

Perancangan Sistem Pengendali Robot melalui Internet Menggunakan Raspberry Pi

Rizqi Andry Ardiansyah

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronika

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Cisitu 21/154 D, Bandung 40135

Indonesia

rizqinhood@gmail.com

Abstrak

Saat ini penggunaan robot manipulator semakin luas terutama pada lingkungan dengan kondisi ekstrim. Untuk itu maka sebuah robot manipulator harus dilengkapi dengan sebuah sistem pengendali jarak jauh. Dalam konteks ini, penelitian ini berfokus pada perancangan sistem pengendali jarak jauh lengan robot melalui internet. Untuk itu diperlukan Websocket server pada Raspberry Pi agar dapat menangani perintah-perintah yang dikirim oleh PC client melalui internet. Agar bisa menggerakkan robot lengan OWI Arm Edge 535 maka dibutuhkan integrasi antara papan Raspberry Pi dengan mikrokontroler DFRduino Duemilanove, serta modul SainsSmart 8 Channel DC 5V Relay. Bahasa Pemrograman Processing digunakan untuk membuat Graphic User Interface pada komputer. Keakuratan gerak robot OWI 535 Arm Edge didapatkan dengan memasang sensor posisi potensiometer linear pada masing-masing sendinya. Komunikasi data antara client dan server membutuhkan waktu rata-rata 22.8ms. Hasil pengujian komunikasi data antara Raspberry Pi dan DFRduino menunjukkan bahwa pengiriman data 4 digit karakter membutuhkan waktu 156 - 164 microsecond dengan 0% error. Penambahan sensor potensiometer linear sebagai umpan balik pada tiap sendi robot OWI 535 Arm Edge bisa meningkatkan keakuratan gerak robot OWI 535 Arm Edge dengan toleransi keakuratan kurang dari 1 derajat.

Kata Kunci: robot lengan, sistem pengendali jarak jauh, raspberry pi, websocket server, internet

1 Pendahuluan

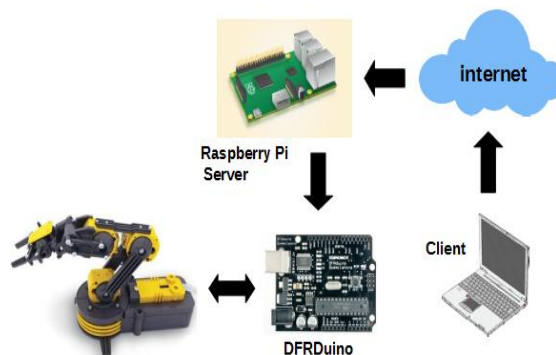
Penggunaan robot manipulator semakin luas di saat ini karena kepresisiannya, mampu mengerjakan satu pekerjaan secara berulang-ulang, dan karena ketahanannya terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim. Mereka biasanya diterapkan dalam tugas perakitan berulang, di mana semua komponen selalu dalam posisi yang sama dan hanya diperlukan kontrol posisi robot. Namun demikian, penerapan robot manipulator dapat meningkatkan produktivitas proses industri saat ini [1]. Beberapa robot manipulator yang digunakan dalam industri adalah robot pengelas, pengebor dan lainnya. Keakuratan posisi gerak robot manipulator telah lama menjadi isu utama yang harus dipertimbangkan dalam berbagai aplikasi yang canggih [2]. Karena dengan keakuratan gerak inilah menentukan kualitas kinerja robot tersebut. Ketika robot ditempatkan pada area yang memiliki kondisi lingkungan yang ekstrim, maka robot tersebut harus dilengkapi dengan sebuah sistem pengendali jarak jauh. Beberapa metode sistem pengendalian dari jarak jauh telah dikembangkan saat ini diantaranya: Makalah *RS-485 Interface for Boiler Header Inspection Robot Prototype* [3], membahas tentang sebuah aplikasi dari RS-485 untuk mengendalikan robot pemeriksa pipa ketel uap pada sebuah pusat pembangkit listrik tenaga panas bumi. RS-485 interface disini digunakan untuk keperluan komunikasi antara operator dengan robot; Makalah *Development of user interface for tele-operated cranes* [4], membahas

tentang perancangan sebuah UI – User Interface untuk mengendalikan sebuah system crane, sehingga system crane tersebut dapat dikendalikan dan dimonitor melalui 4 sisi pandang yaitu sisi atas, sisi kanan, sisi kiri dan sisi keseluruhan; Makalah *Wireless Mobile Robot Control With Tablet Computer* [5], membahas tentang sebuah metode pengendalian mobile robot dengan menggunakan Tablet PC melalui wifi. Penelitian pada bidang pengendalian jarak jauh ini masih harus terus dilakukan dengan bermacam metode sehingga mendapatkan hasil yang paling baik serta dapat menambah khazanah keilmuan dalam hal pengendalian jarak jauh.

Dalam makalah ini kami menggunakan internet sebagai media untuk mengendalikan robot lengan karena aksesnya yang semakin luas dari kota hingga ke desa, biaya akses yang semakin murah, serta dalam usaha untuk mengaplikasikan konsep *Internet of Things (IoT)* dimana kita dapat dengan mudah melakukan pemantauan data objek apapun di sekitar kita (kondisi temperatur, kelembaban udara, keamanan rumah dll) serta dengan mudah melakukan pengendalian objek apapun di sekitar kita (membuka pintu rumah, menyalakan/mematikan TV, dll) melalui internet [6]. Makalah ini menjelaskan tentang Perancangan sistem pengendali jarak jauh lengan robot melalui internet dengan menggunakan Raspberry Pi. Sistem ini dibangun menggunakan robot lengan OWI 535 Arm edge, sebuah papan Raspberry Pi, sebuah papan DFRduino Duemilanove, sebuah websocket server, dan sebuah PC Software Interface yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman Processing. Makalah ini tersusun sebagai berikut: pada bagian kedua menjelaskan tentang gambaran sistem secara keseluruhan, kemudian bagian ketiga menjelaskan secara detil semua perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam sistem ini, beberapa pengujian akan dijelaskan pada bagian keempat, bagian kelima berisi tentang kesimpulan, dan bagian keenam adalah daftar pustaka.

2 Gambaran Sistem Keseluruhan

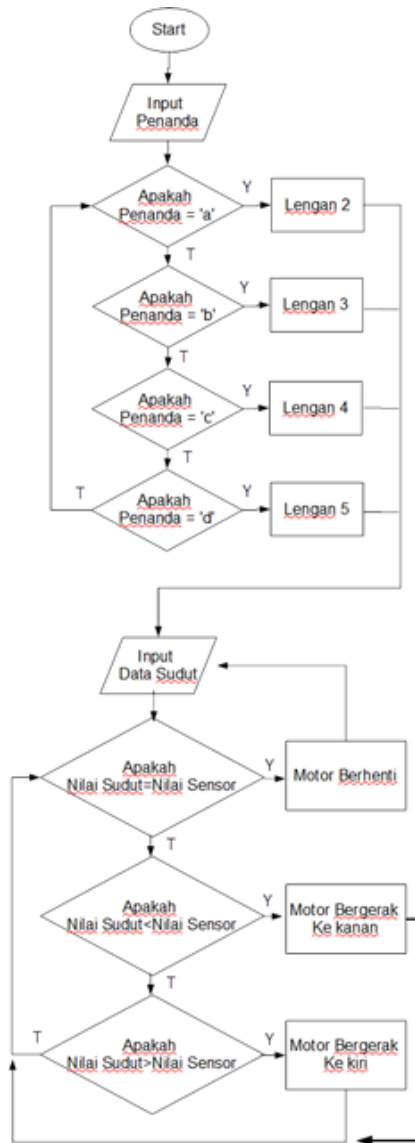
Membangun sebuah sistem pengendali jarak jauh dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak. Gambar 1 menunjukkan tentang gambaran sistem pengendali jarak jauh robot yang telah dikembangkan.



Gambar 1 Blok diagram sistem

Sistem ini terdiri atas sebuah software client pada PC software interface yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman *processing*, sebuah robot lengan OWI 535 Arm edge, sebuah papan Raspberry Pi, sebuah papan DFRduino Duemilanove, dan sebuah websocket server python. Cara kerja dari sistem ini adalah, pengguna mengirimkan data kendali robot

menggunakan PC software interface melalui internet, kemudian data tersebut diterima oleh Raspberry Pi sebagai web server dan dikirim lagi ke modul DFRduino Duemilanove 328 untuk dijadikan nilai referensi sudut gerakan robot lengan OWI 535 Arm edge. Komunikasi antara Raspberry Pi dan DFRduino Duemilanove 328 melalui port serial. Selanjutnya modul DFRduino Duemilanove 328 memberikan sinyal kendali ke SainSmart 8 Channel DC 5V Relay Module untuk menggerakkan lengan robot Edge Owi Arm 535 hingga nilai sinyal umpan balik dari sensor posisi potensiometer sama dengan nilai referensi yang telah disimpan pada modul DFRduino Duemilanove 328. Terdapat empat buah data kendali yang dikirim dari PC client ke server yaitu data kendali dengan penanda karakter 'a' untuk menggerakkan lengan 2, data kendali dengan penanda karakter 'b' untuk menggerakkan lengan 3, data kendali dengan penanda karakter 'c' untuk menggerakkan lengan 4, dan data kendali dengan penanda karakter 'd' untuk menggerakkan lengan 5. Diagram alir dari algoritma pemrograman DFRduino Duemilanove 328 diatas dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 diagram alir dari algoritma pemrograman

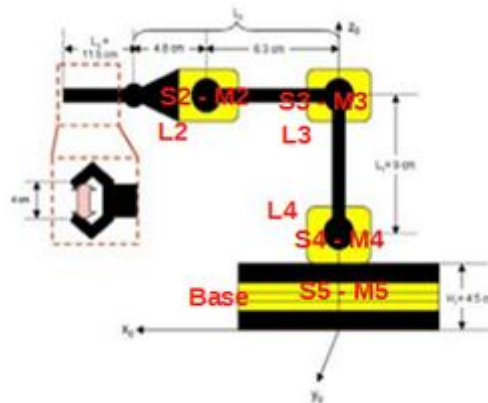
3 Penjelasan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak pada Sistem

Semua perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam sistem ini akan dijelaskan sebagai berikut.

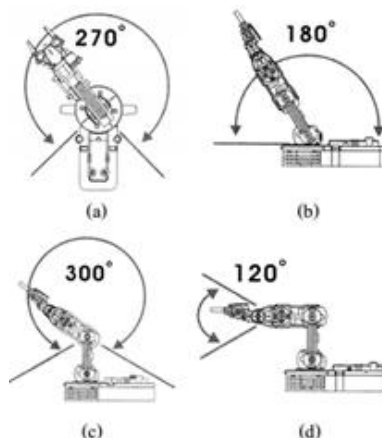
3.1 OWI 535 Robotic Arm Edge

OWI 535 Robotic Arm Edge adalah sebuah robot kit yang diproduksi oleh perusahaan OWI Robot difungsikan untuk media pembelajaran di laboratorium atau di sekolah-sekolah. Struktur bangun lengan OWI 535 Robotic Arm Edge terdiri dari 4 sendi yang

menghubungkan tiga lengan dan sebuah end effector. Panjang antara setiap sendi adalah seperti ditunjukkan Gambar 3 sedang Gambar 4 menunjukkan batas kemampuan rotasi sudut 4 sendi, yang menentukan daerah kerja yang bisa dijangkau oleh OWI 535 Robotic Arm Edge. Robot ini memiliki berat 658 g, dimensi PxLxT : 9x 6.3x15 inch, dapat dikendalikan dengan remote control manual, dan membutuhkan tegangan 3VDC untuk menggerakkan motor dc pada masing-masing lengannya.



Gambar 3 struktur robot edge owi arm 535 [7]



Gambar 4 batas ruang kerja angular joint 1 (a), joint 2 (b), joint 3 (c), joint 4 (d) [8]

3.2 Perangkat keras

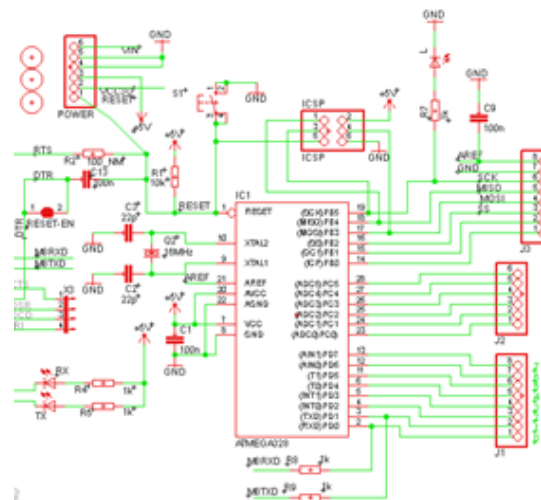
Bagian perangkat keras terdiri dari Papan Pengendali Utama, Sistem Umpan Balik dan sebuah Papan Driver Motor yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.2.1 Papan DFRDuino Duemilanove

Mikrokontroler banyak digunakan dalam banyak aplikasi sistem kontrol karena memiliki kelebihan seperti fleksibilitas, kemudahan penggunaan, biaya dan ukuran. Mikrocontroller dapat diprogram ulang sehingga membuatnya lebih fleksibel. Mikrokontroler juga kecil

dalam ukuran dan membutuhkan biaya yang efisien dibanding teknologi pengontrol lainnya [9].

Dalam makalah ini DFRduino Duemilanove 328 sebagai papan pengendali utama robot difungsikan untuk mengukur nilai tegangan analog 4 sensor potensiometer menggunakan 4 pin ADC (Analog To Digital) A0-A3 dengan resolusi 10 bit, kemudian mengirim sinyal kendali ke Papan Driver Motor DC untuk mengendalikan gerakan robot Owi Edge Arm 535. DFRduino Duemilanove adalah papan mikrokontroler padanan dari papan mikrokontroler Arduino. Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang berbasis Atmega328 yang memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog to digital, osilator kristal 16 MHz, USB koneksi, power jack, header ICSP [10]. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan skematik dan bentuk fisik papan DFRduino.



Gambar 5 Schematic Minimum System DFRduino Duemilanove 328



Gambar 6 Modul DFRduino Duemilanove 328

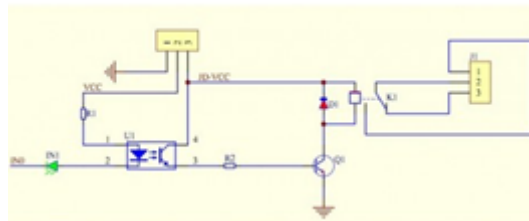
3.2.2 Papan driver motor

Papan Driver Motor mengendalikan arah dan kondisi on/off motor dc, ini membuat robot Owi Edge Arm 535 bergerak atau diam. Papan Driver Motor SainSmart 8 Channel DC 5V Relay Module adalah 5V 8-Channel Relay papan antarmuka, Mampu mengendalikan berbagai peralatan, dan peralatan lain dengan arus yang besar. Ini mempunyai fitur 5V 8-Channel Relay papan antarmuka, dan masing-masing membutuhkan arus 15-20mA, Dilengkapi dengan relay arus tinggi AC250V 10A; DC30V 10A, Standar antarmuka yang dapat dikendalikan langsung oleh mikrokontroler, Indikator LED status keluaran Relay [11]. Untuk mengendalikan 5 SainSmart 8 Channel DC 5V Relay Module digunakan pin 6 - 13

dari board DFRduino Duemilanove 328 dengan susunan adalah: pin 6 => Relay 1, pin 7 => Relay 2, pin 8 => Relay 3, pin 9 => Relay 4, pin 10 => Relay 5, pin 11 => Relay 6, pin 12 => Relay 7, pin 13 => Relay 8. Susunan pengendalian motor dc dengan relay pada Owi Edge Arm 535 adalah : Relay 1-2 => motor 2 (M2), Relay 3-4 => motor 3 (M3), Relay 5-6 => motor 4 (M4), Relay 7-8 => motor 5 (M5). Posisi pemasangan motor pada robot Owi Edge Arm 535 adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Motor 2 untuk lengan L2, motor 3 untuk lengan L3, motor 4 untuk lengan L4 untuk menggerakkan lengan secara vertikal, sedangkan motor 5 digunakan untuk menggerakkan base robot secara horisontal. Gambar 7 dan 8 menunjukkan bentuk fisik dari Relay module dan skematiknya.



Gambar 7 SainSmart 8 Channel DC 5V Relay Module



Gambar 8 Skematik SainSmart 8 Channel DC 5V Relay Module

3.2.3 Sensor umpan balik

4 Sensor Potensiometer Linear (S2 - S5) dipasang pada sendi lengan robot Owi Edge Arm 535 sebagai sensor umpan balik sudut gerakan lengan robot. Sensor ini memiliki spesifikasi: 10Kohm $\pm$ 20%, Sudut Putar 300° $\pm$ 10° [12]. Pada gambar 1 ditunjukkan posisi pemasangan sensor potensiometer pada sendi-sendi robot Owi Edge Arm 535. Sensor 2 - sensor 4 digunakan untuk mengukur gerakan sudut elevasi pada lengan 2 - lengan 4, sedangkan sensor 5 digunakan untuk mengukur sudut azimuth pada gerakan base robot, untuk lebih jelasnya pada Gambar 3.

3.2.4 Raspberry Pi

Raspberry Pi adalah sebuah papan komputer yang berukuran sebesar kartu kredit. Dalam penelitian ini digunakan papan Raspberry Pi tipe B dengan sistem operasi Linux Raspbian di dalamnya. Papan Raspberry Pi tipe B mempunyai fitur 512Mb RAM, 2 USB ports, Analog Audio output port, dan sebuah 100mb Ethernet port. Papan ini mempunyai Broadcom BCM2835 system on a chip dimana di dalamnya terdapat ARM1176JZF-S 700 MHz processor. HAI ini mendukung beberapa sistem operasi termasuk distro berbasis linux Debian, Raspbian yang digunakan dalam penelitian ini [13]. Dalam papan Raspberry Pi ini telah terinstall *Tornado* yaitu library websocket server pada python dimana dengan ini nantinya yang akan menangani setiap permintaan dari client. Gambar 9 menunjukkan bentuk fisik dari papan Raspberry Pi.



Gambar 9 papan Raspberry Pi tipe B

3.3 Perangkat Lunak

Bagian perangkat lunak terdiri PC Software interface dan Websocket server yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.3.1 PC Software Interface

PC software interface sebagai sebuah graphical user interface (GUI) untuk mengontrol dan memonitoring robot Owi Arm Edge 535 melalui PC. Bahasa pemrograman Processing digunakan untuk pengembangan GUI ini. Processing adalah sebuah bahasa pemrograman open source dan pengembangan lingkungan terintegrasi (IDE) yang dibangun untuk seni elektronik, seni media baru, dan komunitas desain visual dengan tujuan pengajaran dasar-dasar pemrograman komputer dalam konteks visual, dan melayani sebagai dasar sketsa elektronik. Satu paket data kendali dikirim dengan GUI ini melalui Websocket server Raspberry Pi kemudian data ini diteruskan ke modul DFRduino Duemilanove 328 melalui serial port untuk menggerakkan robot Owi Arm Edge 535. Paket data kendali mempunyai format bilangan bulat sebagai besaran sudut didepan dan diakhiri oleh sebuah abjad sebagai penanda lengan yang akan digerakkan. Abjad yang digunakan sebagai penanda adalah 'a' untuk lengan L2, 'b' untuk lengan L3, 'c' untuk lengan L4, dan 'd' untuk Base robot. Format data kendali dapat ditunjukkan seperti berikut:

Contoh:

- Data "45b" = menggerakkan lengan L3 sampai sensor posisi sama dengan nilai 45
- Data "70a" = menggerakkan lengan L2 sampai sensor posisi sama dengan nilai 70

Data => n Byte Data Sudut (bilangan bulat)

Penanda => Penanda Motor yang bergerak (menggunakan abjad 'a', 'b', 'c', 'd')

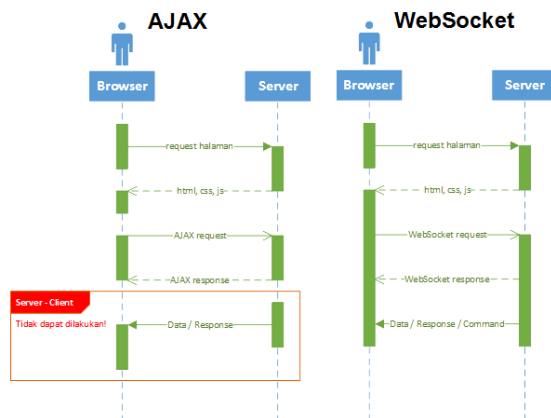


Gambar 10 PC Software Interface

User interface terdiri dari 5 buah tombol slider untuk mengatur gerakan lengan robot Edge Owi Arm 535. Gambar 10 menunjukkan tampilan dari PC software interface.

3.3.2 Websocket server

WebSocket adalah standar baru untuk komunikasi realtime pada Web dan aplikasi mobile. WebSocket dirancang untuk diterapkan di browser web dan server web, tetapi dapat digunakan oleh aplikasi *client* atau *server*. WebSocket adalah protokol yang menyediakan saluran komunikasi full-duplex melalui koneksi TCP tunggal. Protokol WebSocket sudah di standarisasi oleh IETF sebagai RFC 6455 pada tahun 2011, dan API WebSocket di Web IDL sedang distandarisasi oleh W3C. Pada server, WebSocket sudah support di Ruby, Java, Objective-C, PHP, .NET, Node.js, ActionScript dan banyak bahasa lainnya [14]. Bila dibandingkan dengan teknologi sebelumnya yakni AJAX, jika pada AJAX kita hanya dapat melakukan komunikasi satu arah dengan mengirimkan *request* kepada server dan menunggu balasnya, maka menggunakan WebSocket kita tidak hanya dapat mengirimkan *request* kepada server, tetapi juga menerima data dari server tanpa harus mengirimkan *request* terlebih dahulu. Hal ini berarti ketika menggunakan WebSocket pengguna harus terus menerus terkoneksi dengan server, dan kita memerlukan sebuah server khusus untuk dapat menjalankan aplikasi WebSocket dengan benar. Sederhananya, perhatikan Gambar 11 berikut:



Gambar 11 Perbedaan antara AJAX dan Websocket

Dari gambar di atas, kita dapat melihat bagaimana dalam kasus AJAX, setiap request dari pengguna maupun respon dari server dilakukan secara terpisah. Jika ingin mengirimkan request ke server, kita perlu membuka koneksi baru yang kemudian akan dibalas oleh server seperti ia membalas permintaan halaman HTML biasa. Server juga tidak dapat langsung melakukan pengiriman data ke klien tanpa ada permintaan terlebih dahulu. Hal ini berbeda dengan pola komunikasi WebSocket, di mana koneksi berjalan tanpa terputus dan server dapat mengirimkan data atau perintah tanpa harus ada permintaan dari pengguna terlebih dahulu. Dengan begitu, WebSocket bahkan juga memungkinkan server mengirimkan data atau perintah ke semua klien yang terkoneksi, misalkan untuk memberikan notifikasi global. Pada penelitian ini Websocket server digunakan untuk menangani setiap perintah dari client untuk menggerakkan robot lengan Owi Arm Edge 535.

4 Hasil Pengujian dan Diskusi

Untuk memastikan bahwa sistem yang dibangun telah berfungsi seperti yang diharapkan, maka dilakukan 2 pengujian yakni: 1. Pengujian komunikasi data antara Raspberry Pi dan DFRduino Duemilanove, 2. Pengujian keakurasian gerak robot OWI Edge Arm 535, 3. Pengujian komunikasi data antara PC client dan server Raspberry Pi.

4.1 Pengujian Komunikasi Data

Pengujian ini terdiri dari pengujian kecepatan komunikasi data, dan pengujian kebenaran data kontrol yang dikirim. Pengujian kecepatan komunikasi data dilakukan dengan cara mengirimkan data kendali dari Raspberry Pi ke board DFRduino Duemilanove kemudian kecepatan kirim ini diukur dengan menggunakan fitur Timer pada board DFRduino Duemilanove. Pengujian kebenaran data kontrol dilakukan dengan membandingkan data yang sudah diterima board DFRduino Duemilanove dengan data acuan di PC. Dibawah ini adalah hasil pengujian kecepatan komunikasi data dan pengujian kebenaran/validasi data antara Raspberry Pi dan board DFRduino Duemilanove menggunakan jenis komunikasi serial dengan baudrate 9600 bps dapat ditunjukkan pada tabel 1 sampai tabel 4.

Tabel 1 komunikasi data gerakan lengan L2

No	Data Kirim	Data Terima	Keabsahan (%)	Kecepatan Data (us)
1	705a	705a	100	156
2	620a	620a	100	160
3	500a	500a	100	160
4	410a	410a	100	160
5	295a	295a	100	164

Tabel 2 komunikasi data gerakan lengan L3

No	Data Kirim	Data Terima	Keabsahan (%)	Kecepatan Data us)
1	150b	150b	100	160
2	270b	270b	100	156
3	390b	390b	100	164
4	545b	545b	100	160
5	670b	670b	100	160

Tabel 3 komunikasi data gerakan lengan L4

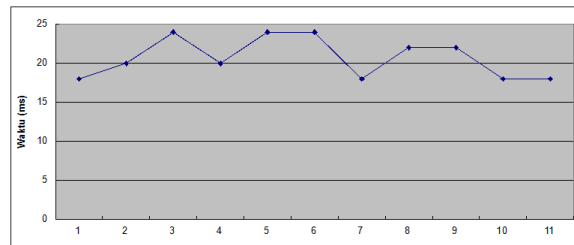
No	Data Kirim	Data Terima	Keabsahan (%)	Kecepatan Data us)
1	590c	590c	100	156
2	670c	670c	100	156
3	760c	760c	100	168
4	850c	850c	100	156
5	945c	945c	100	164

Tabel 4 komunikasi data gerakan base robot

No	Data Kirim	Data Terima	Keabsahan (%)	Kecepatan Data (us)
1	760d	760d	100	164
2	710d	710d	100	160
3	630d	630d	100	160
4	547d	547d	100	156
5	400d	400d	100	164

Dari data pada tabel 1 sampai tabel 4 diatas dapat diketahui bahwa transmisi data antara PC dan DFRduino Duemilanove berlangsung baik dan tidak ada error pada proses pengiriman data, kemudian untuk proses pengiriman data berupa 4 digit karakter membutuhkan waktu antara 156 - 164 microsecond.

Dibawah ini adalah hasil pengujian kecepatan komunikasi data antara PC client dan server dapat ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Kecepatan data PC client - server

4.2 Pengujian Akurasi Gerak Lengan

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengirim data input kontrol ke board DFRduino Duemilanove untuk menggerakkan robot Edge Owi Arm 535 kemudian membandingkan data input kontrol tersebut dengan data umpan balik dari sensor potensiometer ketika robot berhenti bergerak. Setiap perubahan gerakan lengan robot Edge Owi Arm 535 diukur dengan menggunakan penggaris busur.

Tabel 5 data akurasi gerak L2

No	Sudut (°)	Data Input	Data Umpan Balik	Nilai Selisih
1	106	620b	619b	1
2	96	570b	573b	3
3	86	520b	519b	1
4	76	470b	471b	1
5	66	420b	420b	0

Tabel 6 data akurasi gerak L3

No	Sudut (°)	Data Input	Data Umpan Balik	Nilai Selisih
1	85	160c	160c	0
2	90	130c	128c	2
3	95	100c	100c	0
4	100	70c	71c	1
5	105	40c	39c	1

Tabel 7 data akurasi gerak L4

No	Sudut (°)	Data Input	Data Umpan Balik	Nilai Selisih
1	117	480d	479d	1
2	107	520d	522d	2
3	97	560d	560d	0
4	87	600d	600d	0
5	77	640d	640d	0

Tabel 8 data akurasi gerak M5

No	Sudut (°)	Data Input	Data Umpan Balik	Nilai selisih
1	110	600a	600a	0
2	100	550a	552a	2
3	90	500a	501a	1
4	80	450a	450a	0
5	70	400a	399a	1

Dari data pada tabel 5 - 8 diketahui bahwa melalui pengukuran data input dan data umpan balik sensor potensiometer didapatkan hasil yang cukup akurat dengan toleransi keakurasian sudut kurang dari 1 derajat. Toleransi sudut 1 derajat diperoleh dari persamaan :

Toleransi Sudut 1 derajat = Nilai Resolusi ADC 10 bit / Resolusi Sudut Putar Maksimal Potensiometer

$$= 1024 / 300^{\circ} = 3.4$$

Jadi nilai desimal untuk pergerakan robot 1 derajat, adalah 3.4 .

Nilai Selisih = Absolut (Data Umpan Balik - Data Input)

Dari Tabel 5-8 pada pengujian gerak lengan didapat bahwa Nilai Selisih dari Data Umpan Balik dan Data Input kurang dari 3.4, artinya ketidakakurasian gerakan robot kurang dari 1 derajat.

Pada pengujian komunikasi data antara PC client – server dibutuhkan waktu rata-rata 22.8ms.

Untuk meningkatkan keakurasian pada gerakan robot owi arm edge 535 perlu ditambahkan rangkaian jembatan wheatstone untuk meningkatkan linearitas sensor posisi potensiometer. Kemudian untuk menambah keakurasian untuk membaca data sensor posisi perlu digunakan ADC dengan resolusi yang lebih tinggi.

5 Kesimpulan

Pada penelitian ini sistem yang dibangun berjalan sesuai dengan harapan, yakni komunikasi antara PC client dan Websocket server pada papan Raspberry Pi berjalan baik tanpa error dengan waktu pengiriman rata-rata 22.8ms. Kemudian pengendalian gerak

robot OWI 535 Arm Edge bisa dilakukan dengan dengan waktu pengiriman data antara Raspberry Pi dengan papan DFRduino adalah 156 - 164 microsecond untuk 4 digit karakter dan dengan 0% error. Penambahan sensor potensiometer linear sebagai umpan balik pada tiap sendi robot OWI 535 Arm Edge bisa meningkatkan keakurasian gerak robot OWI Arm Edge 535 dengan toleransi keakurasian kurang dari 1 derajat.

6 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Puslit Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI atas fasilitasnya sehingga terselesainya makalah ini.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dwi Putra Silitonga, mahasiswa bimbingan kerja praktek dari STMIK-AMIK Bandung atas bantuannya dalam penyelesaian proyek ini.

7 Daftar Pustaka

- [1] J. A. Corrales, "Cooperative Tasks between Humans and Robots in Industrial Environments", International Journal of Advanced Robotic Systems, 2012.
- [2] Jian Ye Zhang, "Pose Accuracy Analysis of Robot Manipulators Based on Kinematics", Advanced Materials Research(201-203), 2011.
- [3] Nur Maisurah Hassan Basri, "RS-485 Interface for Boiler Header Inspection Robot Prototype", Procedia Engineering vol 41 1490 – 1496, 2012.
- [4] Hung-Lin Chi, "Development of user interface for tele-operated cranes", Advanced Engineering Informatics vol26 641–652, 2012.
- [5] Gonca Ersahin, "Wireless Mobile Robot Control With Tabelt Computer", Procedia - Social and Behavioral Sciences vol 195 2874 – 2882, 2015.
- [6] Somia Sahraoui, "Efficient HIP-based approach to ensure lightweight end-to-end security in the internet of things", Computer Networks 91 26–45, 2015.
- [7] Pradya Prempraneerach, "Implementation of Resolved Motion Rate Controller with 5-Axis Robot Manipulator Arm", The First TSME International Conference on Mechanical Engineering, 2010.
- [8] OWI, Robotic Arm Edge, Instruction Manual.
- [9] Qasem Abu Al-Haija, Mashhoor Al Tarayrah, Hasan Al-Qadeeb, Abdulmohsen Al-Lwaimi, "A Tiny RSA Cryptosystem Based On Arduino Microcontroller Useful For Small Scale Networks",
- [10] A. D'Ausilio, "Arduino: a low-cost multipurpose lab equipment", Behav. Res. Methods 44 (2012) 305. International Symposium on Emerging Inter-networks, Communication and Mobility, 2014.
- [11] SainSmart 8 Channel DC 5V Relay Module manual. SainSmart website, 25 August 2014.[Online]. Available: <http://www.sainsmart.com/8-channel-dc-5v-relay-module-for-arduino-pic-arm-dsp-avr-msp430-ttl-logic.html>.
- [12] Potentiometer Linear, Sparkfun website, 26 August 2014.[Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/9939>.
- [13] Sheikh Ferdoush, Xinrong Li, "Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications", Procedia Computer Science 34, 103 – 110, 2014.
- [14] Websocket server, Jurnalweb website, 25 November 2015. [Online]. Available: <http://www.jurnalweb.com/sekilas-tentang-websocket/>