

Implementasi Perangkat Berbasis Mikrokontroler Sebagai Sistem Pengendali Kursi Roda

Achmad Dahlan, Victor Christalomegatli, Haryansyah, Denis Prayogi

Abstraksi— Beberapa kesenjangan dari teknologi kursi roda elektrik yaitu tidak memiliki sistem cerdas pendeteksi halangan dan lubang yang berguna untuk meminimalkan risiko pengguna mengalami benturan/tabrakan. Serta tidak adanya sistem pengontrolan kecepatan gerakan kursi roda melalui bobot pengguna, sehingga terjadi penurunan kecepatan pada pengguna yang memiliki bobot lebih berat ataupun sebaliknya. Berdasarkan hal tersebut, dirancang sebuah purwarupa kursi roda elektrik yang memiliki kemampuan mendeteksi halangan dan lubang, serta mampu menyesuaikan kelajuan putaran motor DC berdasarkan bobot yang dimuatnya.

Sensor berat (*load cell*) digunakan untuk mendeteksi beban serta ditambahkan sensor kemiringan untuk menstabilkan pergerakan pada kemiringan ruang gerak/area (naik, turun, dan rata). Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi halangan dan lubang. Dalam penelitian ini, akan diteliti sistem kerja dari pendeteksian halangan, lubang dan beban dalam mengontrol kecepatan putaran motor DC pada purwarupa kursi roda yang akan dibuat.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kecepatan kursi roda elektrik diatur dari nilai PWM yang dikendalikan melalui *driver motor*. Nilai PWM tersebut disesuaikan berdasarkan beban tambahan dan nilai kemiringan kursi. Selain itu, kecepatan juga dikendalikan jika sensor jarak mendeteksi area yang berpotensi halangan. Kendali arah pergerakan kursi roda dapat dilakukan dengan menekan tombol tekan di antaranya Maju, Mundur, Kiri dan Kanan

Kata Kunci—Mikrokontroler, Sistem Kendali, Sensor, Kursi Roda Elektrik, Nilai PWM

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronik selalu berkembang dan terus berinovasi berdasarkan budaya dan gaya hidup manusia. Segala alat yang dahulu masih manual kini berbasis elektronik dan serba otomatis, bahkan kini telah memakai sistem tertanam (CPU). Teknologi sistem tertanam ini tentu tidak terlepas karakteristik utamanya yaitu adanya komponen keping tempat pusat pemrosesan datanya atau disebut dengan mikrokontroler[1]

Mikrokontroler sudah banyak digunakan dalam beberapa tahun terakhir terutama dalam pengontrolan robot. Seiring perkembangan, mikrokontroler dapat diaplikasikan pada berbagai komponen elektronika salah satunya adalah komponen sensor yang berguna memberi data masukan kepada mikrokontroler. Melalui komponen sensor ini, kerja

perangkat dapat lebih optimal dan efektif dalam menjalankan kegunaannya.

Penerapan dari penggabungan perangkat berbasis mikrokontroler dengan sensor dapat diimplementasikan pada berbagai alat tidak terkecuali alat kesehatan khususnya kursi roda elektrik. Mikrokontroler sebagai sistem pengendali dapat membuat sebuah kursi roda elektrik menjadi alat yang lebih mudah digunakan terlebih jika dilengkapi dengan sistem sensor.

Beberapa kesenjangan dari teknologi kursi roda elektrik yaitu tidak memiliki sistem cerdas pendeteksi halangan dan lubang yang berguna untuk meminimalkan risiko pengguna mengalami benturan/tabrakan. Serta tidak adanya sistem pengontrolan kecepatan gerakan kursi roda melalui bobot pengguna, sehingga terjadi penurunan kecepatan pada pengguna yang memiliki bobot lebih berat ataupun sebaliknya.

Berdasarkan hal tersebut, dilakukan perancangan purwarupa (*prototype*)[2] kursi roda elektrik dengan mikrokontroler sebagai pusat pemrosesan datanya. Pada umumnya, kegiatan dalam penelitian ini adalah melakukan analisa mengenai putaran pada dinamo (*motor DC*) berdasarkan nilai pendeteksian muatan dan jarak. Beberapa perangkat sensor juga melengkapi perancangan ini untuk membuat sistem pendeteksiannya lebih efektif. Alat ini dirancang untuk mengatasi permasalahan dalam mengontrol putaran motor DC apabila terdeteksi halangan/lubang juga berdasarkan muatan yang diterima, sehingga menyediakan keamanan dan kemudahan bagi penggunaanya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam tinjauan pustaka ini, Pada umumnya berisi kumpulan ulasan tertulis dari ilmu-ilmu yang telah ada untuk mendukung aktivitas penelitian penulis. Konsep dasar teori disesuaikan dengan topik penelitian ini baik dari segi kuantitatif dan kualitatif. Beberapa poin materi yang penulis jabarkan untuk mendukung penelitian ini antara lain implementasi, perangkat berbasis mikrokontroler, dan kursi roda elektrik.

Implementasi adalah suatu penerapan atau pelaksanaan rencana yang telah disusun dengan cermat dan rinci. Oleh karena itu, implementasi tidak berdiri sendiri tetapi dipengaruhi oleh objek berikutnya[3].

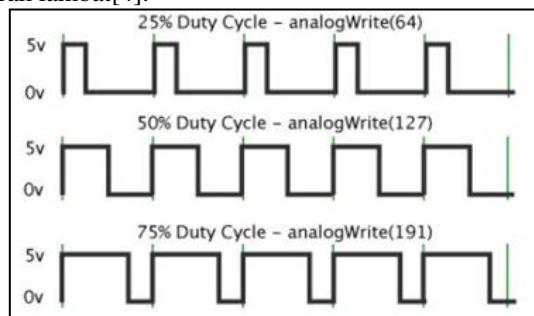
Perangkat berbasis mikrokontroler merupakan perangkat/komponen elektronika yang diaplikasikan dengan mikrokontroler sebagai pusat pengendalinya. Pada dasarnya,

perangkat elektronika tersebut memiliki sistem kerja dan fungsi masing-masing sesuai dengan rangkaian yang dirancang, namun kegunaan perangkat dapat dikembangkan jika diaplikasikan melalui mikrokontroler. Tujuan utamanya untuk menciptakan perangkat yang memudahkan kegiatan manusia sehari-hari. Misalkan sensor jarak ultrasonik yang pada awalnya mendeteksi jarak, dapat dimanfaatkan untuk mengalkulasikan tinggi suatu objek berdasarkan algoritma perangkat lunak yang telah disusun dalam mikrokontroler.

Berdasarkan penelitian tugas akhir mahasiswa STMIK PPKIA Tarakanita Rahmawati khususnya jurusan Teknik Informatika, perangkat berbasis mikrokontroler telah banyak digunakan dalam membangun objek maupun subjek penelitian yang diinginkan. Salah satu contoh sederhana yaitu perancangan robot yang tidak hanya bergerak maju dan mundur, tetapi juga dapat memadamkan api dan bermain bola. Pada penelitian ini, perangkat berbasis mikrokontroler berperan penting dalam melancarkan perancangan subjek penelitian.

A. Pulse Width Modulation

PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah salah satu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (*duty cycle*) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. Aplikasi penggunaan PWM biasanya ditemui untuk pengaturan kecepatan motor DC, pengaturan cerah/redup LED, dan pengendalian sudut pada motor *servo*. Contoh penggunaan PWM pada pengaturan kecepatan motor DC yaitu semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan maka akan berpengaruh terhadap cepatnya putaran motor. Jika nilai *duty cycle*-nya kecil maka motor akan bergerak lambat[4].



Gambar 2.1 Bentuk Gelombang PWM

Gambar 2.1 menunjukkan bentuk gelombang untuk tiga kecepatan berbeda. Untuk kecepatan rendah (lambat), daya disuplai pada seperempat waktu siklus (*duty cycle* 25%). Untuk *duty cycle* 50% (daya pada separuh waktu), motor akan berputar pada kecepatan setengah dan seterusnya. Secara praktis, faktor nonlinear menyebabkan motor berputar lebih lambat dari proporsi yang seharusnya[5].

B. Kursi Roda Elektrik

Kursi roda elektrik adalah kursi roda yang digerakkan secara elektrik menggunakan mesin motor dengan sumber tegangan aki. Cara menjalankan perangkat ini yaitu dengan menggerakkan stik yang dominan diletakkan di depan sandaran tangan, sehingga praktis dan nyaman saat dikemudikan[6].

Inovasi kursi roda elektrik berguna untuk memperbaiki cara kerja kursi roda manual. Inovasi ini mempengaruhi berbagai aspek dalam kehidupan, termasuk dalam aspek kesehatan. Kursi roda yang dahulu dibuat dengan desain yang sederhana dan dioperasikan secara manual dengan tangan sebagai penggerakannya, kini sudah dimutakhirkan menjadi jenis kursi roda yang bisa dikemudikan dengan kontrol stik.

C. Komponen Utama

- Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah cip. Mikrokontroler dibangun dari elemen-elemen dasar yang sama. Secara sederhana, komputer akan menghasilkan keluaran spesifik berdasarkan masukan yang diterima dan program yang dikerjakan[7].

Saat ini ada bermacam-macam bentuk dan jenis papan Arduino yang disesuaikan dengan tujuannya. Jenis papan mikrokontroler yang sering digunakan dalam berbagai proyek besar seperti robotika adalah Arduino Mega 2560. Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis Atmega2560. Pada mikrokontroler, port yang tersedia sebanyak 10 di antaranya PORTA, PORTB, PORTC, PORTD, PORTE, PORTF, PORTH, PORTJ, PORTK, dan PORTL dan 1 buah port 6 bit yaitu PORTG, jika dijumlahkan secara keseluruhan Atmega2560 memiliki 11 port I/O[8].

- Sensor Ultrasonic

Sensor ultrasonik adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis (bunyi) menjadi besaran listrik dan sebaliknya [9].

Sensor Ultrasonik HC-SR04 adalah sensor siap pakai, satu alat yang berfungsi sebagai pengirim, penerima, dan pengontrol gelombang ultrasonik. Alat ini bisa digunakan untuk mengukur jarak benda dari 2 cm hingga 400 cm.



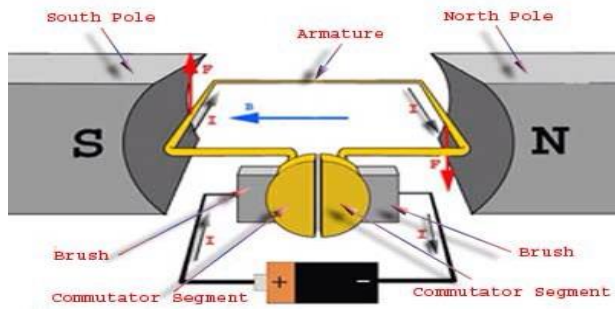
Gambar 2.2 Sensor Ultrasonic HC-SR04

Berdasarkan Gambar 2.2 (dilingkari), terdapat 4 pin yaitu: Pin Vcc digunakan untuk nilai positif (+), pin Trigger digunakan untuk mengeluarkan sinyal dari sensor, pin Echo digunakan untuk menerima pantulan sinyal dari benda, pin Gnd digunakan untuk nilai negatif (-).

- Motor DC

Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan yaitu kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi ruang terbuka di antara kutub-kutub dari utara ke selatan. Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi pasokan daya. Motor ini dapat

dikendalikan dengan mengatur tegangan dinamo dengan cara meningkatkan tegangan dinamo atau menurunkan arus medan[10].



Gambar 2.3 Skema Dasar Motor DC

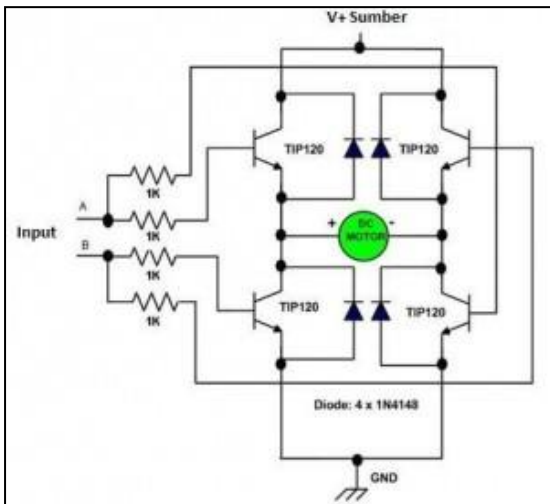
Pada Gambar 2.3 di atas, rotor motor digambarkan dengan sebuah kawat anker penghantar listrik (*armature*) yang membentuk persegi panjang. Pada kedua ujung kawat anker terpasang komutator berbentuk lingkaran yang terbelah di tengahnya, komponen ini biasa disebut cincin belah.

Sumber tegangan DC diilustrasikan dengan gambar baterai pada Gambar 2.3, Masing-masing kutub baterai terhubung dengan sikat karbon, sehingga tercipta arus listrik DC dengan arah arus dari kutub positif ke negatif melewati sikat karbon, satu bagian cincin belah, kawat anker (*armature*), kembali ke cincin belah, sikat karbon dan ke kutub negatif baterai[11].

Driver Motor H-Bridge

Driver motor H-Bridge secara harfiah adalah jembatan H atau jembatan yang membentuk huruf H. Fungsinya adalah untuk mengontrol motor DC baik arah putaran maupun kecepatan yang diatur melalui pengontrolan PWM.

Driver H-bridge dapat dirangkai menggunakan kombinasi sakelar, kombinasi transistor, maupun kombinasi relay. Contoh gambar rangkaian H-bridge yang sederhana dari kombinasi transistor dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rangkaian Motor DC H-Bridge Transistor

Sensor Load Cell

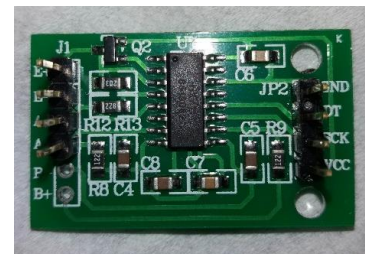
Strain gauge dalam load cell berguna mengukur perubahan yang berpengaruh pada strain sebagai sinyal listrik, karena perubahan efektif terjadi pada beban hambatan kawat listrik. Strain gauge merupakan bagian penting dari sebuah load cell, dengan fungsi untuk mendeteksi besarnya perubahan dimensi jarak yang disebabkan oleh suatu elemen gaya[13]. Gambar 2.5 merupakan bentuk load cell yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2.5 Load Cell

Modul HX711

HX711 adalah modul timbangan, yang memiliki prinsip kerja mengonversi perubahan yang terukur dalam perubahan resistansi dan mengonversinya ke dalam besaran tegangan melalui rangkaian yang ada[14]. Berikut gambar modul HX711 yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Papan HX711 dengan Pin Sisir

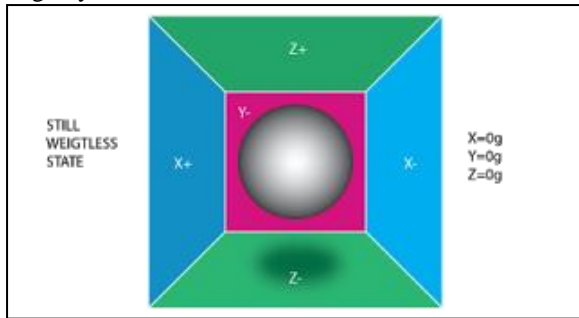
Berdasarkan Gambar 2.6, terdapat 6 pin (E+, E-, A+, B-, dan B+) untuk menghubungkan kabel sensor load cell, namun hanya 4 pin yang digunakan. Kabel merah terhubung ke E+, kabel hitam terhubung ke E-, kabel putih terhubung ke A-, dan kabel hijau terhubung ke A+. Sedangkan untuk mikrokontroler, pin yang terhubung di antaranya pin GND dan VCC sebagai pin *power* HX711 masing-masing dihubungkan ke pin Ground dan 5V, kemudian pin DT (Data) dan SCK (Serial Clock Sync) terhubung ke pin analog mikrokontroler.

Sensor Accelerometer

Sensor akselerometer adalah sebuah transduser yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi.

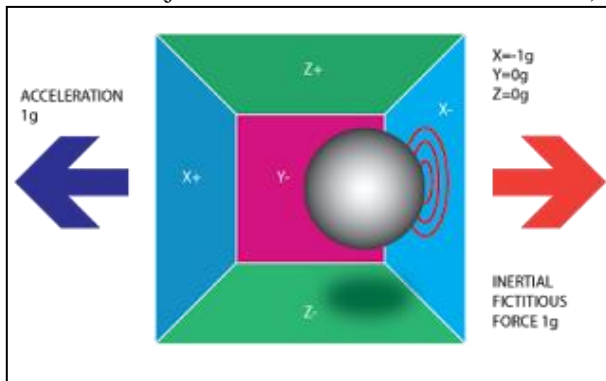
Sesuai namanya akselerometer atau akselerasi ini mengukur percepatan bahwa perangkat mengalami perubahan yang relatif sesuai dengan tiga sumbu X,Y,Z atau kanan, kiri, atas, bawah, dan datar. Sistem atau suatu aplikasi menggunakan data ini untuk mengetahui apakah perangkat dalam orientasi berdiri (*portrait*) atau

memanjang (*landscape*). Output akselerometer sendiri dapat mendeteksi tidak hanya satu sumbu saja namun bisa juga mendeteksi sumbu antara x,y, atau x,z atau y,z dan sebagainya.



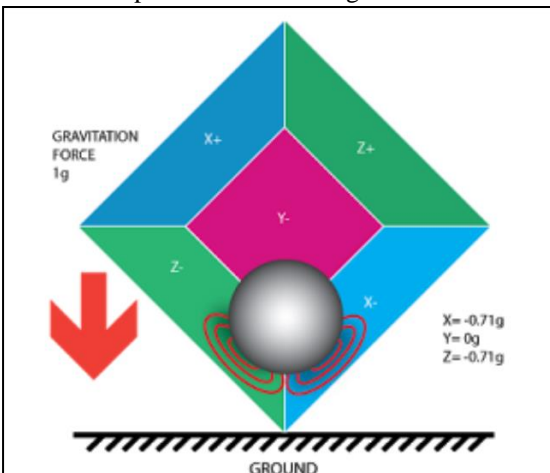
Gambar 2.7 Accelerometer Dalam Keadaan Statis

Seperti pada Gambar 2.7 dapat dibayangkan bahwa sebuah akselerometer merupakan sebuah kubus yang di dalamnya terdapat bola, pada dasarnya tanpa gravitasi atau gaya yang lain posisi *default* bola mengambang pada kubus tersebut (jika akselerometer dalam keadaan statis).



Gambar 2.8 Accelerometer Digerakkan Searah Sumbu X

Pada Gambar 2.8 merupakan contoh akselerometer yang bekerja pada 1 sumbu, dapat diketahui bahwa akselerometer digerakkan searah sumbu X dan mengakibatkan bola memantul mengenai dinding -X dengan akselerasi $1g = 9.8 \text{ m/s}^2$, sehingga menghasilkan nilai akselerasi pada sumbu X = -1 g.



Gambar 2.9 Accelerometer Mengukur 3 Sumbu Sekaligus

Dapat dilihat pada Gambar 2.9, jika sebuah akselerometer diberi percepatan dengan arah -X, -Z bola akan memantul ke arah sudut kedua dinding kubus. Melalui pemantulan tersebut terjadi perubahan pada $X = -0.71g$ dan $Z = -0.71g$. Perlu diketahui, nilai $0.71g$ bukan merupakan nilai acak atau random melainkan hasil akar dari $\frac{1}{2}$.

Akselerometer banyak digunakan untuk menghitung percepatan dan penurunan percepatan dari sebuah kendaraan. Akselerometer membantu untuk mengevaluasi performa dari mesin dan sistem percepatan dan juga *breaking system* (sistem penurunan percepatan). Selain itu juga biasa digunakan untuk menghitung vibrasi pada kendaraan, mesin, bangunan, dan sistem keamanan pada kendaraan (*safety installation*). Akselerometer juga dapat mengalkulasi percepatan yang diakibatkan oleh gravitasi bumi[15]. Akselerometer juga dapat digunakan mendeteksi kemiringan kursi roda dan menjadi acuan untuk mengatur kecepatan kursi roda pada penelitian ini.

D. Komponen Pendukung

- Sakelar

Sakelar adalah sebuah perangkat yang digunakan sebagai penyambung atau pemutus aliran listrik. Cara kerja dari sakelar dapat dikatakan sederhana yaitu jika sakelar memutus sambungan sehingga sirkuit membuka, dan bila ditekan ke arah sebaliknya, sakelar menghubungkan sambungan sehingga sirkuit menutup. Selain untuk jaringan listrik arus kuat sakelar berbentuk kecil juga dipakai untuk alat komponen elektronika arus lemah.

Secara sederhana, sakelar terdiri dari dua bilah logam yang menempel pada suatu rangkaian, dan bisa terhubung atau terpisah sesuai dengan keadaan sambung (*on*) atau putus (*off*) dalam rangkaian itu. Material kontak sambungan umumnya dipilih agar tahan terhadap korosi dan tidak disarankan dibuat dari bahan oksida biasa.

- Baterai

Baterai merupakan alat elektro kimia yang dibuat untuk menyimpan dan menyuplai listrik ke sistem starter mesin, mesin pengapian, lampu dan komponen listrik lainnya. Alat ini menyimpan listrik dalam bentuk energi kimia yang dikeluarkan jika diperlukan dan menyuplainya ke masing-masing sistem kelistrikan atau komponen yang memerlukannya. Terdapat dua jenis baterai di antaranya yang hanya dapat dipakai sekali saja (*Single Use*) dan baterai yang dapat di isi ulang (*Rechargeable*).

- Sensor Tegangan

Sensor tegangan (*voltage sensor*) berguna untuk mendeteksi sisa tegangan (voltase) pada sumber tegangan misalnya aki. Rangkaian pada sensor ini di antaranya 2 resistor sebagai pembagi tegangannya dan terminal untuk menghubungkan ke sumber tegangan serta pin untuk mengelola nilai voltasenya[16].



Gambar 2.10 Sensor Tegangan

Berdasarkan Gambar 2.10, sensor tegangan memiliki 2 port terminal dan pin ke mikrokontroler yaitu:

1. Port GND digunakan untuk listik negatif (-) sumber tegangan
2. Port VCC digunakan untuk listik positif (+) sumber tegangan
3. Pin S digunakan untuk memberi nilai analog ke mikrokontroler
4. Pin + digunakan untuk listrik positif (+) ke mikrokontroler
5. Pin - digunakan untuk listrik negatif (-) ke mikrokontroler

- LED (Light Emitting Diode)

LED adalah jenis diode yang memancarkan cahaya dengan mengalirkan arus listrik dari satu arah. Oleh karena itu, pemasangan LED di rangkaian elektronik harus tidak terbalik. Jika terbalik, maka LED tidak dapat bekerja dan berpotensi rusak.



Gambar 2.11 Komponen Lampu LED

Berdasarkan Gambar 2.11, LED umumnya mempunyai dua kaki. Salah satu kaki berketub + (anode) dan - adalah (katode). Untuk mengetahui kaki katode pada LED adalah menemukan bagian datar yang terdapat pada permukaan lampu. Selain dari cara tersebut, menemukan kaki katode dilihat dari ukuran panjang kakinya, katode memiliki kaki yang pendek dan sebaliknya[17].

- Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara.. Pada dasarnya prinsip kerja buzzer hampir sama dengan loud speaker, jadi buzzer juga terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma dan kemudian kumparan tersebut dialiri arus sehingga menjadi elektromagnet, kumparan tadi akan tertarik ke dalam atau keluar, tergantung dari arah arus dan polaritas magnetnya, karena kumparan dipasang pada diafragma maka setiap gerakan kumparan akan menggerakkan diafragma secara bolak-

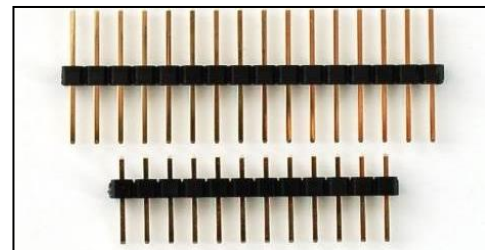
balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara. Buzzer biasa digunakan sebagai indikator bahwa proses telah selesai atau terjadi suatu kesalahan pada sebuah alat (alarm)[18]. Berikut ini adalah gambar buzzer yang bisa dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Sensor DTH11

- Pin Sisir

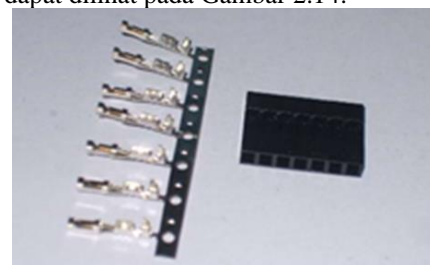
Pin sisir atau biasa disebut *pin header* adalah komponen konektor listrik yang berbentuk jarum (*male*). Terdiri dari satu atau lebih baris pin dimana pin-pin tersebut biasanya berjarak 2,54 milimeter (0,1 in), tapi kadang-kadang 2 milimeter (0,079 in) atau 1,27 milimeter (0,05 in). Bentuk kedua pin sisir yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pin Sisir

- Black Housing

Black housing adalah media penghubung dari kabel ke sebuah komponen yang berbentuk pin. Logam yang membungkus serabut tembaga pada kabel mampu mengirim transmisi sinyal ke jarum pin yang dicolok. Black housing digunakan pada penelitian ini karena rata-rata penghubung setiap komponen utama berupa pin header berbentuk male. Jadi lebih efektif menggunakan black housing agar memudahkan koneksi perangkat ke perangkat lainnya melalui kabel tanpa menggunakan timah sebagai perekat. Bentuk fisik dari komponen black housing dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Komponen Black Housing

- Resistor

Resistor merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai penahan arus yang mengalir dalam suatu rangkaian dan berupa terminal dua komponen elektronik yang menghasilkan tegangan pada terminal

yang sebanding dengan arus listrik yang melewatinya sesuai dengan hukum ohm ($V = IR$). Resistor memiliki empat gelang berwarna, gelang keempat umumnya berupa emas atau perak[19]. Gelang-gelang berwarna tersebut dibuat untuk mengetahui nilai resistansi pada resistor.

- Kabel

Fungsi utama dari kabel adalah untuk mentransmisikan sinyal dari satu ke tempat lain. Pada penelitian ini kabel digunakan sebagai penghubung dan penghantar informasi dari komponen satu ke komponen yang lain. Misalkan menghubungkan motor DC ke driver motor agar dapat berfungsi sesuai dengan perintah yang telah diprogramkan.



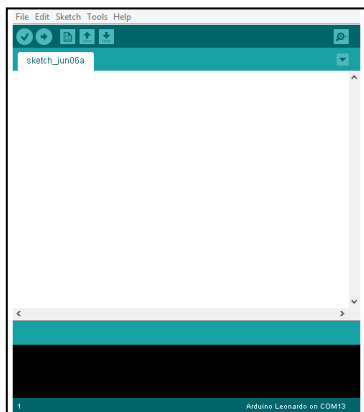
Gambar 2.15 Kabel Pelangi dan Kabel 2 Warna

Berdasarkan Gambar 2.15, terdapat 2 jenis kabel yaitu kabel pelangi dan kabel 2 warna. Kabel pelangi digunakan untuk komponen dengan arus listrik bolak-balik yang tidak terlalu besar atau hanya berkisar mili ampere. Kemudian kabel dua warna dengan tembaga yang lebih tebal, digunakan untuk komponen yang memiliki arus bolak-balik yang besar. Kabel tersebut digunakan untuk menghubungkan aki 12V 6Ah sebagai sumber tegangan ke driver motor dan motor DC.

E. Aplikasi Arduino

Aplikasi *compiler* yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari produk Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). Tujuan utama software ini untuk memprogram mikrokontroler untuk melakukan tugas yang ditentukan[20].

Setiap program Arduino (biasa disebut *sketch*) mempunyai dua buah fungsi yang harus ada yaitu *void setup()* dan *void loop()*. Pada *void setup()* {} semua kode di dalam kurung kurawal akan dijalankan hanya satu kali ketika program Arduino dijalankan untuk pertama kalinya. Sedangkan pada *void loop()* fungsi yang ada pada *void setup* dijalankan lagi, dan lagi secara terus menerus sampai catu daya (power) dilepaskan.



Gambar 2.16 Tampilan Aplikasi Arduino

Pada Gambar 2.16 merupakan aplikasi Arduino versi 1.0.6 yang dirilis pada tanggal 16 September 2014. Dengan improvisasi pembacaan dan penulisan port USB membuat Arduino menjadi semakin mudah dioperasikan. Kompatibilitas mikrokontroler yang didukung adalah yang terbaru. Antarmuka pengguna yang disediakan tidak jauh berbeda dengan versi sebelumnya hanya saja warna dasar pada versi ini dominan hijau kebiruan.

III. ANALISA DAN DESAIN SISTEM

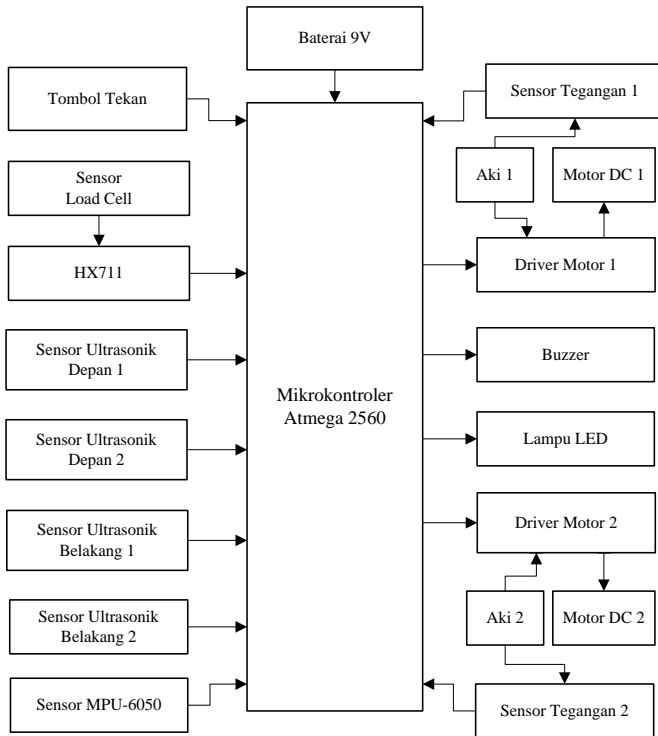
Berdasarkan bab pendahuluan poin 1.2, telah dijelaskan latar belakang permasalahan dalam sistem yang sedang berjalan. Melalui permasalahan yang telah dijelaskan tersebut, dilakukan analisa mengenai kebutuhan yang perlu dirancang.

1. Permasalahan mengenai kursi roda elektrik tidak berhenti secara otomatis saat menemukan area yang berlubang dan berhalangan dapat diminimalkan dengan menambahkan sensor pendeteksian jarak. Sensor yang dapat digunakan dalam pendeteksian jarak adalah sensor ultrasonik. Pada penelitian ini, sensor ultrasonik akan dicoba ke perangkat kursi roda untuk menguji jika sistem yang dirancang dapat mengatasi permasalahan.
2. Permasalahan mengenai kursi roda elektrik tidak secara otomatis melakukan penyesuaian kecepatan terhadap beban dapat diminimalkan dengan sensor load cell atau sensor tekanan beban. Sensor ini merupakan perangkat berbasis mikrokontroler yang dominan digunakan pada kasus pendeteksian beban.
3. Permasalahan mengenai tidak terjadi penyesuaian kecepatan gerakan kursi roda berdasarkan nilai kemiringan dapat diminimalkan dengan sensor kemiringan. Sensor kemiringan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor akselerometer yang memiliki konsep kerja bervariasi dalam mendeteksi kemiringan objek.
4. Motor DC memiliki torsi tertentu dalam menjalankan beban yang menaikinya, untuk itu perlu ditambahkan sebuah indikator peringatan jika beban melebihi dari torsi motor DC. Indikator yang digunakan pada penelitian ini yaitu buzzer dan LED. Selain indikator untuk beban yang mengurangi torsi motor DC, indikator tersebut dapat dimanfaatkan jika terdeteksi lubang atau halangan pada ruang gerak kursi roda elektrik.
5. Sumber tegangan motor DC yaitu aki hanya dapat mengalirkan listrik jika tegangan memadai. Terkadang pengguna tidak mengetahui berapa sisa tegangan yang terdapat pada aki. Agar pengguna mengetahui sisa sumber tegangannya perlu ditambahkan sistem sensor pendeteksian tegangan dan menampilkan sisanya dalam sebuah indikator. Indikator yang digunakan pada penelitian ini yaitu susunan LED.

A. Skema Perangkat

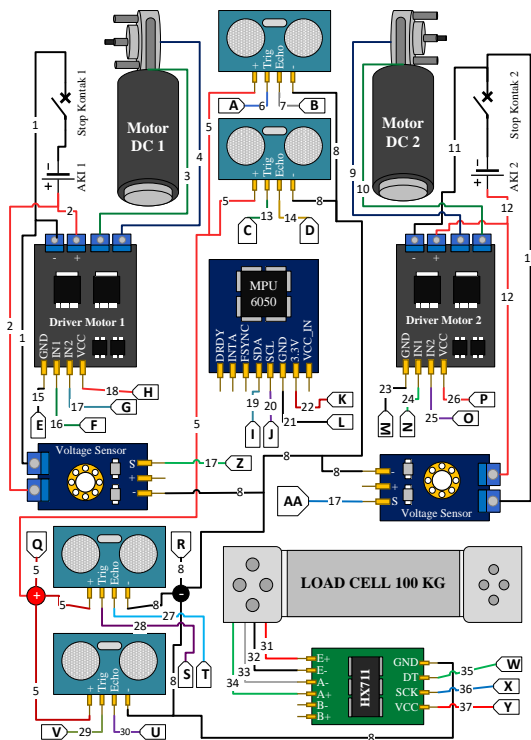
Secara umum, skema perangkat yang terancang pada sistem kursi roda telah dibuat dalam sebuah blok diagram pada Gambar 3.1. Komponen yang dibutuhkan dalam perancangan

perangkat keras kursi roda elektrik akan dijelaskan dalam poin ini di antaranya komponen utama dan pendukung.

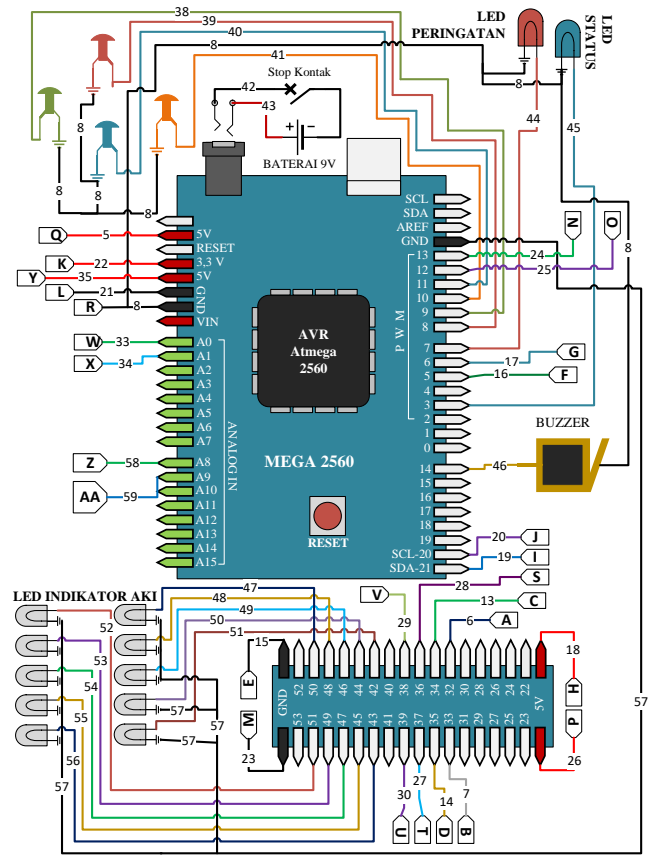


Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem Perangkat Keras

Desain skema perangkat keras dari keseluruhan komponen pada perangkat keras yang terancang secara spesifik dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3. Perlu diketahui bahwa simbol bagan berbentuk segi lima dengan abjad merupakan hubungan kabel ke halaman selanjutnya.



Gambar 3.2 Skema Perangkat Elektronika



Gambar 3.3 Skema Perangkat Elektronika Lanjutan

B. Analisa Metode Atur PWM Motor

Pengaturan kecepatan motor DC diatur melalui nilai PWM. Nilai PWM bertambah dengan menyesuaikan berat tambahan dan tingkat kemiringan area serta berkurang jika terdeteksi jarak yang berpotensi halangan.

Pengaturan nilai PWM tentu tidak dapat digunakan menggunakan metode standar contohnya *If Then*, karena dapat membuat pergerakan kursi roda menjadi kaku. Untuk meminimalkan pergerakan kursi roda yang kaku dibuat sebuah persamaan sederhana. Persamaan yang dibuat adalah bersifat independen tanpa landasan metode yang pernah dilakukan oleh ahli atau peneliti sebelumnya. Intinya persamaan ini dibuat hanya untuk mengetahui seberapa efektifnya perubahan nilai PWM pada motor DC dalam mengoperasikan pergerakan kursi roda yang nantinya akan dilakukan pada sesi uji coba perangkat keras. Berikut merupakan persamaan umum dalam mengalkulasikan nilai PWM secara keseluruhan:

$$PWMMotor = PWMBr + PWMMr - PWMHal \quad (3.1)$$

Keterangan:

- PWMMotor = PWM untuk Motor DC
- PWMBr = PWM Berdasarkan Pendeteksian Sensor Berat
- PWMMr = PWM Berdasarkan Pendeteksian Sensor Kemiringan
- PWMHal = PWM Berdasarkan Pendeteksian Sensor Jarak

Berdasarkan Persamaan 3.1, diketahui bahwa variabel PWMMotor merupakan nilai analog PWM yang akan diatur pada mikrokontroler untuk mengatur kecepatan putaran motor DC. PWMMotor didapatkan melalui penambahan nilai penyesuaian PWM beban tambahan dan kemiringan kemudian dikurangi nilai penyesuaian PWM jika area berpotensi halangan.

a) Deteksi Beban Tambahan

Beban tambahan didapatkan dari pendeteksian nilai sensor load cell yang diletakkan di bawah tempat duduk pengguna. Melalui pendeteksian beban dilakukan perhitungan PWM untuk beban (PWMBr) menggunakan persamaan. Persamaan dapat dibuat sebagai berikut :

$$PWMBr = PWMmin + \left(PWMmax - PWMmin \times \frac{nBr}{BrMax} \right) \quad (3.2)$$

Keterangan :

PWMMax = PWM Maksimal (Cepat)

PWMMin = PWM Minimal (Lambat)

nBr = Nilai Deteksi Sensor Berat

BrMax = Beban Tambahan Maks (Torsi) Motor DC

Pada Persamaan 3.2, yang pertama dihitung yaitu mencari nilai rentang antara PWM Minimal dan PWM Maksimal dengan cara mengurangi PWM Maksimal dengan PWM Minimal. PWM Minimal merupakan nilai analog PWM di mana putaran motor DC sangat lambat dan sebaliknya pada PWM Maksimal putaran motor DC adalah cepat (bukan RPM maksimal motor DC). Kemudian yang kedua yaitu membagi nilai deteksi beban tambahan dengan nilai beban maksimal pada motor DC tujuannya yaitu mendapatkan nilai rasio dari beban tambahan. Dari nilai rasio tersebut, kalikan dengan nilai rentang PWM untuk menemukan penambahan PWM. Terakhir adalah menambahkan nilai tersebut dengan PWM Minimal.

b) Deteksi Kemiringan Ruang Gerak

Setelah mendapatkan nilai PWMBr, selanjutnya mencari nilai PWM berdasarkan kemiringan (PWMMr). Sebelum melakukan perhitungan, uji terlebih dahulu kemiringan ruang gerak (area) kursi roda apakah rata, turun atau naik. Jika ruang gerak terdeteksi rata maka PWMMr = 0. Namun jika terdeteksi area turun atau naik maka lakukan perhitungan PWM Motor DC dari PWMBr yang telah didapatkan.

Perhitungan PWM Motor DC berdasarkan kemiringan dibagi menjadi 2 bagian yaitu perhitungan jika kemiringan area turun dan jika kemiringan area naik. Pada perhitungan kemiringan area turun, langkah pertama yaitu mencari nilai rentang analog PWM dari 0 ke PWMBr terkini. Kedua, membagi nilai pendeteksian kemiringan dengan nilai minimal kemiringan turun. Terakhir, hasil pembagian dikali dengan hasil perhitungan pertama. Melalui hasil tersebut didapatkan nilai negatif untuk PWMMr yang nantinya akan mengurangi nilai PWMBr pada perhitungan nilai PWMMotor. Persamaan dapat dibuat dengan bentuk sebagai berikut :

$$PWMMr = 0 - PWMBr \times \frac{nMr}{minMrTr} \quad (3.3)$$

Keterangan:

0 = Nilai analog 0 untuk PWM

nMr = Nilai Pendeteksian Kemiringan

minMrTr = Nilai Perhitungan Kemiringan Turun Minimal

Persamaan 3.3 tersebut berlaku jika nilai kemiringan masih di atas sama dengan nilai minMrTr, tetapi jika di bawah nilai minimal, maka nilai PWMMr adalah -255.

Pada perhitungan kemiringan area naik, perhitungan yang pertama dicari yaitu rentang antara nilai analog PWM maksimal (255) dengan PWMBr. Kemudian, membagi nilai pendeteksian kemiringan dengan nilai maksimal kemiringan naik. Hasil pembagian tersebut dikali dengan hasil perhitungan pertama. Dari hasil kali maka akan didapatkan nilai PWMMr positif yang nantinya akan menambah nilai PWM pada perhitungan PWMMotor. Persamaan dapat dibuat sebagai berikut :

$$PWMMr = 255 - PWMBr \times \frac{nMr}{maxMrNk} \quad (3.4)$$

Keterangan:

255 = Nilai analog 255 untuk PWM

maxMrNk = Nilai Perhitungan Kemiringan Naik Maksimal

Persamaan 3.4 tersebut berlaku jika nilai kemiringan masih di bawah sama dengan nilai maxMrNk, tetapi jika di atas nilai maksimal, maka nilai PWMMr adalah 255.

c) Deteksi Halangan dan Lubang

Lakukan pendeteksian area jika terdapat halangan atau lubang sebelum nilai PWM motor DC dikompilasikan. Jika terdeteksi halangan atau lubang, maka nilai PWM sama dengan 0. Namun jika sensor mendeteksi jarak yang berpotensi halangan, maka lakukan pengurangan nilai PWM.

Nilai PWMHal akan didapatkan jika nilai sensor jarak pada pendeteksian halangan berpotensi mendeteksi jarak yang dianggap halangan, namun jika melewati nilai potensi halangan, maka nilai PWMHal tidak ada atau 0. Fungsi dari PWMHal ini yaitu untuk mengurangi putaran motor secara perlahan sehingga mencegah terjadinya pemberhentian secara mendadak.

Terdapat empat langkah untuk menemukan nilai PWMHal. Langkah pertama yaitu mencari nilai rentang potensi halangan dengan mengurangi nilai batas potensi halangan dengan nilai batas halangan. Langkah kedua yaitu menjumlahkan nilai PWMBr dengan PWMMr berguna untuk menemukan nilai penambahan PWM. Langkah ketiga yaitu membagi nilai penambahan PWM tersebut dengan nilai rentang potensi halangan. Langkah terakhir yaitu menemukan hasil akhir untuk PWMHal dengan cara mengurangi nilai maksimal batas potensi halangan terhadap nilai pendeteksian, kemudian hasil pengurangan tersebut dikalikan hasil pembagian yang telah dicari pada langkah ketiga. Keempat langkah tersebut dapat dibuat persamaan secara keseluruhan sebagai berikut :

$$PWMHal = \frac{PWMBR + PWMMR}{nPotHal - nHal} \times nPotHal - nJr \quad (3.5)$$

Keterangan :

nPotHal = Nilai Batas Potensi Halangan

nHal = Nilai Batas Halangan

nJr = Nilai Pendeteksian Sensor Jarak

C. Desain Antarmuka Perangkat

Berikut merupakan gambar desain antarmuka mengenai penempatan beberapa perangkat keras pada sistem kursi roda elektrik. Komponen perangkat keras yang telah dirancang memiliki fungsi masing-masing dalam mengoperasikan kursi roda yang memiliki sistem penyesuaian kecepatan berdasarkan beban, kemiringan maupun jarak. Komponen pada sandaran tangan dapat diamati pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Komponen Pada Sandaran Tangan



Gambar 3.5 Kursi Roda Elektrik Dari Depan

Pada gambar 3.5 memperlihatkan kursi roda elektrik tampak depan dengan beberapa komponen yang ada yang dirinci didalam tabel I berikut.

TABLE I
 KETERANGAN NOMOR LINGKARAN PADA GAMBAR 3.5

No.	Keterangan
1	LED Indikator (Status dan Peringatan) dan Stop Kontak Mikrokontroler
2	Stop Kontak Driver Motor Kanan Kursi Roda
3	Stop Kontak Driver Motor Kiri Kursi Roda
4	Tombol Tekan dan LED Indikator Tegangan Aki
5	Gir Beserta Rantai yang Terpasang Pada Roda Kiri
6	Sensor Jarak Pendeteksi Halangan Tengah Depan

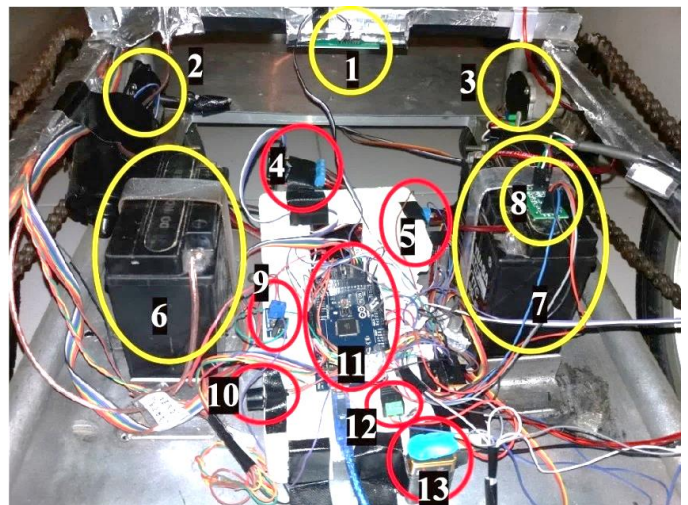


Gambar 3.6 Kursi Roda Elektrik Tampak Belakang

Pada gambar 3.6 menampilkan kursi roda yang dapat diamati dari sisi belakang dengan sejumlah komponen yang ada dan dirinci didalam tabel II berikut.

TABLE II
 KETERANGAN NOMOR LINGKARAN PADA GAMBAR 3.6

No.	Keterangan
1	Sensor Jarak Pendeteksi Halangan Tengah Belakang
2	Roda Kiri yang Terpasang Pada Badan Kursi
3	Sensor Jarak Pendeteksi Lubang Tengah Belakang
4	Gir Beserta Rantai yang Terpasang Pada Roda Kanan
5	Roda Bebas Kanan di Bawah Pijakan Kaki



Gambar 3.7 Komponen-Komponen didalam Kursi Roda

Pada gambar 3.7 menampilkan kursi roda yang terlihat dari sisi dalam yang menunjukkan beberapa komponen yang dirinci didalam tabel III berikut.

TABLE III
 KETERANGAN NOMOR LINGKARAN PADA GAMBAR 3.7

No.	Keterangan
1	Sensor MPU6050
2	Motor DC Kiri
3	Motor DC Kanan
4	Driver Motor untuk Motor DC Kanan Kursi Roda
5	Driver Motor untuk Motor DC Kiri Kursi Roda
6	Aki untuk Driver Motor Kanan Kursi Roda
7	Aki untuk Driver Motor Kiri Kursi Roda
8	Modul HX711
9	Modul Sensor Tegangan
10	Buzzer
11	Papan Mikrokontroler Mega 2560
12	Jack Connector Catu Daya Mikrokontroler
13	Baterai 9V dan Klip Baterai

D. Uji Coba

Uji Coba Atur PWM dengan Beban Tambahan

Penyesuaian nilai analog PWM motor DC dari beban tambahan dilakukan berdasarkan algoritma perhitungan yang telah dibuat. Langkah-langkah tersebut meliputi pencarian nilai rentang PWM, pembagian nilai pendeteksian dan penambahan nilai PWM yang telah dihitung dengan PWM minimal.



Gambar 3.8 Kursi Roda dengan Beban Tambahan

Berdasarkan Gambar 3.8, diletakkan beban tambahan yaitu karung beras dengan berat 20 kg pada tempat duduk kursi roda. Dari proses uji coba tersebut, peletakkan beban tambahan harus diletakkan tepat di atas sensor load cell jika tidak, maka pendeteksian sensor tidak akan akurat.

Selanjutnya membuka serial monitor dari program Arduino IDE setelah mikrokontroler mencari nilai PWM motor DC berdasarkan pendeteksiannya. Daftar nilai yang ditampilkan dapat dilihat pada Tabel IV berikut.

TABLE IV
 ANALISA PWM BERAT BERDASARKAN BEBAN

No.	Beban (kg)	Tambah PWM	PWM Berat
1.	1	2,8	133
2.	2	5,6	136
3.	3	8,4	138
4.	4	11,2	141
5.	5	14	144

No.	Beban (kg)	Tambah PWM	PWM Berat
6.	6	16,8	147
7.	7	19,6	150
8.	8	22,4	152
9.	9	25,2	155
10.	10	28	158
11.	11	30,8	161
12.	12	33,6	164
13.	13	36,4	166
14.	14	39,2	169
15.	15	42	172
16.	16	44,8	175
17.	17	47,6	178
18.	18	50,4	180
19.	19	53,2	183
20.	20	56	186

Uji Coba Kemiringan Area Naik

Pada kemiringan area naik, roda pada kursi perlu dipercepat perputarannya agar dapat melintasi tanjakan (area naik). Cara untuk mempercepat rodanya adalah dengan menambah kecepatan pada putaran motor DC. Nilai kemiringan pada area naik menjadi tumpuan dalam menambah putaran motor DC.

Berdasarkan proses uji coba perangkat, nilai maksimal kemiringan pada area naik adalah 7.00. Nilai maksimal tersebut didapatkan berdasarkan hasil uji coba kursi roda melewati sampel tanjakan dengan ketinggian puncak 20 cm dan lebar 1 m. Jika nilai pendeteksian sensor kemiringan melebihi nilai maksimal tersebut, maka dianggap kemiringan area yang terlalu tinggi. Artinya, kecepatan putaran motor DC harus diatur menjadi maksimal di mana pada perangkat lunak nilai analog dari PWM Motor adalah 255.



Gambar 3.9 Kursi Roda Melewati Kemiringan Naik

Berdasarkan Gambar 3.9, kursi roda melintasi area dengan tingkat kemiringan naik. Dari proses uji coba, kursi roda pada awalnya tidak terlalu cepat karena output PWM yang dilepaskan dari mikrokontroler ke driver motor masih mengalami penundaan (*delay*) kurang lebih selama 1 detik. Hasil perubahan PWM dapat diamati pada tabel V berikut.

TABLE V
 ANALISA PWM MIRING DENGAN KEMIRINGAN NAIK

No.	Kemiringan	Area	PWM Berat	PWM Miring
1	2,00	Rata	130	0
2	2,30	Naik	130	41
3	2,80	Naik	130	50
4	3,00	Naik	130	54
5	3,30	Naik	130	59
6	3,80	Naik	130	68
7	4,00	Naik	130	71
8	4,30	Naik	130	77
9	4,80	Naik	130	86
10	5,00	Naik	130	89

Uji Coba Area Berlubang

Berdasarkan hasil implementasi dan uji coba sensor jarak, batas dataran normal (tidak berlubang) adalah kurang dari 15 cm. Jarak normal saat kursi menyentuh area rata adalah 9 – 10 cm. Penambahan 5 cm dari jarak normal kursi ke dataran dilakukan karena pada jarak tersebut masih dapat dilalui kursi roda.

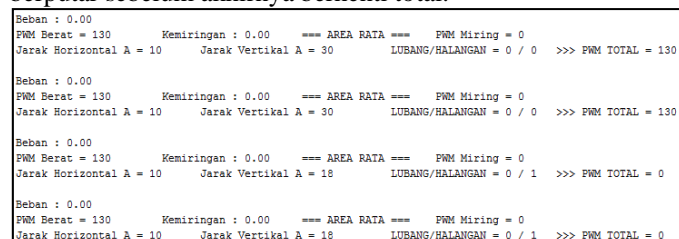


Gambar 3.10 Serial Monitor Nilai Jarak Horizontal

Dari Gambar 3.10, merupakan gambar *screenshot* dari serial monitor program Arduino dan dapat diketahui Jarak Horizontal A merupakan *Serial.print* untuk sensor jarak yang berguna mendeteksi objek pantul horizontal depan tengah. Saat pendeteksian sensor ultrasonik menampilkan nilai Jarak Horizontal = 19, maka status Lubang/Halangan menjadi 1/0 di mana nilai 1 adalah nilai yang mewakili Lubang. Berdasarkan hal tersebut, PWM Total dari motor DC menjadi 0 artinya motor berhenti.

Uji Coba Area Halangan

Berdasarkan hasil implementasi dan uji coba sensor jarak, batas halangan yang berada di depan kursi roda adalah 18 cm dan yang berada di belakang adalah 30 cm. Kedua batas jarak tersebut ditentukan agar kursi roda saat berhenti tidak mendekati terlebih menyentuh halangan. Karena saat melakukan pemberhentian, driver motor tidak terlalu cepat menutup aliran listrik yang mengalir ke motor DC. Hal tersebut berpengaruh terhadap roda pada kursi yang masih berputar sebelum akhirnya berhenti total.



Gambar 3.11 Serial Monitor Nilai Jarak Vertikal

Dapat dilihat pada Gambar 3.11, Jarak Vertikal A (objek pantul vertikal depan tengah) sebelumnya adalah 30 hingga pada serial monitor yang dilingkari warna biru, Jarak Vertikal A = 18 sehingga status Halangan = 1. Hal tersebut membuat PWM Total dikurangi secara drastis menjadi 0.

Diketahui bahwa PWM pada motor DC dikurangi secara drastis menjadi 0. Pengurangan tersebut membuat pergerakan kursi roda berhenti. Pengaturan PWM motor DC pada sistem yang telah rancang adalah memberhentikan kursi roda dengan mengubah PWM Total menjadi nilai 0.

E. Hasil Analisa

Berikut beberapa hasil analisa dari implementasi dan uji coba perangkat di antaranya:

1. Pengendalian arah pergerakan kursi roda melalui tombol tekan bekerja sesuai dengan kode program yang telah dirancang. Salah satu contohnya adalah saat ditekan tombol Maju, maka kursi akan bergerak lurus ke depan.
2. Penyesuaian kecepatan kursi roda melalui kendali sinyal PWM pada motor DC berdasarkan nilai pendeteksian sensor bekerja sesuai dengan kode program yang telah dirancang dan telah dibuktikan dengan perhitungan manual. Salah satu contohnya adalah kecepatan kursi roda bertambah seiring naiknya nilai beban yang terdeteksi sensor load cell.
3. Pengubahan sinyal PWM pada driver motor mengalami penundaan. Penundaan terlama terjadi pada area turun, durasi rata-rata penundaan yang terjadi selama uji coba yaitu selama 1 detik.
4. Nilai pendeteksian sensor load cell terhadap beban tambahan yang dimuatnya terkadang tidak akurat karena posisi penempatan sensor longgar. Jadi disarankan penempatan beban tambahan harus tepat di atas sensor.
5. Berat pada kursi adalah 20 kg, jadi beban tambahan yang disarankan kurang dari 35 kg. Pada area rata, maksimal beban yang dapat dijalankan oleh motor DC ini adalah 55 kg namun saat menemukan area naik, torsi motor DC mengalami penurunan.
6. Tinggi tahanan yang dapat dilalui oleh kursi roda ini hanya 20 cm dengan lebar 100 cm dengan kecepatan maksimal. Ketinggian tersebut dapat dilalui jika tidak ada beban tambahan.
7. Tingkat keakuratan pendeteksian jarak sensor ultrasonik HC-SR04 terhadap objek pantul vertikal/horizontal tergantung pada kondisi objek pantul, jika objek pantul datar maka tingkat keakuratan semakin baik.
8. Nilai pendeteksian sensor tegangan terhadap aki melalui kode pemrograman yang telah dibuat terkadang tidak stabil. Misalkan awalnya bernilai 11.60 namun saat perulangan ketiga nilai berubah menjadi 11.90.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perancangan dan implementasi perangkat, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kecepatan kursi roda dengan mengatur nilai analog PWM motor DC berdasarkan penyesuaian nilai pendeteksian ketiga sensor bekerja sesuai dengan sistem perangkat

- lunak yang telah dirancang. Motor DC dapat melaju mengikuti beban tambahan yang bertumpu di atasnya. Jika menemukan area miring, kecepatan motor DC dapat berkurang/bertambah. Motor DC juga dapat berhenti secara perlahan jika menemui area berpotensi halangan dan berhenti total jika menemui lubang/halangan atau beban yang melebihi torsi.
2. Dengan beban maksimal 21kg, motor DC wiper mampu melewati sampel tanjakan berbentuk segitiga yang memiliki ketinggian 20 cm dan lebar alas 1 m. Pada area rata, motor DC mampu berjalan dengan beban maksimal 55kg.
 3. Pada sistem perangkat lunak, kendali arah kursi roda menggunakan pengujian aktif/nonaktif masing-masing tombol tekan secara berurutan. Jika terdapat beberapa tombol aktif secara bersamaan, maka tombol yang berada pada pengujian pertama dikenali sedangkan yang lain diabaikan.
 4. Motor DC sempat tidak bergerak melewati gundukan kecil saat nilai analog PWM yang dimasukkan adalah nilai minimal. Hal ini disebabkan oleh objek penelitian yang dibatasi hanya pada pengaturan nilai analog PWM bukan RPM (putaran) motor DC.
 5. Resistor pada driver motor BTN7971B mengalami *over-heat* karena arus yang dihambatnya terlalu besar, sedangkan hal serupa tidak terjadi pada driver motor BTS7960. Namun berdasarkan hasil uji coba menggunakan sakelar, driver motor BTS7960 dapat membuat sakelar menjadi terbakar jika salah dalam menghubungkan kutub sumber tegangan (aki).
 6. Keakuratan nilai beban (kg) yang dideteksi pada sensor load cell bergantung pada penempatan objek beban di mana objek harus diletakkan tepat di atas sensor.
 7. Keakuratan nilai jarak yang dideteksi oleh sensor ultrasonik HC-SR04 hanya bekerja pada objek pantul yang rata.
 8. Sensor tegangan yang dihubungkan langsung ke sumber tegangan bersamaan dengan driver motor BTN7971B ternyata dapat mengalirkan listrik ke motor DC secara tidak stabil.

REFERENSI

- [1] Malik, Ibnu Mohammad. 2009. *Aneka Proyek Mikrokontroler PIC16F84/A*. Jakarta: Elex Media Komputindo. Halaman 1
- [2] Depdikbud. 1995. *Kamus Besar Bahasa Indonesia, Edisi Kedua*. Jakarta: Balai Pustaka. Halaman 801.
- [3] Usman, Nurdin. 2002. *Konteks Implementasi Berbasis Kurikulum*. Jakarta. PT. Raja Grafindo. Halaman 70.
- [4] Eliezer, I Putu Giovanni. 2014. *Pulse Width Modulation (PWM)*. Dari (<http://www.geyosoft.com/2014/pwm-pulse-width-modulation>) Diakses tanggal 20 Agustus 2016, Pukul 17.50 WITA.
- [5] Syahrul. 2012. *Mikrokontroler AVR Atmega8535*. Bandung. Informatika. Halaman 152.
- [6] Sobandi, Tatang. 2016. *Kursi Roda Elektrik Karya Iman Suwandi Sukabumi*. Dari (<http://www.tatangsobandi.com/2016/06/kursi-roda-elektrik-karya-iman-suwandi.html?m=1>) Diakses tanggal 12 September 2016, Pukul 09.00 WITA.

- [7] Syahwil, Muhammad. 2013. *Panduan Mudah Simulasi & Praktek Mikrokontroler Arduino*. Yogyakarta. Penerbit ANDI. Halaman 53.
- [8] Arduino CC. -. *Atmega2560-Arduino Pin Mapping*. Dari (<https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560>). Diakses tanggal 31 Juli 2016. Pukul 17.09 WITA.
- [9] Admin. 2015. *Sensor Ultrasonik*. Dari (<http://elangasaki.com/2015/05/sensor-ultrasonik.html?m=1>) Diakses tanggal 12 September 2016. Pukul 19.26 WITA.
- [10] Admin. 2012. *Teori Motor DC dan Jenis-jenis Motor DC*. Dari (<http://elektronika-dasar.web.id/teori-motor-dc-dan-jenis-jenis-motor-dc>) Diakses tanggal 20 Agustus 2016. Pukul 16.40 WITA.
- [11] Apriyahanda, Onny. -. *Prinsip Kerja Motor Listrik*. Dari (<http://artikelteknologi.com/prinsip-kerja-motor-listrik/>) Diakses tanggal 9 Agustus 2016. Pukul 15.00 WITA.
- [12] Admin. 2012. *Driver Motor DC H-Bridge Transistor*. Dari (<http://elektronika-dasar.web.id/driver-motor-dc-h-bridge-transistor/>). Diakses tanggal 12 September 2016, Pukul 22.06 WITA.
- [13] Admin. 2013. *Apa Itu Load Cell?*. Dari (<http://www.rajaloadcell.com/article/apa-itu-load-cell--8/>). Diakses tanggal 21 Agustus 2016, Pukul 17.29 WITA.
- [14] Rohmadi. 2014. *Timbangan 5Kg HX711*. Dari (<http://rohmedi.my.id/2014/10/06/timbangan-5kg-hx711/>). Diakses tanggal 20 Agustus 2016, Pukul 15.47 WITA.
- [15] Anwar, Muhamad Khoirul. 2016. *Cara Kerja, Jenis, dan Aplikasi Accelerometer*. Dari (<http://www.dewacupu.web.id/2016/02/cara-kerja-accelerometer.html>). Diakses tanggal 13 September 2016, Pukul 22.42 WITA.
- [16] Admin. 2012. *Pembagi Tegangan (Voltage Divider)*. Dari (<http://elektronika.dasar.web.id/pembagi-tegangan-voltage-divider/>). Diakses tanggal 20 Agustus 2016, Pukul 18.25.
- [17] Kho, Dickson. 2015. *Pengertian Piezoelectric Buzzer dan Cara Kerjanya*. Dari (<http://teknikelektronika.com/pengertian-piezoelectric-buzzer-cara-kerja-buzzer/>). Diakses tanggal 13 September 2016, Pukul 23.25.
- [18] Kadir, Abdul. 2013. *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino*. Yogyakarta. Penerbit ANDI. Halaman 8.
- [19] Kadir, Abdul. 2013. *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino*. Yogyakarta. Penerbit ANDI. Halaman 8.
- [20] Andry, Bobi. -. *Apakah Arduino Itu?* Dari (<http://ecadio.com/apakah-arduino-itu/>). Diakses tanggal 20 Agustus 2016, Pukul 16.38 WITA

Peneliti 1. Achmad Dahlan Lahir di Tarakan 11 Oktober 1994 menempuh pendidikan S1 Jurusan Teknik Informatika di STMIK PPKIA Tarakanita Rahmawati angkatan 2012. Meraih gelar sarjana pada tahun 2016

Peneliti 2. Victor Christalomegatli Lahir di Samarinda 04 Mei 1993 menempuh pendidikan S1 Jurusan Teknik Informatika di STMIK PPKIA Tarakanita Rahmawati angkatan 2012. Meraih gelar sarjana pada tahun 2016.

Peneliti 3. Haryansyah Lahir di Lamurukung 09 Nopember 1986, meraih gelar Sarjana Komputer Jurusan Teknik Informatika pada tahun 2011 di STMIK PPKIA Tarakanita Rahmawati. Meraih gelar Magister Teknologi Informasi di Sekolah Tinggi Teknik Surabaya tahun 2015.

Peneliti 4. Denis Prayogi adalah alumni STMIK PPKIA Taranita Rahmawati dan meraih gelar Sarjana Komputer jurusan Teknik Informatika.