

KENDALI LENGAN ROBOT NIRKABEL BERBASIS FPGA

FPGA-BASED WIRELESS ARM ROBOT CONTROLLER

Made Arya Nengga Udayana¹, Denny Darlis², Rizki Ardianto Priramadhi³

^{1,3}S1 Teknik Elektro, Universitas Telkom

²D3 Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom

¹aryanengga@gmail.com, ²denny.darlis@tass.telkomuniversity.ac.id, ³rizkia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dewasa ini, penggunaan lengan robot dalam dunia industri telah berkembang pesat. Lengan robot merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk menggantikan tugas manusia dalam dunia industri. Umumnya, digunakan sebuah sistem kendali tertentu untuk meningkatkan tingkat keakuratan dan efektifitas kerja lengan robot dalam pengaplikasiannya. Dalam penelitian ini, dirancang sebuah sistem kendali lengan robot menggunakan antarmuka pengguna yang digunakan untuk mengendalikan motor servo AX-12+. Perancangan dilakukan untuk purwarupa lengan robot, yang diintegrasikan antara antarmuka pengguna, FPGA-Virtex4, modul Bluetooth, dan motor servo AX-12+. Dari hasil pengujian komunikasi antara antarmuka pengguna, FPGA, dan motor servo AX-12+, lengan robot dapat bergerak dengan dua derajat kebebasan, yaitu pergerakan atas/bawah dan kiri/kanan, sistem ini dapat bergerak dengan keberhasilan mencapai 91,07% pada jarak optimum 1 m hingga 5 m. Sedangkan untuk utilisasi dari FPGA, sistem ini menggunakan blok logika kurang dari 5%, sehingga sistem ini dapat ditambahkan dengan blok lainnya untuk fungsi yang lebih spesifik.

Kata kunci : fpga, nirkabel, Bluetooth, motor servo ax-12+, lengan robot

Abstract

Today, the use of robotic arms in the industrial world has grown rapidly. Robot arms are electronic devices that are used to replace human tasks in the industrial world. Generally, a certain control system is used to increase the level of accuracy and effectiveness of the robot arm's work in its application.

In this study, a robot arm control system was designed using the user interface used to control AX-12 + servo motors. The design was carried out for the prototype robot arm, which was integrated between the user interface, FPGA-Virtex4, Bluetooth module, and AX-12 + servo motor.

Based on test results, communication between the user interface, FPGA, and AX-12 + servo motor, the robot arm can move with two degrees of freedom, those are up / down and left / right movement, it can move with 91.07% accuracies. As for the utilization of FPGA, this system uses logic blocks of less than 5%, so that this system can be added to other blocks for more specific functions.

Keywords: fpga, wireless, Bluetooth, ax-12+ servo motor, arm robot.

1. PENDAHULUAN

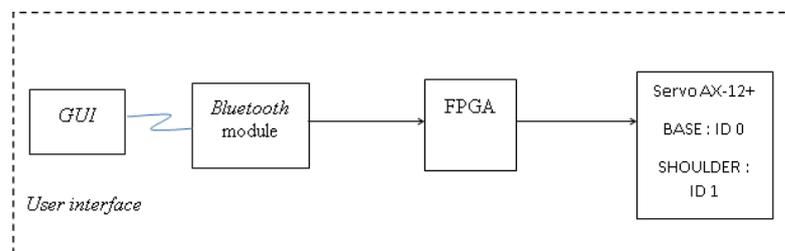
Dewasa ini, penggunaan lengan robot dalam dunia industri telah berkembang pesat. Lengan robot merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk menggantikan tugas manusia dalam dunia industri. Salah satunya, untuk menggantikan tugas manusia saat memindahkan suatu barang dari satu titik koordinat ke titik koordinat lainnya, atau dari satu posisi ke posisi lainnya, khususnya barang-barang yang berbahaya untuk manusia. Secara umum sebuah sistem kendali tertentu digunakan untuk meningkatkan tingkat keakuratan dan efektifitas lengan robot dalam pengaplikasiannya [1][2].

Sistem kendali lengan robot dapat diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ataupun sistem digital lainnya[3]–[5]. Penggunaan *Field Programmable Gate Array* (FPGA) sebagai pengendali terbenam dalam sistem kendali lengan robot baru beberapa sistem yang pernah dilakukan [6], [7]. Meski demikian, Maxfield mengatakan bahwa FPGA memiliki kemampuan yang lebih dari cukup untuk mengimplementasikan *soft processor core* seperti *embedded microcontroller* yang dapat dipadukan dengan berbagi I/O dengan fungsi yang sangat luas [8]. Bahkan kecepatan *embedded system* yang menggunakan FPGA lebih cepat dibandingkan dengan mikrokontroler. Hal ini dibuktikan dari penelitian Haskell dan Hanna pada tahun 2004 [9]. Selain itu juga kelebihan lain yang dimiliki FPGA adalah perancang bebas menentukan I/O apa saja yang perlu diimplementasikan dalam sistem, sehingga dapat disimpulkan FPGA memiliki fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan mikrokontroler.

Dalam penelitian-penelitian yang telah dilakukan, sistem kendali lengan robot berbasis FPGA masih dibatasi oleh penggunaan kabel sehingga mengurangi efektifitas lengan robot tersebut [4]–[7]. Dalam penelitian ini, telah dirancang sebuah sistem kendali bersifat nirkabel yang menggunakan *user interface* sebagai pemberi instruksi lengan robot, modul Bluetooth sebagai jalur komunikasi antara *user interface* dengan FPGA dengan chip Virtex-4, FPGA Virtex-4 sebagai pengolah data, dan motor servo AX-12+ sebagai penggerak lengan robot[10]. Perancangan program VHDL akan menggunakan perangkat lunak pendukung, yaitu Xilinx ISE 14.1[11].

2. PERANCANGAN SISTEM

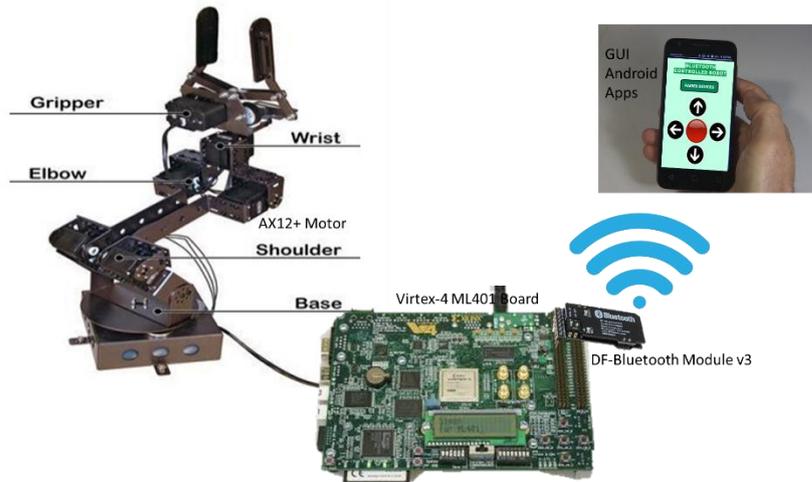
Dalam penelitian ini, dirancang sistem pengendali lengan robot secara nirkabel. Motor servo AX-12+ menjadi aktuator dalam sistem ini, FPGA Virtex-4 sebagai pengolah data, *Graphical User Interface* sebagai pemberi instruksi ke dalam sistem, dan modul Bluetooth sebagai penerima instruksi dari GUI yang dipasang pada telepon pintar bersistem operasi Android untuk diteruskan ke FPGA [10]. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1 :



Gambar 1 Diagram blok sistem yang dirancang

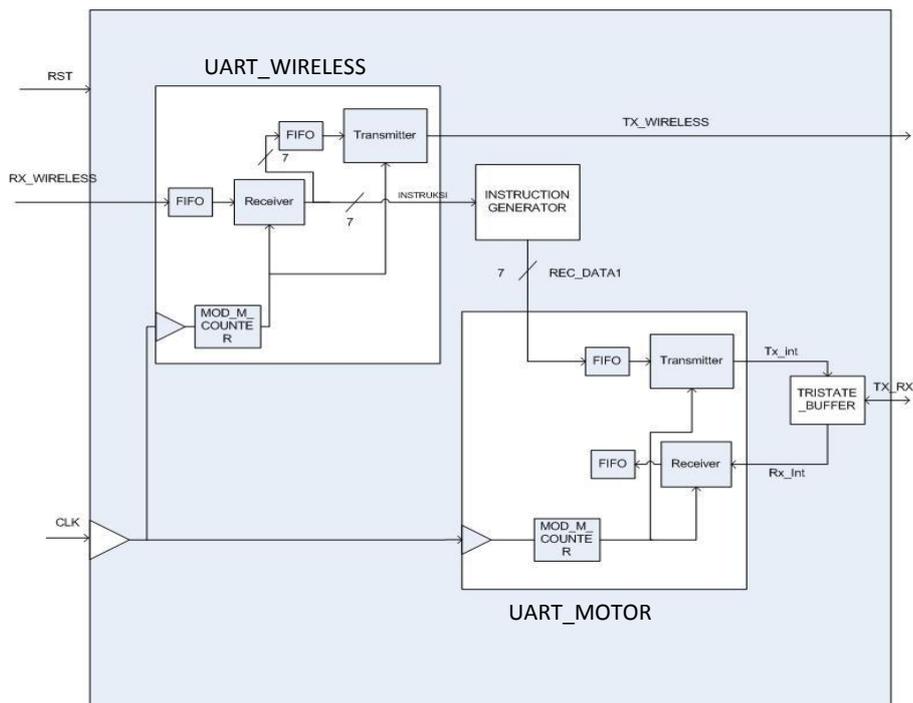
User Interface digunakan untuk mengirimkan sebuah instruksi dari tombol berbentuk tanda panah ke atas, bawah, kiri dan kanan yang diterjemahkan menjadi kode ASCII menggunakan aplikasi Bluetooth pada telepon pintar bersistem operasi Android yang selanjutnya akan diterima oleh modul Bluetooth yang telah terhubung melalui pin IO di papan FPGA. Kemudian, sinyal yang diterima akan diterjemahkan menjadi data biner dengan format komunikasi serial sehingga dapat diproses menjadi sebuah instruksi yang dapat dibaca oleh motor servo AX-12+. Pada sistem ini instruksi yang dikirimkan akan mengendalikan 2 buah motor servo AX-12+ yang ada pada lengan robot yaitu *base* motor dengan ID 0 dan *shoulder* motor dengan ID 1.

Untuk perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Motor Servo AX-12+, modul Bluetooth, dan Board FPGA ML401 Virtex-4 XC4VLX25 produksi Xilinx seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Implementasi sistem pengendali lengan robot nirkabel

Pada penelitian ini, juga dirancang beberapa blok piranti keras digital menggunakan bahasa *Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language* (VHDL) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Blok-blok ini berfungsi untuk membangun sebuah sistem kendali lengan robot secara nirkabel berbasis FPGA.



Gambar 3 Blok sistem digital yang dirancang dan disimulasikan

Berikut merupakan beberapa blok penting yang digunakan untuk membangun sistem ini :

1. Perancangan Blok UART_MOTOR

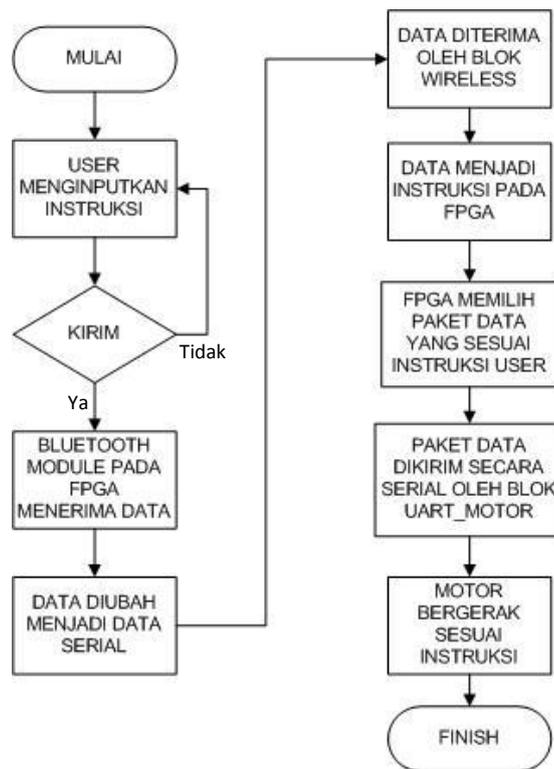
Blok ini berfungsi untuk melakukan komunikasi antara lengan robot dengan FPGA. Paket data yang berasal dari blok MOTOR_PROTOCOL akan dikeluarkan secara serial dari blok ini, blok ini

mentransmisikan data dengan kecepatan 62500 bps. Protokol UART yang digunakan dalam blok ini adalah 8 bit data, 1 stop bit dan tanpa menggunakan bit parity

2. Perancangan Blok UART_WIRELESS

Blok ini berfungsi untuk melakukan komunikasi antara GUI dengan FPGA secara wireless. Protokol yang digunakan pada blok ini adalah protokol serial uart. Blok ini mentransmisikan paket data dengan kecepatan 9600 Bps. Komponen yang ada di dalam blok UART Wireless tidak terlalu berbeda dengan komponen-komponen yang ada pada blok UART_MOTOR.

Diagram alir dari sistem kendali lengan robot nirkabel ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir sistem

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Pengujian dan analisis yang pertama dilakukan pada hasil simulasi blok *top module* Motor_Controller. Di dalam blok ini hampir segala jenis proses penting sistem dilakukan. Dalam *top module* motor_controller, blok UART_MOTOR diubah menjadi *half duplex* UART. Blok ini juga berfungsi untuk mengubah karakter yang dikirim dari user supaya menjadi paket data untuk diteruskan ke lengan robot, dan menghubungkan antara UART_WIRELESS dengan UART_MOTOR supaya bekerja sesuai dengan keinginan pengguna. Blok ini menerima karakter ASCII dari UART_WIRELESS dan mengubahnya menjadi paket data yang sesuai.

Tabel 1 dan 2 menunjukkan perintah berupa karakter ASCII yang dikirimkan dari GUI ke modul Bluetooth dan diteruskan ke FPGA untuk menggerakkan lengan robot. Dari hasil simulasi, ketika FPGA menerima karakter ASCII 'a' (0x61) maka paket data FPGA yang dikirim adalah 0XFF, 0XFF, 0X00, 0X07, 0X03, 0X01, 0X00, 0X00, 0X00, 0X02, 0XD5, Paket data ini memiliki tujuan untuk menggerakkan motor dengan ID 0 ke sudut 0° dengan kecepatan 57 rpm.

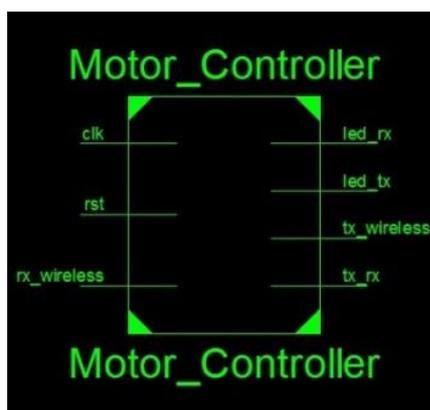
Tabel 1 Jenis instruksi dan paket data yang dikirim untuk motor ID : 0

Karakter ASCII	Target Sudut (°)	Paket data yang dikirim
a	0	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x00 0x00 0x00 0x02 0xD5
S	15	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x33 0x00 0x00 0x02 0xA2
d	30	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x66 0x00 0x00 0x02 0x6F
f	45	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x99 0x00 0x00 0x02 0x3C
G	60	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0xCC 0x00 0x00 0x02 0x09
h	75	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x00 0x01 0x00 0x02 0xD4
j	90	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x33 0x01 0x00 0x02 0xA1
k	105	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x66 0x01 0x00 0x02 0x6E
l	120	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x99 0x01 0x00 0x02 0x3B
z	135	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0xCC 0x01 0x00 0x02 0x08
x	150	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0xFF 0x01 0x00 0x02 0xD5
c	165	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x33 0x02 0x00 0x02 0xA0
A	180	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x66 0x02 0x00 0x02 0x6D
F	225	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0xFF 0x02 0x00 0x02 0xD4
G	240	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x33 0x03 0x00 0x02 0x9F
H	255	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x66 0x03 0x00 0x02 0x6C
J	270	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0x99 0x03 0x00 0x02 0x39
K	285	0xFF 0xFF 0x00 0x07 0x03 0x1E 0xCC 0x03 0x00 0x02 0x06

Tabel 2 Jenis instruksi dan paket data yang dikirim untuk motor ID : 1

Karakter ASCII	Target Sudut (°)	Paket data yang dikirim
q	0	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x00 0x00 0x00 0x02 0xD4
w	15	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x33 0x00 0x00 0x02 0xA1
e	30	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x66 0x00 0x00 0x02 0x6E
r	45	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x99 0x00 0x00 0x02 0x3B
t	60	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0xCC 0x00 0x00 0x02 0x08
y	75	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x00 0x01 0x00 0x02 0xD3
u	90	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x33 0x01 0x00 0x02 0xA0
i	105	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x66 0x01 0x00 0x02 0x6D
o	120	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x99 0x01 0x00 0x02 0x3A
p	135	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0xCC 0x01 0x00 0x02 0x07
Q	150	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0xFF 0x01 0x00 0x02 0xD4
W	165	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x33 0x02 0x00 0x02 0x9F
E	180	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x66 0x02 0x00 0x02 0x6C
Y	225	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0xFF 0x02 0x00 0x02 0xD3
U	240	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x33 0x03 0x00 0x02 0x9E
I	255	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x66 0x03 0x00 0x02 0x6B
O	270	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0x99 0x03 0x00 0x02 0x38
P	285	0xFF 0xFF 0x01 0x07 0x03 0x1E 0xCC 0x03 0x00 0x02 0x05

Pengujian dan analisis yang kedua dilakukan pada saat proses implementasi sistem ke dalam FPGA. Proses implementasi sistem ke FPGA diawali dengan proses sintesis. Proses sintesis adalah proses pengolahan bahasa HDL menjadi file yang dapat diunggah ke dalam FPGA. Pada program Xilinx ISE, proses sintesis ini akan menghasilkan file .bit . Dari hasil sintesis didapatkan rangkaian skema *Register Transfer Level* dari sistem. Rangkaian ini menunjukkan blok komponen apa saja yang membangun sistem kendali lengan robot ini. Berikut adalah tampilan *RTL Schematic* dari Sistem Kendali Lengan Robot secara nirkabel berbasis FPGA :



Gambar 4 RTL Schematic rangkaian

Dari hasil sintesis tersebut telah didapatkan sebuah blok sistem yang memiliki tiga input dan 4 buah output, hasil ini merupakan hasil yang sesuai dengan desain awal sistem ini.

Berikut merupakan *resource* yang digunakan dalam implementasi sistem yang dirancang pada penelitian ini.

Tabel 3 Penggunaan *resource* pada FPGA

Device Utilization Summary				
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	Note(s)
Number of Slice Flip Flops	683	21,504	3%	
Number of 4 input LUTs	995	21,504	4%	
Number of occupied Slices	784	10,752	7%	
Number of Slices containing only related logic	784	784	100%	
Number of Slices containing unrelated logic	0	784	0%	
Total Number of 4 input LUTs	1,011	21,504	4%	
Number used as logic	995			
Number used as a route-thru	16			
Number of bonded IOBs	7	448	1%	
Number of BUFG/BUFGCTRLs	1	32	3%	
Number used as BUFs	1			
Average Fanout of Non-Clock Nets	3.77			

Dari tabel 3, diketahui bahwa *resource* yang digunakan dalam implementasi sistem ini kurang dari 5% dari keseluruhan *Configurable Logic Blocks* yang ada di FPGA. Dengan mengetahui jumlah ini, dapat dikatakan sistem ini memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi lebih luas dalam penelitian berikutnya.

Pada pengujian berikutnya dilakukan integrasi antara FPGA, modul Bluetooth, GUI, dan Lengan Robot. Dari hasil pengujian, didapati bahwa sistem tidak dapat berjalan. Oleh karena itu pengujian dilakukan dengan cara memisahkan antara blok FPGA ke lengan robot dengan blok FPGA dan modul Bluetooth ke GUI.

1. Pengujian Integrasi FPGA dan Lengan Robot

Untuk pengujian komunikasi dari FPGA ke lengan robot dilakukan dengan cara memberi masukan instruksi menggunakan DIP-Switch yang terdapat pada board FPGA. Instruksi yang dikirim adalah perpindahan sudut sebesar 15° pada kedua motor pada lengan robot. Dari hasil pengujian, FPGA dapat mengirim paket data yang sesuai dengan protokol AX-12+, sehingga FPGA dapat digunakan sebagai kendali lengan robot.

Tabel 2 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan melakukan gerak acak ke empat buah sudut sebanyak 12 kali.

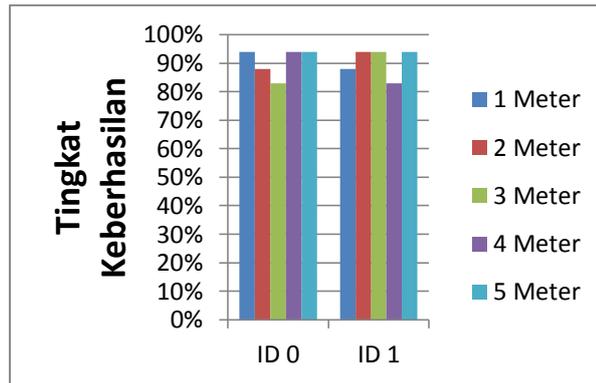
Tabel 4 Pengujian FPGA ke lengan robot

Perpindahan sudut	Hasil pengujian
60° → 150°	Tepat di sudut 150°
210° → 150°	Tepat di sudut 150°
75° → 150°	Tepat di sudut 150°
210° → 60°	Tepat di sudut 60°
75° → 60°	Tepat di sudut 60°
150° → 60°	Tepat di sudut 60°
150° → 75°	Tepat di sudut 75°
210° → 75°	Tepat di sudut 75°
60° → 75°	Tepat di sudut 75°
75° → 210°	Tepat di sudut 210°
60° → 210°	Tepat di sudut 210°
150° → 210°	Tepat di sudut 210°

2. Pengujian Integrasi GUI, FPGA, dan Lengan Robot

Dari hasil pengujian pada tabel 4 diketahui bahwa sistem kendali lengan robot dapat diimplementasikan pada FPGA. Pengujian berikutnya adalah dengan menggabungkan komunikasi antara GUI, FPGA dan lengan robot secara nirkabel menggunakan modul Bluetooth sebagai perantara antara GUI dengan FPGA. Pengujian dilakukan dengan melakukan kendali lengan robot dengan jarak antara GUI dengan Bluetooth modul yang berbeda beda. Jarak yang digunakan untuk pengujian adalah 1 meter, 2 meter, 3 meter, 4 meter, dan 5 meter. Pengujian ini dilakukan untuk menguji tingkat keberhasilan motor melakukan aksi yang sesuai dengan instruksi yang dikirim. Aplikasi antarmuka pengguna mengirimkan 20 instruksi ke setiap lengan robot pada jarak yang berbeda. Instruksi yang dikirimkan adalah pergerakan sudut dari sudut 0° hingga sudut 285° dengan resolusi 15° disetiap langkahnya. Grafik persentase keberhasilan instruksi yang dilakukan oleh lengan robot. Ditunjukkan pada Gambar 5.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan jarak yang digunakan untuk mengirimkan instruksi tidak mempengaruhi tingkat keberhasilan gerakan lengan robot selama jarak yang digunakan masih dalam jangkauan module Bluetooth DF-Bluetooth V3. Hal itu terbukti dari pengujian pada jarak 5 meter, tingkat keberhasilan instruksi yang dijalankan mencapai 94,4 %. Dari lima kali pengujian pada jarak yang berbeda beda, tidak sekalipun lengan robot dapat menjalankan seluruh instruksi dengan tepat, hal ini disebabkan kesalahan pembacaan data yang dikirim pada FPGA. Tingkat keberhasilan lengan robot menjalankan instruksi dari GUI dengan sesuai mencapai 91,07 %.



Gambar 5 Grafik hasil pengujian tingkat keberhasilan instruksi yang dikirimkan GUI

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi dan uji coba sistem kendali lengan robot secara nirkabel berbasis FPGA, sistem pengendalian lengan robot berbasis FPGA dapat dilakukan. Tingkat akurasi perpindahan sudut dilakukan dengan baik oleh AX-12+ didukung oleh kontroller yang dapat mengirim paket data dengan tepat dan beban yang tidak berlebih. Kinerja antara user interface, FPGA, dan lengan robot dapat berjalan dengan baik dengan tingkat keberhasilan lengan robot menjalankan instruksi dari GUI 91,07% pada jarak optimum 1 m hingga 5 m. Sistem kendali lengan robot ini menggunakan sistem nirkabel sehingga meningkatkan tingkat fleksibilitas sistem kendali ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan program studi S1 Teknik Elektro dan D3 Teknik Telekomunikasi atas bantuan dan dukungan sarana dan prasarananya dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. . Kuo, *Teknik Kontrol Automatik*, Jilid 1, Ed. Yogyakarta: Penerbit Aditya Media, 1995.
- [2] E. Pitowarno, *Desain, Kontrol, Dan Kecerdasan Buatan*, 1st ed. Yogyakarta: Penerbit ANDI OFFSET, 2006.
- [3] A. P. Pangestu, M. Ramdhani, R. Nugraha, F. T. Elektro, and U. T. Jalan, "Perancangan Dan Implementasi Sistem Kendali Lengan Robot Penyortir Barang Berdasarkan Warna (Design and Implementation of Robotic Arm Object Sorting Controlled Based on Color)," vol. 3, no. 3, pp. 4074–4081, 2016.
- [4] R. Nurgraha, E. Susanto, F. T. Elektro, U. Telkom, and L. Robot, "Menggunakan Leap Motion Design and Implementation Control System Arm Robot Using Leap Motion," *e-Proceeding Eng. Telkom Univ.*, vol. 3, no. 2, pp. 1429–1436, 2016.
- [5] A. S. Al-ammri and G. A. Taki, "Design of Robotic Arm Control System Mimics Human Arm Motion," *Al-Khwarizmi Eng. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 9–11, 2013.
- [6] M. J. Fandy, S. Sony, and D. Darlis, "DESAIN DAN IMPLEMENTASI PENGONTROL LENGAN ROBOT BERBASIS FPGA DENGAN MOUSE PS/2 SEBAGAI PENGENDALI GERAK," vol. 34, no. 11, pp. e77–e77, 2006.
- [7] A. Rifqi, I. Hidayat, and D. Darlis, "Desain Dan Implementasi Pengendalian Lengan Robot dengan Keyboard Ps/2 berbasis FPGA," Institut Teknologi Telkom, 2013.
- [8] C. Maxfield, *The Design Warrior's Guide to FPGAs*, 1st ed. Newnes, 2004.
- [9] R. E. Haskell and D. M. Hanna, "A VHDL-Forth Core for FPGAs," *Microprocess. Microsyst.*, vol. 28, no. 3, pp. 115–125, 2004.

- [10] www.robotis.com, "AX-12A," 2018. [Online]. Available: <http://emannual.robotis.com/docs/en/dxl/ax/ax-12a/>. [Accessed: 03-Mar-2018].
- [11] P. P. Chu, *FPGA Prototyping by VHDL Examples: Xilinx Spartan-3 Version*, 1st ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.