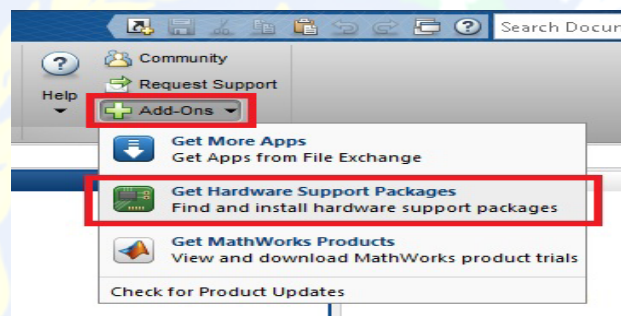
MATLAB saat ini telah merilis Hardware Support Packages untuk berbagai board yang populer saat ini, seperti Arduino, BeagleBoard, Gumstix Overo, LEGO, Raspberry Pi, PandaBoard, dan bahkan Samsung Galaxy.

2.7.1 MENGHUBUNGKAN MATLAB DENGAN ARDUINO

Proses menghubungkan MATLAB dengan mikrokontroler Arduino adalah dengan cara menambah library (add-Ons) pada

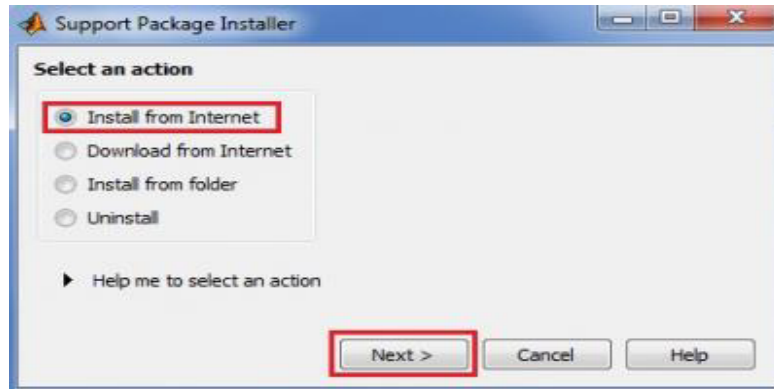
MATLAB. Proses secara online memerlukan akun MATLAB. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah kita harus membuat akun pada alamat www.mathworks.com. Alamat email dan password untuk akun MATLAB akan digunakan pada saat instalasi. Hal ini dilakukan oleh Mathwork untuk alasan keamanan dan kejelasan user.

Bukalah MATLAB, dan lihatlah pada bagian kanan atas terdapat tulisan **Add-Ons**. Klik kiri dan selanjutnya pilihlah **Get Hardware Support Packages**, dan tunggulah instruksi selanjutnya.



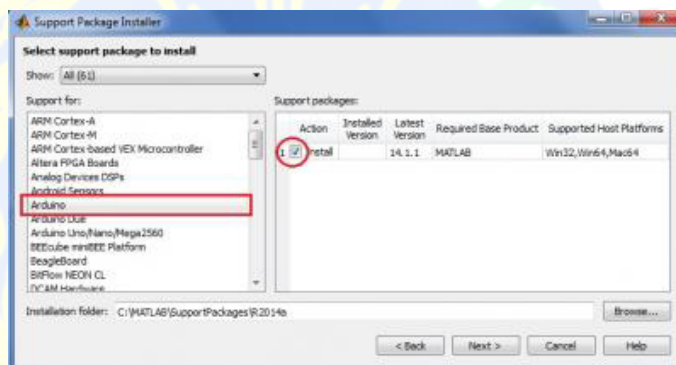
Gambar 2.12 Proses penambahan library pada MATLAB

Setelah proses inialisasi selesai, selanjutnya akan muncul jendela **Support Package Installer** seperti di bawah ini. Pilihlah **Install from Internet**, dan selanjutnya klik **Next**.



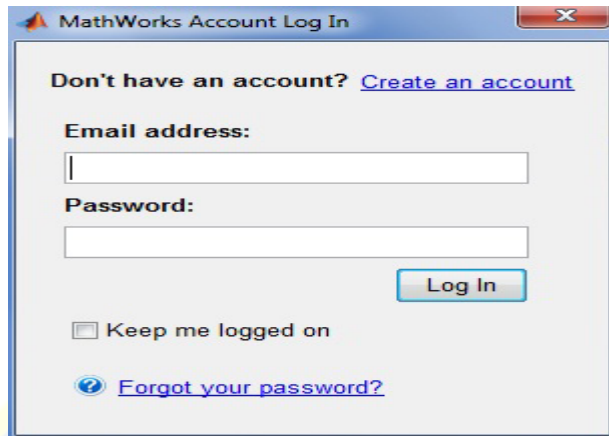
Gambar 2.13. Proses penambahan library pada MATLAB

Selanjutnya muncul jendela seperti di bawah. Pada bagian Support for: , carilah Arduino dan centang Install pada bagian Support Packages. Selanjutnya klik Next.

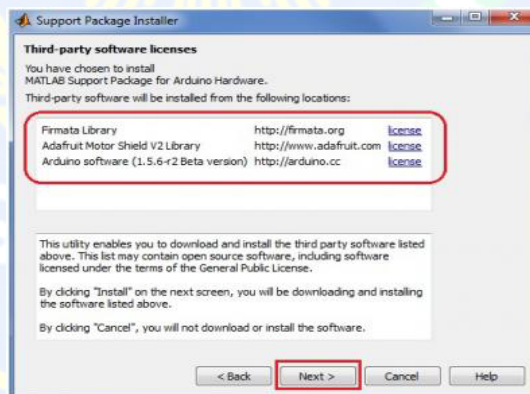


Gambar 2.14. Proses penambahan library pada MATLAB

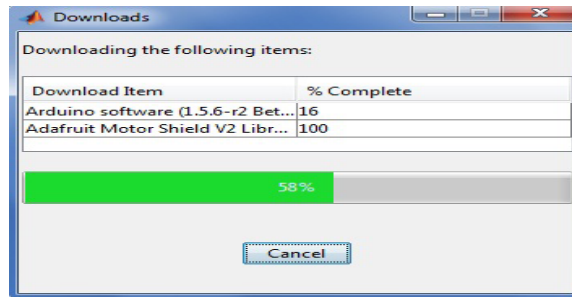
Selanjutnya akan muncul jendela Log In ke akun MATLAB. Masukkan alamat email dan password, lalu klik Log In. Jika cocok, maka selanjutnya akan muncul jendela installer



Gambar 2.15 Proses penambahan library pada MATLAB
Tahapan selanjutnya adalah instalasi seperti proses instalasi pada umumnya, yaitu dengan mengklik **Next**. MATLAB akan menginstal software apa saja yang diperlukan, seperti yang terlihat pada jendela di bawah ini. Hal ini bisa jadi menyebabkan, sebab untuk beberapa user mungkin telah menginstal Arduino software, sehingga tidak diperlukan lagi menginstal program tersebut. Namun tidak ada pilihan lain, kita harus klik **Next**.

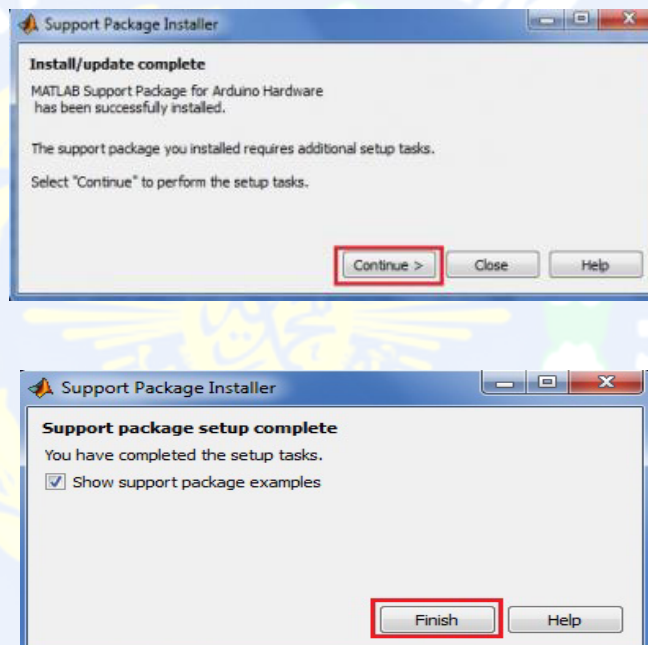


Gambar 2.16 Proses penambahan library pada MATLAB



Gambar 2.17. Proses penambahan library pada MATLAB

Apabila proses download selesai akan muncul jendela notifikasi seperti dibawah ini



Gambar 2.18 Proses penambahan library pada MATLAB

Klik Finish dan Matlab siap digunakan untuk melakukan pemrograman mikrokontroler arduino.