

# PERANCANGAN WEARABLE CONTROLLER MENGGUNAKAN MODUL FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY (FPGA) XILINX NEXYS 3 DAN ACCELEROMETER ADXL345

Ajie Nugroho Bawono<sup>\*)</sup>, Munawar Agus Riyadi, and Trias Andromeda

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)E-mail: ciprulmurderous@rocketmail.com</sup>

## Abstrak

Wearable controller adalah suatu alat yang sangat praktis karena bisa dipasang di tubuh manusia bagian luar untuk menggerakkan alat lainnya yang lebih besar, kompleks, dan berada terpisah dari alat wearable controller ini. Wearable controller merupakan salah satu contoh dari wearable device yang pada saat ini banyak perusahaan-perusahaan teknologi terkenal yang menciptakan wearable device untuk memberikan kemudahan dan sebagai solusi atas masalah yang sering dihadapi manusia. Perancangan wearable controller ini menggunakan Field Programmable Gate Array (FPGA) dan sensor accelerometer yang dirancang untuk menggerakkan mobil Radio Control (RC). Accelerometer ADXL345 mendeteksi data 3 sumbu berdasarkan percepatan gravitasi. Data tersebut diproses di modul FPGA Xilinx Nexys 3 Spartan-6. Data yang diproses dihubungkan ke controller mobil RC untuk menggerakkan mobil RC. Alat yang dirancang dapat mengendalikan mobil RC untuk melakukan pergerakan maju, mundur, belok ke kanan, belok ke kiri, maju-kanan, maju-kiri, mundur-kanan, dan mundur-kiri.

*Kata Kunci: accelerometer, ADXL345, FPGA, Nexys 3, wearable controller*

## Abstract

Wearable controller is a very practical device because it's can be mounted outside of the human body to move other device that larger, more complex, and separated from the wearable controller device. Wearable controller is one example of a wearable device that at this time the well-known technology companies that create lots of wearable devices to provide convenience and as a solution to the problem often encountered by humans. This project is to design wearable controller using Field Programmable Gate Array (FPGA) and accelerometer sensor which is designed to control the RC car. Accelerometer ADXL345 detect 3-axis data based on the acceleration of gravity. The data is processed in FPGA modules Xilinx Nexys 3 Spartan-6. The processed data is connected to the controller of the RC car to drive the RC car. The device can control the RC car to do forward, backward, turn right, turn left, forward-turn right, forward-turn left, backward-turn right, and backward-turn left.

*Key word: accelerometer, ADXL345, FPGA, Nexys 3, wearable controller*

## 1. Pendahuluan

*Wearable technology/wearable devices* atau teknologi yang dapat dipakai di tubuh mengacu pada teknologi elektronik atau perangkat komputasi yang dirancang untuk dipakai pada tubuh manusia. Teknologi ini cenderung dimanfaatkan untuk memberikan kemampuan sensorik dan *scanning*, seperti *bio-feedback* dan pelacakan fungsi fisiologis [1]. Perkembangan teknologi wearable technology sudah diproduksi massal dan sudah banyak perusahaan yang memunculkan terobosan-terobosan pada bidang fashion, seni, dan hobi [2]. Produk pakaian juga memiliki kemampuan komunikasi yang

memungkinkan manusia untuk mengakses data secara real-time dengan menggunakan perangkat ataupun media yang terhubung. Contoh yang sangat berkembang cepat yaitu jam tangan pintar, kacamata cerdas, lensa kontak bio-sensing, pakaian elektronik, dan perhiasan cerdas, seperti cincin, gelang, dan alat bantu pendengaran (*hearing aid*) [1].

Contoh *wearable controller* yang sudah dirancang adalah "Wearable Joystick For Gloves-on Human/Computer Interaction" [3] yang memanfaatkan fluks magnet untuk menggerakkan robot *Urban Search and Rescue* (USAR). Selain itu juga ada "A Wearable Haptic Game Controller" [2] yang menggunakan sensor *flex* (sensor kelenturan)

yang dibuat dari *Light Emitting Diode* (LED) inframerah yang disalurkan melalui suatu tabung bening, serta menggunakan *accelerometer*, *gyroscope*, dan *magnetometer*. Semua input tersebut diproses menggunakan mikrokontroler Arduino. Alat yang dirancang ini digunakan sebagai *controller* suatu permainan digital. Kedua perancangan wearable controller tersebut adalah salah satu usaha untuk mengeksplorasi cara berinteraksi antara manusia dengan mesin yang berfokus langsung pada tangan manusia sebagai piranti *input/output* (I/O).

Dari perancangan yang sudah pernah dibuat diatas, penulis tertarik untuk membuat alternatif *wearable controller* dengan piranti yang berbeda dari perancangan diatas, yaitu *wearable controller* yang dipakai di tangan kanan untuk mengendalikan mobil *Radio Control* (RC). Mobil RC yang ada di pasaran dari dulu sampai sekarang masih menggunakan *remote control* sebagai pengendalinya. *Remote control* yang ada di pasaran masih menggunakan teknologi yang sangat sederhana, tanpa menggunakan sensor. Selain itu juga *remote control* harus dioperasikan dengan 2 tangan. Perancangan *wearable controller* ini pada dasarnya menggantikan peran *remote control* dari mobil RC, tanpa merubah sistem mobil RC. Perancangan ini menggunakan *accelerometer* ADXL345 sebagai masukan, modul FPGA Xilinx Nexys 3 sebagai prosesor data, *Serial Peripheral Interface* (SPI) 4-wire sebagai komunikasi data serial antara *accelerometer* dengan modul FPGA, dan mobil RC sebagai keluaran. Menggunakan *accelerometer* ADXL345 [4] karena data keluaran ADXL345 dalam bentuk digital, bisa memilih kisaran keluaran ( $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$ , atau  $\pm 16g$ ), ada fitur deteksi *free-fall*, dan di pasaran mudah didapatkan. Menggunakan modul FPGA Xilinx Nexys 3 [5] karena masih sedikit penelitian yang menggunakan modul FPGA, proses FPGA yang secara paralel lebih cepat dibandingkan dengan mikroprosesor yang prosesnya secara sekuensial. Menggunakan SPI 4-wire karena data yang keluar dari *accelerometer* dan data yang masuk ke *accelerometer* terpisah, dan ketika membuat senarai program dalam FPGA lebih mudah untuk memisahkan data tersebut, daripada menggunakan SPI 3-wire ataupun *Inter-Integrated Circuit* (I<sup>2</sup>C).

## 2. Metode

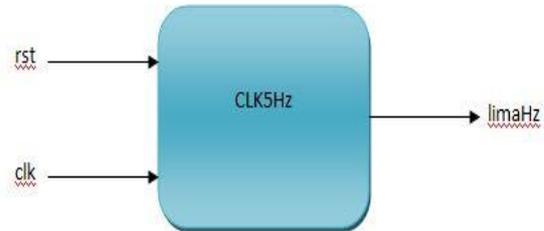
### 2.1. Perancangan Perangkat Lunak

#### 2.1.1. Perancangan SPI bagian GenStart

GenStart atau sebagai inisialisasi SPI berfungsi untuk mengaktifkan serta mematikan fungsi dari SPI. Bagian ini merupakan pembuatan *clock* baru sebesar 5 hz dengan cara membagi *clock* yang ada pada modul FPGA. Gambar 1. merupakan diagram blok I/O dari bagian GenStart.

Clk merupakan *clock* yang dihubungkan pada *clock* bawaan Nexys 3 yang bernilai 100 MHz. Rst merupakan reset yang terhubung dengan rst pada semua bagian SPI untuk menyamakan waktu dimulainya *clock* serta untuk

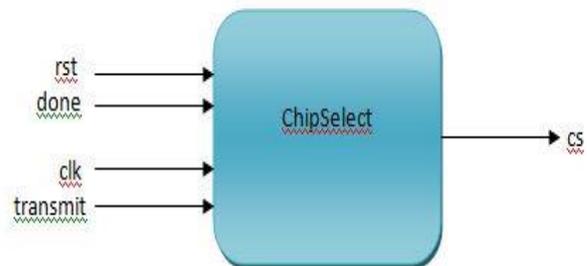
mengatur semua nilai menjadi nilai *reset* nya. LimaHz merupakan hasil keluaran dari senarai tersebut, yaitu berupa *clock* sebesar 5 Hz.



Gambar 1. Diagram blok I/O bagian GenStart.

#### 2.1.2. Perancangan SPI bagian ChipSelect

Bagian ChipSelect merupakan inisialisasi *accelerometer* yang berfungsi untuk mengaktifkan *accelerometer*. Pengaktifan *accelerometer* dilakukan dengan cara memberi sinyal 0 (*low*) ke pin CS pada *accelerometer*. Bagian ini terhubung dengan transmit dan done pada Bagian SPI master maupun SPI interface, serta terhubung juga dengan *clock* bawaan modul FPGA. Gambar 2. merupakan diagram blok dari bagian ChipSelect.

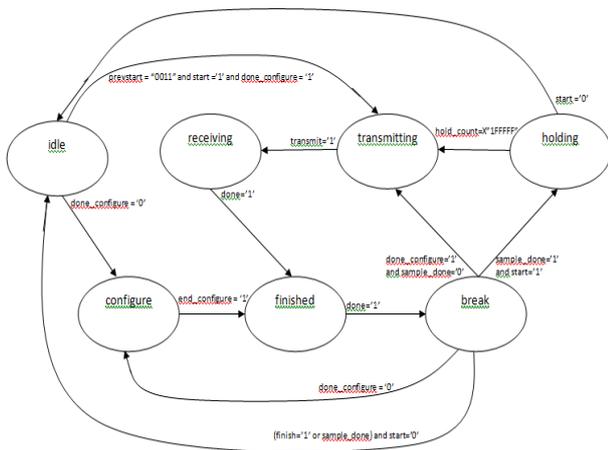


Gambar 2. Diagram blok I/O bagian ChipSelect

Setiap kali *clock* bawaan mulai bernilai satu, cs selalu memindai ulang nilai nya. Cs bernilai 1 ketika rst bernilai 1 (tombol reset ditekan), selain itu cs juga bernilai 1 ketika done bernilai 1 (proses *transfer* data sudah selesai). Cs bernilai 0 ketika transmit bernilai 1 (selama proses transfer data berlangsung). Ketika cs bernilai 0 (*low*), *accelerometer* selalu aktif dan sebaliknya ketika cs bernilai 1 (*high*), *accelerometer* selalu tidak aktif.

#### 2.1.3. Perancangan SPI bagian SPI master

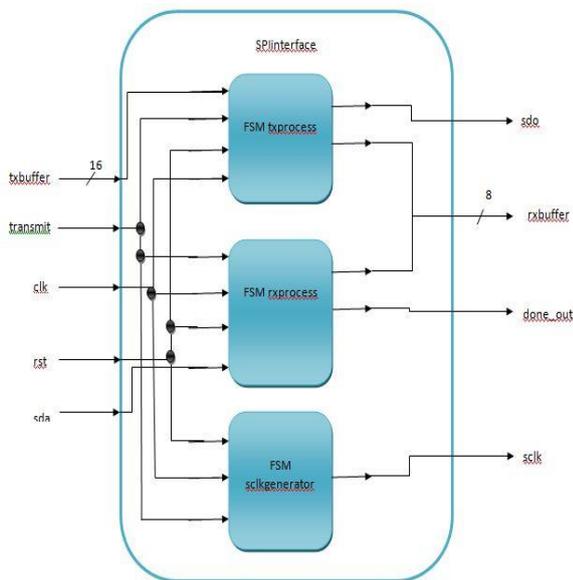
SPI master berisi proses *transfer* data dari modul FPGA ke *accelerometer* ataupun sebaliknya dari *accelerometer* ke modul FPGA. Proses tersebut berjalan sesuai dengan *Finite State Machine* (FSM) seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. FSM bagian SPI master.

2.1.4. Perancangan SPI bagian SPIinterface

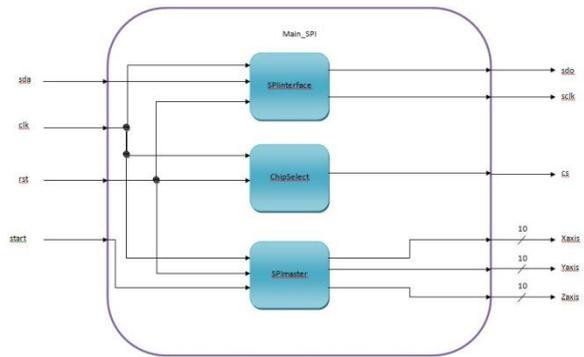
SPIinterface berisi pengaturan transfer data dari modul FPGA ke accelerometer ataupun sebaliknya dari accelerometer ke modul FPGA. Dalam pengaturan tersebut salah satunya ada pembuatan sclk, yaitu clock yang digunakan untuk transfer data pada accelerometer. Gambar 4. merupakan diagram blok I/O bagian SPIinterface.



Gambar 4. Diagram blok I/O bagian SPIinterface.

2.1.5. Perancangan SPI bagian main\_SPI

Main\_SPI adalah bagian utama proses SPI dan sebagai tempat untuk menghubungkan semua bagian SPI yang diperlukan. Gambar 5. merupakan diagram blok I/O dari bagian main\_SPI.



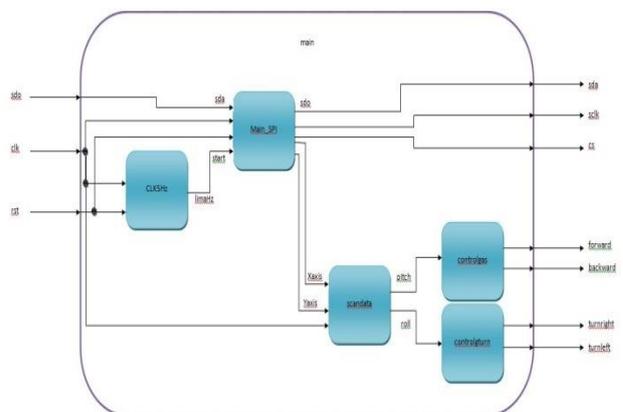
Gambar 5. Diagram blok I/O bagian main\_SPI .

2.1.6. Perancangan Constraints

Perancangan constraints berfungsi untuk menentukan semua input/output yang ada pada senarai utama untuk dihubungkan dengan port pada modul FPGA. clk yang sebagai input clock dihubungkan pada clock bawaan Nexys 3 yaitu pada V10. Rst sebagai reset dihubungkan pada tombol C9. Cs sebagai output untuk pin CS pada accelerometer dihubungkan pada pmod connector K1. sdo sebagai output untuk pin SDA pada accelerometer dihubungkan pada pmod connector K2. Sda sebagai input untuk pin SDO pada accelerometer dihubungkan pada pmod connector L4. Sclk sebagai output clock untuk pin SCLK pada accelerometer dihubungkan pada pmod connector L3.

2.1.7. Perancangan Utama

Perancangan ini merupakan perancangan utama dari sistem wearable controller yang dirancang. Pada perancangan ini berisi senarai utama yang menggabungkan semua senarai yang dibutuhkan. Selain penggabungan senarai yang sudah ada, juga dirancang senarai untuk menentukan pengendalian mobil RC, serta waktu pemindaian setiap perubahan data yang dipakai untuk mengendalikan mobil RC. Gambar 6. merupakan diagram blok I/O dari perancangan utama.



Gambar 6. Diagram blok I/O senarai utama.

Penentuan data mulai maju, mundur, belok kiri, dan belok kanan dalam penggerakkan mobil RC yaitu saat data sumbu-X maupun sumbu-Y bernilai lebih dari 00110000 (dalam biner, atau 48 dalam desimal). Nilai data ini dapat dijadikan besaran sudut dengan penghitungan dari persamaan 1.

$$\text{sudut} = \sin^{-1}\left(\frac{\text{nilai bit}}{\frac{1}{2}\text{sensivitas}}\right) \quad (1)$$

Dengan nilai bit 48 (00110000 dalam biner, sesuai pada senarai utama), dan nilai sensitivitas 256 [4], maka didapatkan nilai sudut sebesar 22,02°.

## 2.2. Perancangan Perangkat Keras

### 2.2.1. Menghubungkan Modul FPGA

Modul FPGA dihubungkan ke *accelerometer* untuk membaca data yang diukur *accelerometer* dengan cara mengirimkan address sesuai data yang diinginkan. *Accelerometer* dihubungkan ke modul FPGA menggunakan 6 kabel pelangi yang salah satu ujung kabel disolder di pin cs, sda, 3,3 V, gnd, sdo, dan scl pada *accelerometer*. Ujung yang lain disolder pada 1x6 *male pin-head* untuk dihubungkan ke pmod pada modul FPGA. Modul FPGA dihubungkan ke *controller* mobil RC sebagai pengimplementasian hasil keluaran untuk menggerakkan mobil RC. *Controller* mobil RC dihubungkan ke modul FPGA menggunakan 6 kabel pelangi yang salah satu ujung kabel disolder di *pin vcc*, gnd, forward, backward, right, dan left pada *controller* mobil RC. Ujung yang lain disolder pada 1x6 *male pin-head* untuk dihubungkan ke pmod pada modul FPGA. Modul FPGA dihubungkan ke laptop untuk memasukkan senarai yang telah dibuat ke modul FPGA. Selain itu juga sebagai catu daya untuk menghidupkan modul FPGA. Laptop dihubungkan ke modul FPGA menggunakan kabel USB-mikro USB, yaitu USB untuk dihubungkan ke *port* USB pada laptop dan mikro USB dihubungkan ke *port* mikro USB pada modul FPGA.

### 2.2.2. Pemasangan Accelerometer

*Accelerometer* dipasang pada sarung tangan sebelah kanan seperti pada Gambar 7. untuk mendapatkan *gesture* pada tangan kanan yang dideteksi oleh *accelerometer*. Data yang dideteksi tersebut yang diproses di modul FPGA. Pemasangan *accelerometer* pada sarung tangan dengan cara *accelerometer* dilem bakar ke sarung tangan agar *accelerometer* mampu bergerak sesuai sarung tangan.



Gambar 7. Accelerometer pada sarung tangan.

## 3. Hasil dan Analisa

### 3.1. Pengujian Data Accelerometer

#### 3.1.1. Sumbu-X

Berikut adalah hasil pengujian data sumbu-X dengan variasi pergerakan ke atas dan ke bawah dengan sudut pengukuran 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, dan 90°:

Tabel 1. Hasil pengujian sumbu-X

Sudut pengukuran	Nilai pengukuran	
	Biner	Desimal
0°	00000001	1
+15°	000101011	43
+30°	000111100	60
+45°	001101010	106
+60°	001111101	125
+90°	010000111	135
-15°	111101010	-21
-30°	111001011	-52
-45°	110110001	-78
-60°	110010011	-108
-90°	110000001	-126

Dari Tabel 1. dapat dihitung sudut dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{sudut} = \sin^{-1}\left(\frac{\text{nilai bit}}{\frac{1}{2}\text{sensivitas}}\right) \quad (1)$$

Tabel 2. Merupakan hasil penghitungan sudut tersebut, serta galat yang didapatkan dari selisih sudut penghitungan dan sudut pengukuran.

Tabel 2. Perbandingan data sumbu-X pengukuran dan penghitungan.

Sudut pengukuran	Nilai pengukuran		Sudut penghitungan	Galat sudut
	Biner	Desimal		
0°	000000001	1	+0,45°	0,45°
+15°	000101011	43	+19,62°	4,62°
+30°	000111100	60	+27,95°	2,05°
+45°	001101010	106	+55,9°	10,9°
+60°	001111101	125	+77,57°	17,57°
+90°	010000111	135	-	-
-15°	111101010	-21	-9,44°	5,56°
-30°	111001011	-52	-23,97°	6,03°
-45°	110110001	-78	-37,54°	7,46°
-60°	110010011	-108	-57,54°	2,46°
-90°	110000001	-126	-79,86°	10,14°

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa terdapat galat pada pengujian, galat terbesar ada pada sudut +60°, yaitu sebesar 17,57°. Galat terkecil ada pada sudut 0°, yaitu sebesar 0,45°. Galat tersebut muncul karena adanya perubahan nilai *offset* dan nilai sensitivitas akibat dari perbedaan suhu dan tegangan ketika pengujian dengan suhu dan tegangan yang tertera pada *datasheet accelerometer* [4]. Selain faktor suhu dan tegangan, faktor pembacaan ketika pengujian juga dapat berpengaruh terhadap galat yang ada. Pada sudut +90° nilai sudut penghitungan tidak dapat dihitung karena adanya perubahan nilai *offset* sehingga nilai pengukuran melebihi nilai dari setengah sensitivitas. Hal tersebut juga dapat terjadi karena perubahan nilai sensitivitas yang mengakibatkan perbedaan nilai dalam penghitungan yang sebenarnya. Rata-rata galat tersebut dapat diketahui dengan penghitungan sebagai berikut:

$$Rata - rata\ galat = \frac{\sum galat\ sudut}{jumlah\ data} \quad (2)$$

Dengan penghitungan tersebut didapatkan nilai rata-rata galat sebesar 6,724°.

### 3.1.2. Sumbu-Y

Tabel 3. adalah hasil pengujian data sumbu-X dengan variasi pergerakan ke atas dan ke bawah dengan sudut pengukuran 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, dan 90°. Dari Tabel 3. Dapat dihitung sudut dengan menggunakan persamaan berikut:

$$sudut = \sin^{-1}\left(\frac{nilai\ bit}{\frac{1}{2}sensitivitas}\right) \quad (1)$$

Tabel 4. Merupakan hasil penghitungan sudut tersebut, serta galat yang didapatkan dari selisih sudut penghitungan dan sudut pengukuran.

Tabel 3. Hasil pengujian sumbu-Y

Sudut pengukuran	Nilai pengukuran	
	Biner	Desimal
0°	000000000	0
+15°	000100001	33
+30°	000111100	60
+45°	001011110	94
+60°	001110111	119
+90°	010000010	130
-15°	111100111	-24
-30°	111000111	-56
-45°	110101001	-86
-60°	110001111	-112
-90°	101111101	-130

Tabel 4. Perbandingan data sumbu-Y pengukuran dan penghitungan.

Sudut pengukuran	Nilai pengukuran		Sudut penghitungan	Galat sudut
	Biner	Desimal		
0°	000000000	0	0°	0
+15°	000100001	33	+14,95°	0,05°
+30°	000111100	60	+27,95°	2,05°
+45°	001011110	94	+47,25°	2,25°
+60°	001110111	119	+68,39°	8,39°
+90°	010000010	130	-	-
-15°	111100111	-24	-10,8°	4,2°
-30°	111000111	-56	-25,94°	4,06°
-45°	110101001	-86	-42,21°	2,79°
-60°	110001111	-112	-61,04°	1,04°
-90°	101111101	-130	-	-

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa terdapat galat pada pengujian, galat terbesar ada pada sudut +60°, yaitu sebesar 8,39°. Galat terkecil ada pada sudut +15°, yaitu sebesar 0,05°. Galat tersebut muncul karena adanya perubahan nilai *offset* dan nilai sensitivitas akibat dari perbedaan suhu dan tegangan ketika pengujian dengan suhu dan tegangan yang tertera pada *datasheet accelerometer* [4]. Selain faktor suhu dan tegangan, faktor pembacaan ketika pengujian juga dapat berpengaruh terhadap galat yang ada. Pada sudut +90° dan -90° nilai sudut penghitungan tidak dapat dihitung karena adanya perubahan nilai *offset* sehingga nilai pengukuran melebihi nilai dari setengah sensitivitas. Hal tersebut juga dapat terjadi karena perubahan nilai sensitivitas yang mengakibatkan perbedaan nilai dalam penghitungan yang sebenarnya. Rata-rata galat tersebut dapat diketahui dengan penghitungan sebagai berikut:

$$Rata - rata\ galat = \frac{\sum galat\ sudut}{jumlah\ data} \quad (2)$$

Dengan penghitungan tersebut didapatkan nilai rata-rata galat sebesar 2,76°.

**3.2. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan**  
**3.2.1. Pengujian Jarak Jangkauan Pengendalian**

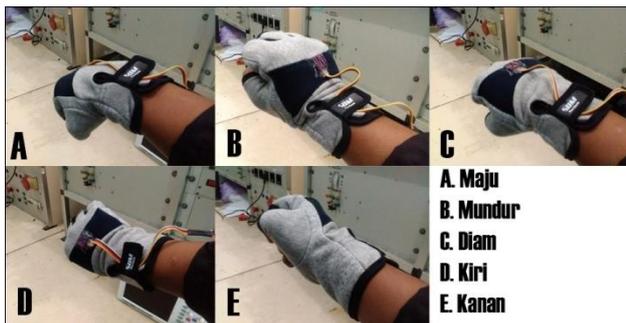
Pengujian ini dilakukan di dalam laboratorium Elektronika dan Mikroprosesor, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, untuk pengujian di dalam ruangan. Pengujian di luar ruangan dilakukan di halaman gedung B, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Hasil pengujian ini bisa dilihat pada Tabel 5..

**Tabel 5. Hasil pengujian jarak jangkauan pengendalian.**

Pengujian	Hasil
Di dalam ruangan	Seluruh ruangan (10,3 x 7,8 meter) dengan syarat tidak terhalang benda padat yang tebal
Di luar ruangan	Sejauh 11,2 meter

**3.2.2. Pengujian Gesture yang Diinginkan**

Pengujian ini merupakan pengujian dengan menggerakkan mobil RC sesuai dengan *gesture* yang diinginkan. *Gesture* yang diinginkan terlihat seperti pada Gambar 8..



**Gambar 8. Gesture yang diinginkan.**

Dari pengujian *gesture* pada Gambar 8. didapatkan hasil pada tabel 6.

**Tabel 6. Hasil pengujian *gesture* yang diinginkan.**

Gesture tangan	Sudut	Pergerakan mobil RC
Maju	X = +17°	Maju
Mundur	X = -24°	Mundur
Diam	X = -23° - +16° Y = -23° - +20°	Diam
Kiri	Y = -24°	Roda depan berbelok ke kiri
Kanan	Y = +21°	Roda depan berbelok ke kanan

Keterangan:

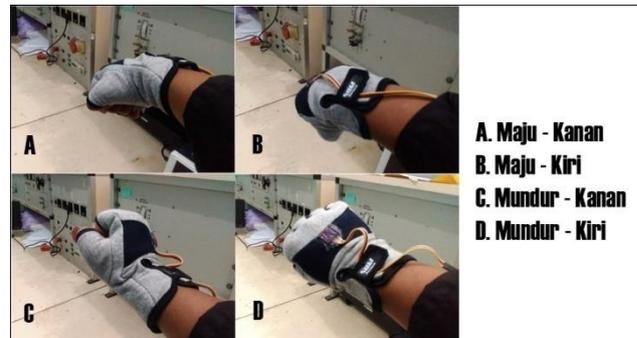
- Sudut = sudut *accelerometer*, dimana mobil RC mulai bergerak sesuai hasil yang diinginkan.
- X = sumbu-X, (+) miring ke bawah, (-) miring ke atas.
- Y = sumbu-Y, (+) miring ke kanan, (-) miring ke kiri.

Tabel 6. menunjukkan bahwa pengujian untuk menggerakkan mobil RC sudah berhasil sesuai yang diinginkan walaupun sudut saat mulai penggerakkan mobil RC kurang sesuai dengan apa yang ada di senarai utama. Pengujian *gesture* tangan maju paling jauh

selisihnya dengan yang ada pada senarai utama (22,02°) yaitu berbeda 5,02°. Pengujian *gesture* mundur dan kiri berbeda 1,98°. Pengujian *gesture* kanan paling sedikit selisihnya, yaitu berbeda 1,02°. Galat tersebut bisa muncul karena pengaruh derau suhu dan tegangan yang menimbulkan perbedaan nilai *offset* sampai 4,5° [4] dan data pengukuran *accelerometer* beresilasi pada bit ke-0 sampai bit ke-2 atau jika dijadikan sudut yaitu sampai 2,8°. Selain itu galat juga bisa muncul ketika pengukuran sudut, karena pengukuran sudut masih dilakukan secara manual menggunakan busur derajat.

**3.2.3. Pengujian Kombinasi 2 Gesture yang Diinginkan**

Pengujian ini merupakan pengujian dengan menggerakkan mobil RC sesuai dengan kombinasi 2 *gesture* yang diinginkan. *Gesture* yang diinginkan terlihat seperti pada Gambar 9..



**Gambar 9. Kombinasi 2 *gesture* yang diinginkan.**

Dari pengujian *gesture* pada Gambar 9. didapatkan hasil pada tabel 7.

**Tabel 7. Hasil pengujian kombinasi 2 *gesture* yang diinginkan.**

Gesture tangan	Pergerakan mobil RC
Maju – kanan	Maju dan berbelok ke kanan
Maju – kiri	Maju dan berbelok ke kiri
Mundur – kanan	Mundur dan berbelok ke kanan
Mundur – kiri	Mundur dan berbelok ke kiri

Tabel 7. menunjukkan bahwa mobil RC juga dapat dikendalikan dengan 2 *gesture* secara bersamaan, dan hasilnya sesuai dengan apa yang diinginkan. Hal ini dapat terjadi karena penentuan data di senarai utama pada sumbu-X dan sumbu-Y dipisah, dan tidak saling terkait.

**4. Kesimpulan**

*Wearable controller* dapat mengendalikan mobil RC sejauh 11,2 meter di luar ruangan, dan di dalam ruangan bisa menjangkau seluruh ruangan berukuran 10,3 x 7,8 meter dengan kondisi tidak terhalang benda padat yang

tebal. *Wearable controller* yang dirancang dapat mengendalikan mobil RC untuk melakukan pergerakan maju, mundur, belok ke kanan, belok ke kiri, maju-kanan, maju-kiri, mundur-kanan, dan mundur-kiri.. Untuk pengembangan perancangan ini bisa menggunakan modul FPGA yang ukurannya lebih kecil sehingga dapat dipasang di pergelangan tangan, serta menggunakan mobil yang kecepatan motornya bisa diatur.

## **Referensi**

- [1] Tehrani, Kiana, and A. Michael, "Wearable Technology and Wearable Devices: Everything You Need to Know," *Wearable Devices Magazine*, Mar-2014.
- [2] J. Footitt, D. Brown, S. Marks, and A. M. Connor, "A Wearable Haptic Game Controller," *Int. J. Game Theory Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–19, 2016.
- [3] J. Bae and R. M. Voyles, "Wearable joystick for gloves-on human/computer interaction," *Proc. SPIE*, vol. 6230, no. 612, p. 62300N–62300N–10, 2006.
- [4] Analog Devices, *3-Axis,  $\pm 2$  g/ $\pm 4$  g/ $\pm 8$  g/ $\pm 16$  g Digital Accelerometer ADXL345*. 2015.
- [5] Digilent Inc., *Nexys3<sup>TM</sup> Board Reference Manual*, vol. 99163, no. 509. 2013.
- [6] P. P. Chu, *FPGA Prototyping by VHDL Examples*. A John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [7] P. Wilson, *Design Recipes for FPGAs*. MPG Books Ltd., 2007.