



Pengembangan Sistem Komunikasi Nirkabel Untuk Mengendalikan Robot Sepak Bola

Alfa Satya Putra^a, Arnold Aribowo^b, Hendra Tjahyadi^c

^aSistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pelita Harapan, alfa.putra@uph.edu

^bSistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pelita Harapan, arnold.aribowo@uph.edu

^cSistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pelita Harapan, hendra.tjahyadi@uph.edu

Abstract

According to how soccer robot movement is controlled, approaches in soccer robot can be divided into two categories, namely centralized and decentralized. Centralized approach is an example of control over network concept where devices are controlled over the network. Each robot obtains information from a vision system outside the robot to detect the ball, and the central computer makes decision on which robot to approach and kick the ball. Wireless communication between robot and central computer must be reliable. One of the most important components in soccer robot is the ball kicking mechanism, which has to be able to kick the ball accurately. The wireless communication system is developed with a WeMos D1 microcontroller. Ball kicking mechanism is developed using solenoid circuit controlled by the microcontroller. Testing showed that wireless communication system has 100% reliability when operated in range up to 300cm. The ball kicking mechanism was able to respond accurately to ball kicking command when the robot is stationary and moving. When the robot is stationary, average kicking distance of the ball is 42.22cm and average tilt angle is 29.58°. When robot is moving, average kicking distance is 40.98cm and average tilt angle is 26.12°.

Keywords: Soccer Robot, Wireless Communication System, Ball Kicking Mechanism, Microcontroller

Abstrak

Berdasarkan bagaimana mengendalikan gerak robot sepak bola, pendekatan dalam robot sepak bola dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu tersentralisasi dan terdesentralisasi. Pendekatan tersentralisasi merupakan contoh dari konsep *control over network*, dimana semua komponen dikendalikan melalui sebuah jaringan. Setiap robot mendapatkan informasi dari sistem visi di luar robot untuk mendeteksi bola, kemudian komputer sentral sebagai pengendali akan membuat keputusan untuk menentukan robot mana yang akan mendekat dan menendang bola. Komunikasi antara robot dan komputer sentral bersifat nirkabel dan diharapkan memiliki reliabilitas tinggi. Salah satu komponen penting pada robot sepak bola adalah rangkaian penendang bola. Rangkaian penendang bola diharapkan dapat merespon perintah untuk menendang bola dengan tepat dan akurat. Sistem komunikasi nirkabel untuk mengendalikan gerak robot sepak bola dirancang menggunakan mikrokontroler WeMos D1. Rangkaian penendang bola dirancang menggunakan rangkaian *solenoid* yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Pengujian menunjukkan sistem komunikasi nirkabel memiliki reliabilitas 100% untuk jarak sampai dengan 300cm. Rangkaian penendang dapat merespon dengan baik terhadap perintah menendang bola, baik dari posisi robot tidak bergerak maupun posisi robot bergerak. Pada posisi robot tidak bergerak, robot dapat menendang bola hingga mencapai jarak rata-rata 42.22cm dan kemiringan bola rata-rata 29.58°. Pada posisi robot bergerak, jarak rata-rata tendangan adalah 40.98cm dan kemiringan bola rata-rata 26.12°.

Kata kunci: Robot Sepak Bola, Sistem Komunikasi Nirkabel, Mekanisme Menendang Bola, Mikrokontroler

© 2018 Jurnal RESTI

1. Pendahuluan

Robot sepak bola adalah sekelompok robot yang dapat bermain sepak bola sebagai sebuah tim, untuk melawan tim robot sepak bola lain dalam sebuah arena berupa lapangan sepak bola. Berdasarkan bagaimana mengendalikan gerak robot sepak bola, pendekatan dalam robot sepak bola dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu pendekatan tersentralisasi [3,4,5,12] dan terdesentralisasi [1,2]. Pada pendekatan tersentralisasi,

setiap robot mendapatkan informasi dari sistem visi yang berada di luar robot untuk mendeteksi bola, kemudian komputer pengendali yang berperan sebagai sentral akan membuat keputusan untuk menentukan robot mana yang akan mendekat dan mengoper, menendang atau mendribel bola. Pada pendekatan terdesentralisasi, setiap robot dilengkapi dengan sistem visi untuk mendeteksi, mengoper, menendang atau mendribel bola. Paper ini akan berfokus pada

pendekatan tersentralisasi yang merupakan contoh dari konsep *control over network*, dimana semua komponen dikendalikan melalui sebuah jaringan. Konsep tersebut dapat diterapkan dalam berbagai jenis aplikasi, seperti pada [21].

Pengembangan sistem robot sepak bola menggunakan pendekatan tersentralisasi adalah permasalahan yang kompleks yang melibatkan berbagai disiplin ilmu. Pengolahan citra diperlukan untuk mendapatkan informasi dari lapangan sepak bola. Pada [4,5], citra lapangan sepak bola yang diperoleh akan diproses pada komputer untuk menentukan gerakan yang dilakukan oleh masing-masing robot. Pengambilan keputusan tersebut membutuhkan kecerdasan buatan atau teknik pendukung pemilihan keputusan yang dibahas pada [6,7,8,9]. Keputusan kemudian dikirim kepada robot melalui jaringan nirkabel seperti dibahas pada [19, 20]. Setelah menerima informasi, robot akan melakukan gerakan seperti yang diperintahkan. Supaya robot dapat merespon pada perintah, robot harus memiliki sistem gerak yang tepat dan akurat. Upaya untuk meningkatkan akurasi gerak robot dibahas pada [9,10,11]. Robot juga perlu memiliki rangkaian penendang yang akurat untuk dapat menendang bola dengan benar saat diperintah, yang dibahas pada [12].

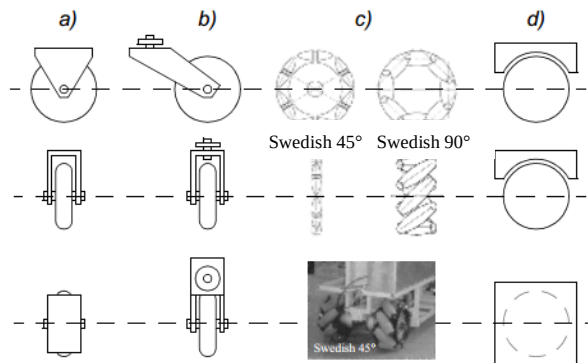
Paper ini membahas mengenai desain sistem komunikasi nirkabel yang reliabel dan konsisten antara robot dan komputer, terutama memfokuskan pada kontrol gerak robot dan menendang bola. Mikrokontroler yang digunakan pada [9] adalah Arduino Yun untuk menghubungkan komputer dan robot dan mengendalikan robot, namun kebutuhan untuk komunikasi nirkabel secara reliabel tidak dapat terpenuhi dengan baik menggunakan mikrokontroler tersebut. Maka digunakan sebuah mikrokontroler lain dengan kemampuan komunikasi nirkabel, yaitu WeMos D1, sebagai unit pengendali utama pada robot. Mikrokontroler diinterfasi ke berbagai sistem pada robot sepak bola, dan pengujian dilakukan dengan memberi perintah dari komputer untuk robot bergerak dan menendang bola. Rangkaian penendang bola pada robot diimplementasikan menggunakan sebuah *solenoid*, dan diuji ketepatannya dalam menendang bola ke sasaran.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Mobile Robot

Mobile robot atau robot bergerak dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu robot berkaki (*legged robot*) atau robot beroda (*wheeled robot*). Penentuan cara gerak robot menggunakan kaki atau roda tergantung pada tiga isu utama, yaitu stabilitas, karakteristik dari titik kontak, dan jenis lingkungan tempat robot beroperasi. Robot beroda dapat dibagi lagi menjadi empat sub-kategori berdasarkan jenis roda yang digunakan, yaitu *standard wheel*, *castor wheel*, *Swedish* atau *mecanum*

wheel, dan *spherical wheel*, dimana setiap jenis memiliki karakteristik, kelebihan dan kekurangan terhadap jenis lainnya. Keempat jenis roda tersebut dapat dilihat pada Gambar 1, yaitu *standard wheel* (a), *castor wheel* (b), *Swedish* atau *mecanum wheel* (c), dan *spherical wheel* (d) [13].



Gambar 1. Berbagai kategori jenis roda

Robot dapat dirancang untuk bergerak secara *omni-directional*, yaitu dapat bergerak kapan saja ke arah mana saja tanpa tergantung orientasi robot terhadap sumbu vertikalnya. Pergerakan *omnidirectional* dapat dicapai dengan menggunakan *castor*, *Swedish* atau *spherical wheel*.

Selain jenis roda, konfigurasi roda juga memiliki peran penting dalam menentukan performa robot dalam tiga kategori, yaitu stabilitas, manuverabilitas dan kontrolabilitas. Robot *omnidirectional* memiliki manuverabilitas yang tinggi [10,11] namun pada umumnya lebih sulit untuk dikontrol [13].

2.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah komputer berukuran kecil dengan harga relatif murah, umum dipakai untuk keperluan spesifik seperti menampilkan informasi pada *microwave LCD* atau menerima perintah dari remote TV. Mikrokontroler umumnya digunakan pada produk yang membutuhkan kendali dari pengguna. Mikrokontroler umumnya dibuat menggunakan teknologi *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) sehingga hemat energi dan tahan terhadap perubahan daya.

Mikrokontroler pada umumnya memiliki CPU, ROM, RAM dan beberapa port I/O untuk menjalankan tugas spesifik yang diberikan. Mikrokontroler umumnya diinterfasikan dengan perangkat-perangkat lain untuk memberi masukan ke mikrokontroler, seperti tombol atau sensor, dan menampilkan keluaran dari mikrokontroler, seperti LED atau LCD [16].

Mikrokontroler yang digunakan sebagai pengendali robot harus memiliki kemampuan untuk komunikasi nirkabel secara reliabel dan konsisten. Mikrokontroler

yang digunakan pada [9] adalah Arduino Yun, namun mikrokontroler tersebut ditemukan memiliki masalah pada reliabilitas koneksi dengan komputer. Oleh karena itu, sebuah mikrokontroler jenis lain, yaitu WeMos D1, digunakan sebagai pengganti. WeMos D1 adalah papan mikrokontroler yang kompatibel dengan Arduino Uno dan berbasis mikrokontroler ESP8266EX yang memiliki kemampuan untuk berkomunikasi secara nirkabel, dapat menggunakan protokol 802.11b/g/n pada frekuensi 2.4Ghz [18]. WeMos D1 memiliki 11 digital input/output pin, dimana semua pin kecuali pin D0 mendukung fitur interrupt, I2C, PWM dan one-wire. Selain itu WeMos D1 juga memiliki satu analog input pin dengan maksimum input 3.2V, koneksi *micro* USB, *power jack* dengan 9-24V power input, dan kompatibilitas dengan Arduino dan nodeMCU [15]. Papan mikrokontroler WeMos D1 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. WeMos D1

Spesifikasi teknis dari mikrokontroler WeMos D1 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis WeMos D1

Microcontroller	ESP-8266EX
Operating Voltage	3.3V
Digital I/O Pins	11
Analog Input Pins	1(Max input: 3.2V)
Clock Speed	80MHz/160MHz
Flash	4M bytes
Length	68.6mm
Width	53.4mm
Weight	25g

Meskipun secara tampilan dan fitur WeMos memiliki banyak kesamaan dengan Arduino Uno, namun kedua mikrokontroler tersebut memiliki *pinout* yang berbeda. Tabel 2 adalah perbandingan antara pengalokasian pin Arduino Uno dengan WeMos D1.

2.3. Solenoid

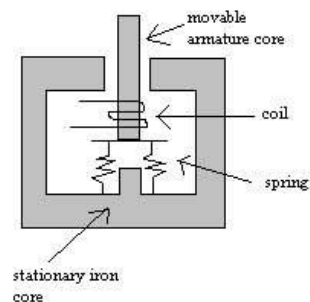
Solenoid adalah sebuah elektromagnet yang terdiri dari sebuah kumparan dan sebuah batang besi yang bisa bergerak yang disebut armatur. Rangkaian *solenoid* dapat dilihat pada Gambar 3.

Medan magnet akan terbentuk pada saat arus mengalir pada kabel. Jika kabel dililit mejadi kumparan, medan magnet akan menjadi beberapa kali lebih kuat. Ketika kumparan dialiri arus listrik, batang besi akan bergerak

ke arah dalam untuk meningkatkan fluks dengan menutup celah udara antara armatur dan bagian dalam *solenoid*. Armatur memiliki pegas sehingga dapat kembali ke posisi semula saat arus dimatikan. Gaya yang dihasilkan berbanding lurus dengan kuadrat dari arus, dan berbanding terbalik dengan kuadrat dari lebar celah udara.

Tabel 2. Perbandingan Pin Arduino Uno dengan WeMos D1

Arduino UNO		WeMos-D1R2	
SCL	I2C: SCL	→	GPIO05 I2C: SCL
SDA	I2C: SDA	→	GPIO04 I2C: SDA
AREF		→	
GND		→	GND
GPIO13	SPI: SCK	→	GPIO14 SCK
GPIO12	SPI: MISO	→	GPIO12 MISO
GPIO11	SPI: MOSI	→	GPIO13 MOSI
GPIO10	SPI: SS	→	GPIO15 SS
GPIO9		→	GPIO13
GPIO8		→	GPIO12
GPIO7		→	GPIO14
GPIO6		→	GPIO2
GPIO5		→	GPIO0
GPIO4		→	GPIO04
GPIO3		→	GPIO05
GPIO2		→	GPIO16
GPIO1	TX	→	GPIO01 TX0
GPIO0	RX	→	GPIO03 RX0



Gambar 3. Solenoid

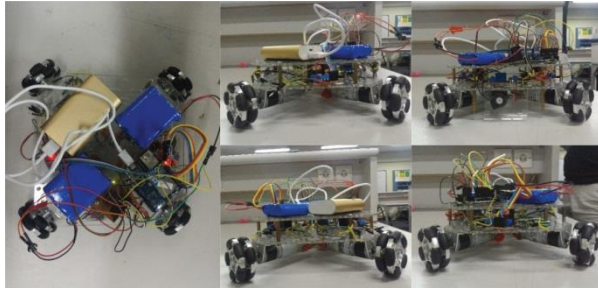
Solenoid banyak digunakan pada kehidupan sehari-hari, misalnya pada katup mesin cuci, mesin fotokopi, pengunci pintu, otomasi pabrik, dan lain-lain. Pada robot sepak bola, rangkaian solenoid digunakan sebagai komponen penendang bola.[17]

2.4. Penelitian Sebelumnya

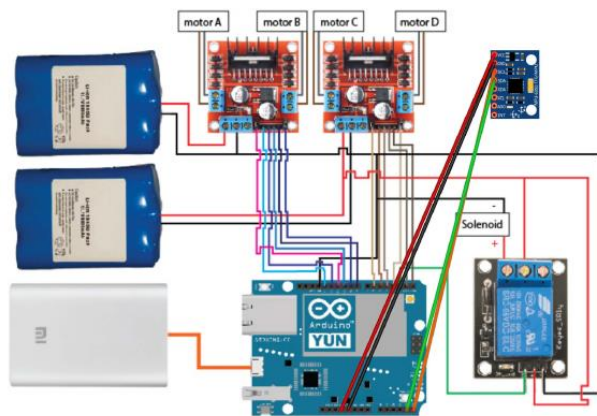
Desain *omni-directional* robot pada [9] menggunakan empat DC Motor PG22 yang diletakkan secara diagonal dengan pergeseran fase sebesar 90° antar satu sama lain. Setiap motor terhubung ke sebuah *omni wheel*, yaitu sebuah tipe roda yang sejenis dengan *Swedish wheel* yang dijelaskan pada bagian 2.1. Desain robot sepak bola tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

Robot menggunakan sebuah Xiaomi Powerbank 5200mAh dan dua Li-Ion 12V Battery Pack sebagai catu daya. Sebuah Arduino Yun digunakan sebagai pengendali dari semua perangkat keras robot, dan untuk berkomunikasi dengan komputer secara nirkabel.

Sebuah MPU6050 berfungsi sebagai *accelerometer* dan *gyroscope* untuk mengukur sudut kemiringan gerak robot. Dua L298N motor driver digunakan untuk mengendalikan masing-masing dua DC motor, dan sebuah *solenoid* digunakan untuk menendang bola. Diagram sistem dari robot sepak bola dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Desain Robot Sepak Bola [9]



Gambar 5. Diagram Sistem Robot Sepak Bola [9]

3. Metodologi Penelitian

Tahap awal penelitian adalah studi literatur melalui berbagai sumber seperti buku, jurnal, prosiding, disertasi, dan situs web. Informasi yang dikumpulkan berupa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pengembangan robot sepak bola dan berbagai komponen dan perangkat didalamnya. Selain itu juga referensi mengenai *mobile robot*, mikrokontroler, dan solenoid dikumpulkan dan diolah untuk mengembangkan sistem yang akan dibuat pada penelitian ini. Review teknologi juga dilakukan pada perangkat mikrokontroler untuk menentukan jenis mikrokontroler yang akan digunakan pada penelitian berdasarkan kapabilitas dan spesifikasi dari mikrokontroler dan mencocokkan pada kebutuhan penelitian. Lalu dilakukan rancang bangun perangkat keras rangkaian penendang bola menggunakan mikrokontroler, *solenoid* dan perangkat keras lainnya, rancang bangun perangkat lunak untuk mengendalikan kerja perangkat keras tersebut, serta rancangan sistem komunikasi robot dan komputer.

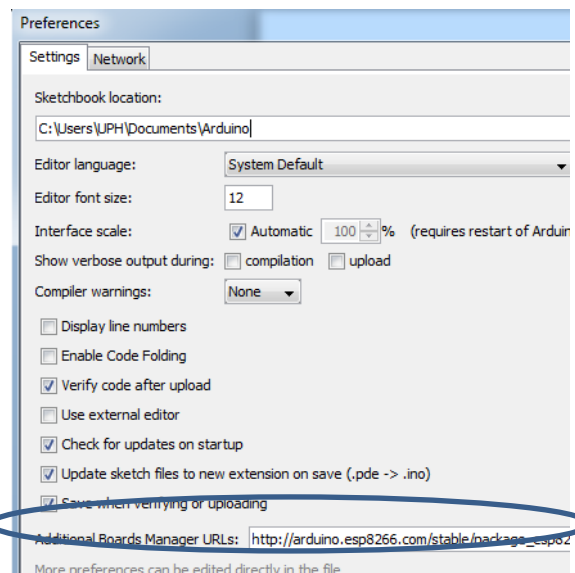
Rancangan sistem tersebut lalu diimplementasikan dan diuji reliabilitas komunikasi nirkabel dan penendang bola, dan hasilnya dianalisis untuk menentukan apakah sistem yang dirancang sudah dapat memberikan hasil yang diharapkan atau belum.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Konfigurasi WeMos D1

WeMos D1 dapat diprogram menggunakan *software* Arduino IDE, namun perlu dilakukan beberapa konfigurasi supaya WeMos dapat dikenali oleh Arduino IDE, dan kode program yang dibuat di Arduino IDE dapat diunggah ke WeMos. *Library* ESP8266 dimasukkan ke Arduino IDE dengan membuka *File* -> *Preferences*, lalu memasukkan alamat situs web berikut:

http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json pada kolom “Additional Boards Manager URLs”, seperti pada Gambar 6.

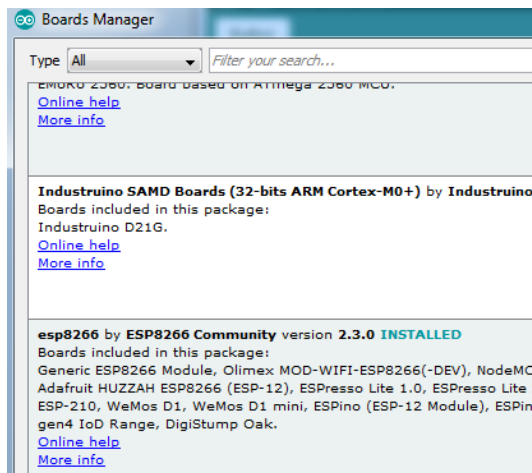


Gambar 6. Menambahkan *Library* ESP8266 ke Arduino IDE

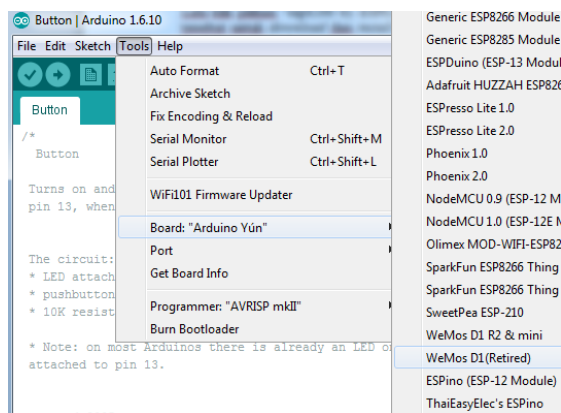
ESP8266 akan terdaftar pada *Boards Manager*, yang dapat diakses dari *Tools* -> *Board* -> *Boards Manager* pada Arduino IDE. Instalasi dilakukan dengan memilih *install* “esp8266 by ESP8266 Community” pada *Boards Manager*, seperti pada Gambar 7.

Setelah instalasi, WeMos D1 akan muncul pada daftar board yang tersedia di *Tools* -> *Board* seperti pada Gambar 8.

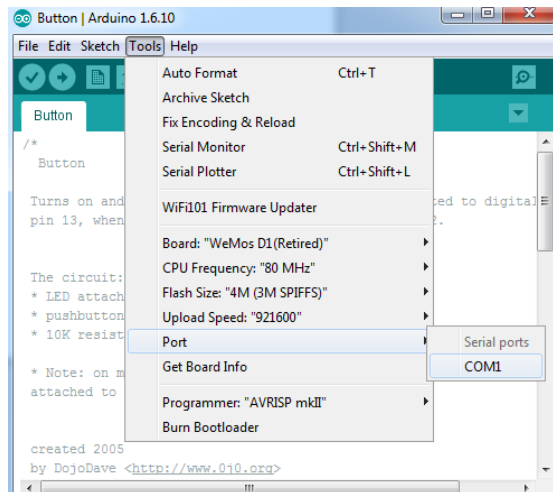
Port dan *upload speed* WeMos dapat diatur seperti halnya pada mikrokontroler Arduino. Gambar 9 menunjukkan contoh mengatur *upload speed* menjadi 921600 dan memilih *port* COM1 sebagai *port* komunikasi WeMos.



Gambar 7. Tampilan setelah Instalasi Board ESP8266



Gambar 8. Memilih Board WeMos D1



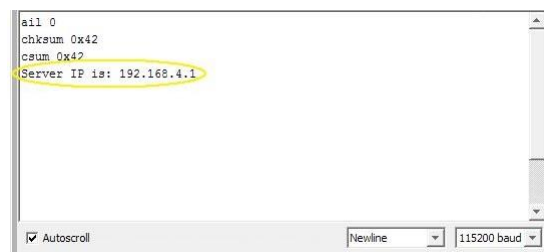
Gambar 9. Mengatur Port dan Upload Speed

Setelah konfigurasi *port* dan *upload speed*, WeMos D1 sudah dapat diuji dengan menggunakan program sederhana seperti program untuk menyalakan atau mematikan LED. Perlu dicatat bahwa pin untuk mengakses LED pada WeMos berbeda dengan pin LED pada Arduino, yaitu pin 14 dan pin 2.

4.2. Komunikasi Nirkabel WeMos D1 dan Komputer

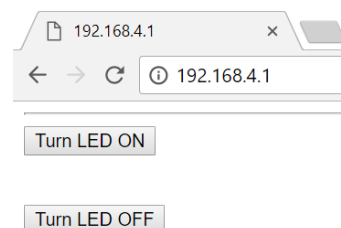
Setelah konfigurasi awal WeMos D1 berhasil dilakukan pada bagian 4.1, WeMos dapat diprogram supaya dapat berfungsi sebagai HTTP *server* untuk melakukan komunikasi nirkabel dengan komputer pengendali. Komunikasi dapat dilakukan dengan membuat program pada Arduino IDE untuk melakukan inisialisasi HTTP *server* pada port 80, lalu melakukan pengaturan SSID dan *password* dari jaringan nirkabel yang akan dibuat pada WeMos. Setelah program diunggah ke WeMos, WeMos dapat dilepaskan dari komputer dan dihubungkan ke sumber listrik lain seperti baterai atau powerbank. WeMos akan memancarkan jaringan nirkabel dengan SSID dan *password* sesuai konfigurasi.

Langkah berikutnya adalah melakukan koneksi dari komputer ke jaringan WeMos, dan membuat program untuk menampilkan alamat IP dari WeMos ke *serial monitor*. WeMos sudah terkonfigurasi untuk menggunakan alamat IP *default* yaitu 192.168.4.1. Gambar 10 adalah hasil dari program untuk mencetak alamat IP WeMos ke *serial monitor*.



Gambar 10. Alamat IP WeMos server pada Serial Monitor

WeMos dapat diprogram supaya menampilkan sebuah halaman web apabila alamat IP tersebut dimasukkan ke *web browser*. Halaman web dapat dibuat menggunakan sintaks bahasa HTML dan *JavaScript* untuk mengendalikan berbagai fitur pada WeMos. Gambar 11 merupakan sebuah program sederhana untuk menguji komunikasi nirkabel antara WeMos dan komputer, dengan sebuah *web interface* sederhana berupa dua tombol untuk menyalakan atau mematikan LED pada WeMos.



Gambar 11. Program menyalakan dan mematikan LED WeMos

4.3. Pengujian Komunikasi Nirkabel

Komunikasi nirkabel antara WeMos dan komputer diuji menggunakan kode program yang dibuat pada bagian 4.2 untuk menentukan apakah jarak operasi dan

reliabilitas dari WeMos sudah memenuhi syarat untuk dipakai pada robot sepak bola. Pengujian dilakukan dengan menempatkan WeMos pada jarak 50cm, 100cm, 150cm dan 200cm dari komputer dan mengirimkan pesan LED ON/OFF sebanyak 10 kali pada masing-masing jarak. Pengujian dinyatakan berhasil apabila WeMos berhasil merespon dengan menyalakan atau mematikan LED sesuai perintah dari komputer. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

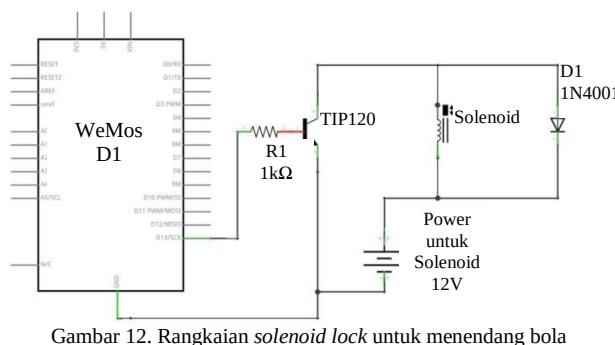
Tabel 3. Hasil Pengujian Komunikasi Nirkabel

No	Jarak (cm)	Jumlah Pengujian	Pengujian Berhasil	Persentase Keberhasilan
1	50	10	10	100%
2	100	10	10	100%
3	150	10	10	100%
4	200	10	10	100%
5	250	10	10	100%
6	300	10	10	100%

Tabel 3 menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan dari seluruh pengujian untuk jarak 50 hingga 300cm adalah 100%, sehingga dapat disimpulkan bahwa jaringan Wifi dari WeMos sangat reliabel dan dapat digunakan sebagai media komunikasi melalui jaringan pada robot sepak bola.

4.4. Rangkaian solenoid lock

Solenoid membutuhkan arus yang jauh lebih besar daripada arus maksimum yang dapat dikeluarkan dari pin mikrokontroler WeMos D1, yaitu sekitar 40mA, sehingga untuk mengontrol solenoid lock dibutuhkan rangkaian penguat arus dengan menggunakan sebuah TIP120 power transistor. Transistor akan diberi daya dari baterai Li-ion 12V yang dipakai sebagai catu daya robot. Rangkaian juga menggunakan sebuah dioda yang berfungsi untuk menghambat tegangan balik yang dapat merusak rangkaian. Rangkaian solenoid lock untuk menendang bola dapat dilihat pada Gambar 12. Rangkaian akan dipasang diantara dua omni wheel pada posisi kiri atas dan kanan atas dari robot sepak bola pada Gambar 4.



Gambar 12. Rangkaian solenoid lock untuk menendang bola

4.5. Pengujian Rangkaian Menendang Bola

Rangkaian menendang bola yang dirancang pada bagian 4.4 akan diuji dengan dua jenis pengujian

dengan sebuah bola pingpong standar dengan diameter 40mm. Pengujian pertama adalah memberi perintah pada mikrokontroler WeMos secara nirkabel untuk membuat robot menendang bola pingpong dari posisi robot tidak bergerak sebanyak lima kali, membandingkan posisi bola awal (sebelum ditendang) dan akhir (setelah ditendang), lalu mengukur perubahan jarak dan arah gerak bola. Bola dan robot diuji pada sebuah bidang datar dua dimensi berukuran 200x200cm. Posisi bola dinyatakan dalam koordinat kartesius (x,y), dimana titik (0,0) adalah titik paling ujung kiri bawah dari bidang datar tersebut apabila dilihat dari atas. Jarak dan sudut perpindahan bola diukur menggunakan rumus jarak dan sudut seperti berikut:

$$jarak = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \quad (1)$$

$$sudut = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (2)$$

Dimana (x1,y1) adalah nilai koordinat (x,y) dari titik awal posisi bola yang dinyatakan dalam sistem koordinat kartesius, dan (x2,y2) adalah nilai koordinat (x,y) dari titik akhir posisi bola yang dinyatakan dalam sistem koordinat kartesius. Hasil pengujian pertama dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian menendang bola dari posisi robot tidak bergerak

No	Posisi Bola Awal		Posisi Bola Akhir		Jarak (cm)	Sudut Kemiringan (°)
	X1	Y1	X2	Y2		
1	30	30	71	41	42.45	15.02
2	30	30	71	5	48.02	-31.37
3	30	30	52	0	37.20	-53.75
4	30	30	60	0	42.43	-45
5	30	30	71	28	41.05	-2.79

Dari tabel 4 ditemukan bahwa sistem penendang dapat menendang bola dengan cukup baik dari posisi tidak bergerak, dapat mencapai jarak yang cukup jauh dalam menendang dengan rata-rata jarak 42.22 cm. Namun bola memiliki kecenderungan untuk tidak bergulir lurus dan bergulir ke samping kiri atau kanan setelah ditendang, dengan rata-rata kemiringan absolut adalah 29.58°.

Pengujian kedua adalah menendang bola dari posisi robot bergerak sebanyak lima kali, membandingkan posisi bola awal dan akhir, lalu mengukur perubahan jarak dan arah gerak bola. Robot akan dikendalikan dari komputer untuk bergerak mendekati posisi bola. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

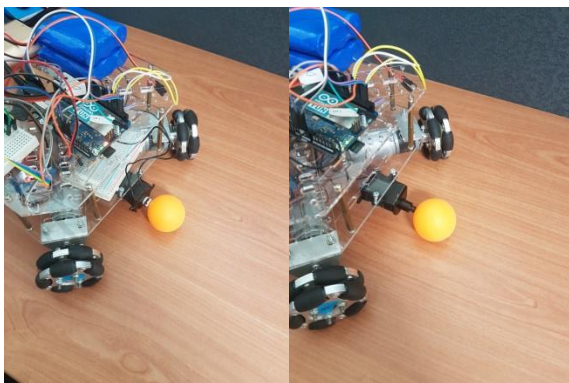
Tabel 5 menunjukkan bahwa robot dapat menendang bola dengan cukup baik dari posisi bergerak. Rata-rata jarak yang diperoleh dari tendangan adalah 40.98 cm, dan rata-rata kemiringan bola setelah ditendang adalah 26.12°.

Tabel 5. Pengujian menendang bola dari posisi robot bergerak

No	Posisi Robot		Posisi Bola Awal		Posisi Bola Akhir		Jarak (cm)	Sudut Kemiringan (°)
	Xr	Yr	X1	Y1	X2	Y2		
1	0	30	30	30	73	4	50.25	-31.16
2	15	43	30	30	53	2	36.24	-50.60
3	0	15	30	30	67	45	39.93	22.07
4	15	15	30	30	60	42	32.31	21.80
5	0	42	30	30	76	26	46.17	-4.97

Kedua pengujian tersebut menunjukkan bahwa rangkaian penendang dapat menendang bola untuk mencapai jarak yang cukup baik, namun sudut kemiringan dari tendangan bola masih cukup besar sehingga akurasi tendangan masih belum cukup akurat.

Rangkaian menendang bola yang sudah dipasang pada robot dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Rangkaian menendang bola

5. Kesimpulan

5.1. Simpulan

Telah dibuat sebuah sistem komunikasi nirkabel untuk mengendalikan robot sepak bola untuk bergerak dan menendang bola. Sistem berhasil melakukan komunikasi nirkabel dengan tingkat reliabilitas 100% untuk jarak komunikasi sampai dengan 300cm, sehingga dapat disimpulkan bahwa komunikasi nirkabel dapat dilakukan secara akurat dan reliabel menggunakan mikrokontroler WeMos D1 sebagai pengendali.

Rangkaian penendang bola sudah dapat menendang bola dengan cukup baik, baik dari posisi robot diam maupun bergerak. Bola yang ditendang dapat mencapai jarak yang cukup baik, dengan rata-rata 42.22cm dari posisi robot tidak bergerak dan 40.98cm dari posisi robot bergerak kedua percobaan, namun akurasi tendangan masih belum terlalu baik karena rata-rata kemiringan bola adalah 29.58° untuk posisi robot tidak bergerak, dan 26.12° untuk posisi robot bergerak.

5.2. Saran

Untuk meningkatkan kinerja dan akurasi dari sistem penendang bola pada robot, dapat dipertimbangkan

untuk memperlebar bidang dari solenoid yang digunakan untuk menendang bola. Bidang yang lebih besar akan mempermudah robot untuk menahan bola (*trap*) sebelum ditendang supaya bola berada dalam posisi stabil, sehingga tendangan yang dihasilkan akan lebih akurat.

Untuk komunikasi nirkabel, sistem perlu dikembangkan dan diuji pada situasi mengendalikan lebih dari satu robot. Sistem yang dikembangkan pada paper ini menggunakan mikrokontroler yang dipasang pada robot sebagai sumber dari jaringan nirkabel untuk komunikasi komputer dengan robot, namun untuk pengendalian lebih dari satu robot perlu diuji apakah jaringan tersebut tetap reliabel saat semua robot sedang aktif bergerak.

Daftar Rujukan

- [1] Parker, C.A.C., Zhang, H., 2009. Cooperative Decision-Making in Decentralized Multiple-Robot Systems: the Best-of-N Problem. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 14 (2), pp. 240-251.
- [2] Parker, C.A.C., Zhang, H., 2010. Collective unary decision-making by decentralized multiple-robot systems applied to the task-sequencing problem. *Swarm Intelligence*, 4 (3), pp. 199-220.
- [3] Kooij, N.S., 2003. *The development of a vision system for robotic soccer*. Master's. Twente: University of Twente.
- [4] Tjahyadi, H., Gunawan, G., Aribowo, A., Hareva, D., 2016. Image Processing Based Robot Soccer: Obtaining Multiple Robots Position and Orientation Using High-Angle Shot of Camera. *Journal of Image and Graphics*, 4 (1), pp. 29-35.
- [5] Aribowo, A., Gunawan, G., Tjahyadi, H., 2016. Adaptive Edge Detection and Histogram Color Segmentation for Centralized Vision of Soccer Robot. *International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*. Lombok, Indonesia, 28-30 Oktober 2016.
- [6] Petit, C.G.R.M., 2006. *Strategy for robot soccer systems — Implemented for the MI20 system*. Master's. Twente: University of Twente.
- [7] Nasrollahi, P., Jafari, S., Jamaseb, M., Nikooee, A., 2013. Decision Making of Humanoid Soccer Robots Using Rule Based Expert Systems. *5th Conference on Information and Knowledge Technology (IKT)*. Shiraz, Iran, 28-30 May 2013.
- [8] Wang, Y.-T., You, Z.-J., Chen, C.-H. 2009. AIN-Based Action Selection Mechanism for Soccer Robot Systems. *Journal of Control Science and Engineering*, Vol.2009, 10 pages.
- [9] Aribowo, A., Putra, A.S., Lukas, S., Tjahyadi, H. 2017. Enhancing Soccer Robot Movement Accuracy Using Omnidirectional Wheel. *2017 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELETTs)*. Banda Aceh, Indonesia, 18-20 October 2017.
- [10] Li, X. 2009. *Dribbling Control of an Omnidirectional Soccer Robot*. Ph.D. Eberhard Karls Universität Tübingen.
- [11] Rojas, R., Forster, A.G. 2006. Holonomic Control of a robot with an omnidirectional drive. *KI – Künstliche Intelligenz, Böttcher IT Verlag*.
- [12] Bruce, J., Zickler, S., Licitra, M., Veloso, M. 2008. CMDragons: Dynamic Passing and Strategy on a Champion Robot Soccer Team. *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Pasadena, CA, USA. 19-23 May 2008.
- [13] Siegwart, R. and Nourbakhsh, I.R., 2004. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. 1st ed. MIT Press.
- [14] Arduino, 2018. *A Solenoid Tutorial*. [Online] Available at: <https://playground.arduino.cc/Learning/SolenoidTutorial>. [Accessed 26 January 2018].
- [15] Wemos Electronics, 2017. *D1[Wemos Electronics]*. [Online] Available at: <https://wiki.wemos.cc/products:d1:d1> [Accessed 15 February 2018].

- [16] EngineersGarage, 2012. *Microcontrollers Tutorial | Microcontroller Basics | Microcontroller Architecture | Microcontroller vs. Microprocessor*. [Online] Available at: <https://www.engineersgarage.com/microcontroller> [Accessed 8 March 2018]
- [17] Northwestern University Neuroscience and Robotics Lab, 2006. *Solenoid Theory*. [Online] Available at: http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Solenoid_Theory [Accessed 8 March 2018]
- [18] Espressif Systems, 2018. ESP8266EX Datasheet. [Online] Available at: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf [Accessed 21 March 2018]
- [19] Kaur, T., Kumar, D., 2015. Wireless multifunctional robot for military applications. *2nd International Conference on Recent Advances in Engineering & Computational Sciences (RAECS)*. Chandigarh, India, 2015, 21 Dec - 22 Dec 2015.
- [20] Nádvorník, J., Smutný, P., 2014. Remote control robot using Android mobile device. *Proceedings of the 2014 15th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. Velke Karlovice, Czech Republic, 28-30 May 2014.
- [21] Pajic, M., Sundaram, S., Pappas, G.J., Mangharam, R., 2011. The Wireless Control Network: A New Approach for Control over Networks, *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 56, no. 10, pp. 2305-2318.