

Pengembangan Sistem Haptic untuk Memegang Objek (Gripper) Dengan Komunikasi Wifi pada Mobile Robot

M. Eraz Zarkasih¹, Dahnia Syauqy², Wijaya Kurniawan³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹eraz.zarkasih@gmail.com, ²dahnial87@ub.ac.id, ³wjaykurnia@ub.ac.id

Abstrak

Mobile robot dengan *gripper* dapat membantu penggunaannya untuk mengambil objek yang sulit dijangkau atau objek yang berbahaya bagi manusia. Dalam hal ini persepsi manusia akan sangat membantu dikarenakan manusia tidak langsung berinteraksi dengan objek yang dipegang. Maka dari itu dapat diimplementasikan *Haptic* untuk menyimulasikan rasa sentuhan. Dikarenakan *mobile robot* dapat beroperasi jauh dari penggunaannya maka pengiriman data keceratan dalam memegang objek dan pengendalian robot dilakukan secara nirkabel dengan menggunakan WiFi serta Perangkat Android. Berdasarkan implementasi yang dilakukan, FSR (*Force Sensitive Resistor*) digunakan sebagai sensor untuk mengakuisisi data tekanan yang didapat antara objek dan *gripper*. Sistem menggunakan fungsi getar yang terdapat pada Perangkat Android sebagai indikator keceratan dari *gripper*. Pada sistem juga diimplementasikan sistem penghentian *gripper* secara otomatis pada *threshold* tertentu. Dari hasil pengujian dengan objek berbeda-beda (Pisang, Tomat, Jeruk Nipis) sebanyak 10 kali dengan pada setiap *threshold* 50, 100, 150, dan 200. Untuk memegang Pisang, keberhasilan sistem tertinggi adalah 60% pada *threshold* 100, pada Tomat keberhasilan sistem tertinggi adalah 100% pada *threshold* 100 dan 150, pada Jeruk Nipis persentase keberhasilan sistem tertinggi adalah 100% pada *threshold* 100, 150 dan 200. Perbedaan ini disebabkan oleh tekstur dan kepadatan dari jenis objek yang dipegang berbeda-beda.

Kata kunci: *Force Sensitive Resistor, Gripper, Haptic, Mobile robot, WiFi*

Abstract

Mobile robot with a gripper can help its user to take the remote objects or hold a harmful object. In this case the human perception will be very helpful because humans do not directly interact with the object, hence Haptic can be implemented to simulate the sense of touch. Because mobile robot can be operated remotely by its users then the transmission of the value from the force sensor (Force Sensitive Resistor) and controlling the robot is done wirelessly using WiFi and Android Devices. Based on the implementation, FSR (Force Sensitive Resistor) is used as a sensor to acquire pressure data obtained between the object and gripper. The system use vibration on the Android Device as an indicator of the tightness of the gripper. This system also implements a gripper termination system which automatically terminates gripper on a certain threshold value. From the test results with different objects (Banana, Tomato, Lime) for 10 experiments each for threshold value 50, 100, 150, and 200. To hold the banana, the highest system success is 60% at threshold 100. For Tomato, the highest system success is 100% at 100 and 150 thresholds. For Lime, the highest percentage of system success is 100% at 100, 150 and 200 thresholds. This difference is occurred due to the texture and density in different types of objects.

Keywords: *Force Sensitive Resistor, Gripper, Haptic, Mobile robot, WiFi*

1. PENDAHULUAN

Robot memiliki komponen-komponen yang digunakan untuk menjalankan fungsinya dengan baik, salah satunya adalah end effector. End effector adalah sebuah komponen yang terdapat pada ujung robot, digunakan untuk melakukan

interaksi dengan objek. End effector memiliki bermacam-macam jenis, salah satunya *end effector* berupa penjepit (*gripper*) yang digunakan untuk memegang objek. *Gripper* dapat digunakan pada berbagai macam robot, salah satunya *Mobile Robot*. *Mobile Robot* adalah robot yang memiliki alat gerak untuk berpindah dari suatu tempat ke tempat lainnya.

Gripper pada Mobile robot ini dapat memegang sebuah objek berbahaya atau lingkungan yang sulit dijangkau manusia, seperti mobile robot yang beroperasi pada lingkungan dengan radiasi nuklir atau untuk memegang objek yang panas. Dalam hal ini persepsi manusia terhadap sebuah objek akan sangat membantu dalam merasakan kekuatan yang diberikan dan keberadaan objek pada gripper dikarenakan posisi manusia yang tidak dapat secara langsung berinteraksi dengan objek (Park, 2016).

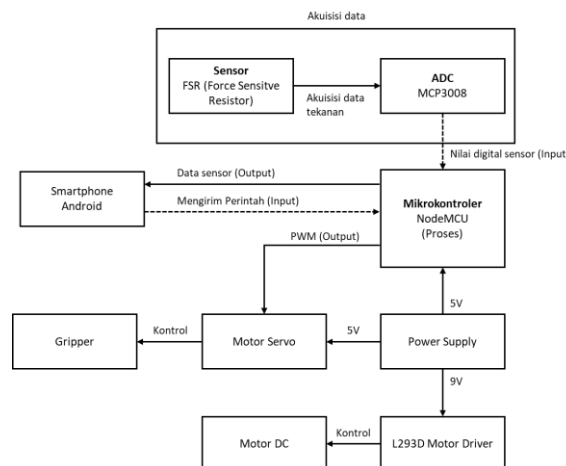
Persepsi manusia dapat disimulasikan dengan Haptic. Haptic berasal dari kata Yunani yakni "Haptikos" yang berarti rasa sentuhan. Teknologi ini memberikan simulasi rasa sentuhan kepada pengguna berupa persepsi manusia dengan menerapkan gaya, getaran atau gerak ke pengguna. Mekanisme ini digunakan untuk membantu pengguna berinteraksi dengan sebuah objek yang tidak disentuh atau dirasakan secara langsung (Robles-De-La-Torre, 2010).

Untuk mengetahui keerasan tekanan yang diberikan oleh gripper dapat dilakukan dengan meletakkan sensor Force Sensitive Resistor (FSR) pada gripper, sensor ini merupakan sensor yang sensitif terhadap gaya. Dengan ini ketika FSR memegang objek, resistansi yang terdapat pada FSR akan menurun sehingga dapat diketahui seberapa besar gaya yang diberikan oleh gripper (Kumar, 2016).

Pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan sistem Haptic dengan menggunakan sensor FSR (Force Sensitive Resistor) pada mobile robot dengan end effector berupa gripper yang dapat dikontrol pergerakannya secara nirkabel. Pengiriman data sensor tekanan FSR ketika memegang objek akan dikirim secara nirkabel melalui komunikasi WiFi ke Perangkat Android. Data sensor FSR yang didapat akan dijadikan parameter kekuatan getaran yang diberikan ke pengguna.

2. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Perancangan sistem dilakukan setelah mengetahui kebutuhan yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini agar pada tahap implementasi berjalan secara terstruktur dan sesuai dengan tujuan yang akan dicapai. Perancangan sistem pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



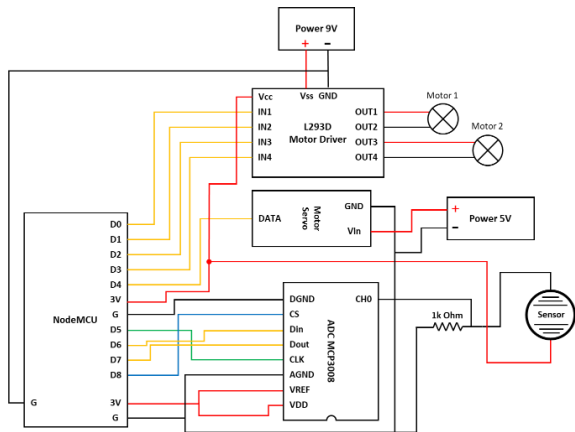
Gambar 1 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 1, Mikrokontroler NodeMCU digunakan untuk mengontrol motor DC dan motor servo, mengakuisisi data sensor FSR, menerima perintah dari Perangkat Android, dan digunakan untuk mengirim data sensor yang didapat dengan WiFi menuju smartphone. Motor servo digunakan untuk mengontrol gripper, sedangkan motor DC digunakan untuk mengontrol steering robot. Kedua motor ini menggunakan power supply eksternal dan motor driver untuk motor DC. Sensor yang digunakan pada robot ini adalah FSR yang diletakkan pada gripper. ADC MCP3008 digunakan untuk mendapatkan nilai tekanan dari sensor.

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan rangkaian elektronik, terdapat beberapa komponen yang akan disusun pada sistem diantaranya adalah sebagai berikut.

1. NodeMCU
2. L293D Motor Driver
3. ADC MCP3008
4. Sensor (FSR)
5. 2 Buah motor DC
6. Motor Servo
7. Power Supply 9V
8. Power Supply 5V



Gambar 2 Skema Rangkaian Sistem

Gambar 2 adalah skema rangkaian yang akan diimplementasikan pada sistem. Untuk akuisisi data akan digunakan sebuah sensor FSR dan sebuah resistor dengan resistansi sebesar 1K Ohm. Untuk mengukur tegangan yang masuk kedalam resistor dibutuhkan pembagi tegangan untuk nilai resistansi FSR dan resistor 1K Ohm, tegangan referensi yang digunakan oleh ADC adalah 3.3V sehingga tegangan luaran yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_1}{R_1 + R_{FSR}} \quad (1)$$

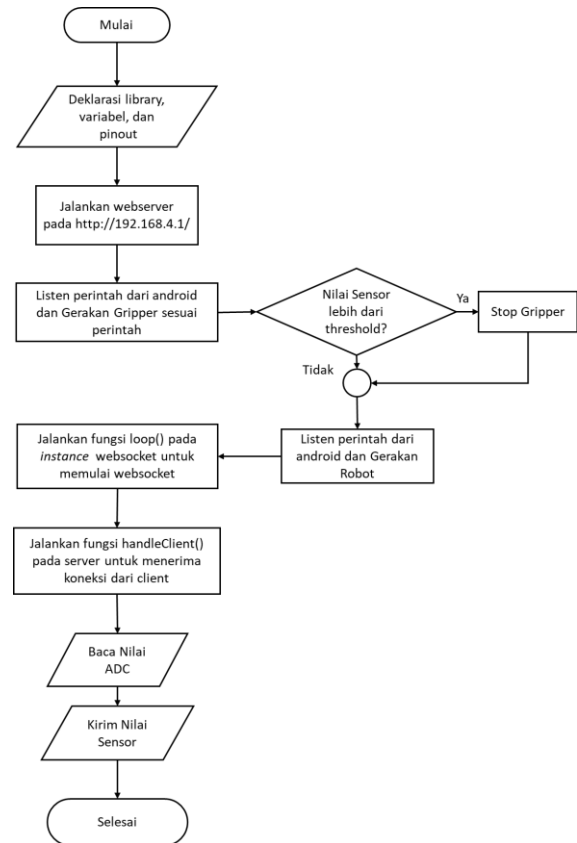
Keterangan:

V_{out} : Tegangan dari pembagi tegangan
 R_1 : Resistor 1K Ohm
 R_{FSR} : Nilai resistansi FSR
 V_{in} : Tegangan ke sensor sebesar 3.3V

R_1 merupakan pembagi tegangan, ketika terdapat tekanan pada FSR nilai resistansi FSR akan menurun sehingga nilai V_{out} akan bertambah, begitu pula sebaliknya. Nilai V_{out} akan dimasukkan ke Pin CH0 pada ADC MCP3008 untuk mendapatkan nilai digitalnya. Berikut gambaran detail terkait pembagi tegangan pada sensor. Untuk menggerakkan gripper dan menggerakkan robot digunakan motor servo dan motor DC. Motor servo digunakan untuk menggerakkan gripper, sedangkan motor DC digunakan untuk menggerakkan roda robot.

2.2. Perancangan Perangkat Lunak Mikrokontroler

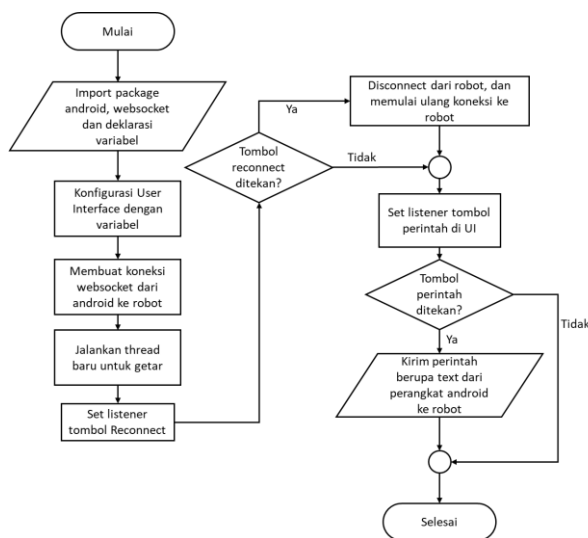
Diagram alir di bawah akan menjelaskan alur kerja sistem yang terdapat pada *mobile robot*.



Gambar 3 Diagram Alir Perangkat Lunak Mikrokontroler

Gambar 3 menjelaskan tentang alur kerja sistem secara keseluruhan. Pertama sistem akan mendeklarasikan *Library* dan variabel-variabel yang dibutuhkan, *Library* dan variabel yang digunakan akan dijelaskan lebih lanjut pada tahap implementasi. Dilanjutkan dengan membuat akses poin agar dapat dikoneksikan dengan Perangkat Android. Selanjutnya sistem akan membuat websocket server untuk yang dijalankan pada <http://192.168.4.1/>. Setelah itu sistem akan melakukan *listening* perintah yang dikirim dari Perangkat Android untuk menggerakkan *gripper*. Jika nilai threshold yang diatur sudah tercapai maka gripper akan berhenti. Setelah itu sistem akan melakukan *listening* perintah pergerakan robot. Lalu sistem akan menjalankan fungsi loop pada *instance* websocket dan menjalankan fungsi *handleClient* agar dapat terhubung dengan *client*. Setelah itu sistem akan membaca nilai sensor pada ADC dan mengirim nilai tersebut ke Perangkat Android.

2.3. Perancangan Perangkat Lunak Android

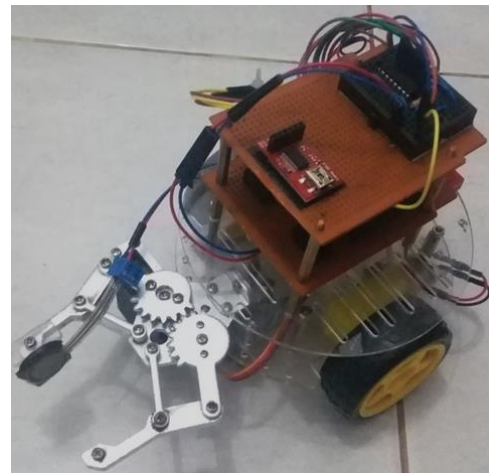


Gambar 4 Diagram Alir Aplikasi Android

Gambar 4 menjelaskan tentang bagaimana aplikasi pada android berjalan, yang pertama dilakukan oleh sistem adalah mengimport *package android* yang diperlukan dan mengimport *package websocket* beserta URI untuk melakukan koneksi ke *websocket server* yang terdapat pada robot dan setelah itu dilanjutkan dengan deklarasi variabel-variabel yang dibutuhkan dalam aplikasi serta melakukan konfigurasi user interface dan variabel yang dibuat. Selanjutnya aplikasi android akan melakukan koneksi ke *websocket* ke robot dan menjalankan *thread* untuk mengubah nilai sensor yang didapat menjadi getaran pada Perangkat Android, dilanjutkan dengan menjalankan listener untuk tombol reconnect untuk koneksi ulang ke robot dan listener tombol perintah untuk mengirim perintah ke robot.

2.4. Implementasi Perangkat Keras

Implementasi akan dilakukan seperti yang telah dijelaskan pada tahap perancangan sebelumnya dimana sistem merupakan sebuah *mobile robot* yang dapat dikontrol oleh Perangkat Android. Sistem dilengkapi dengan 2 alat gerak berupa roda yang dipasang ke motor DC dan sebuah roda bantu yang diletakkan didepan robot agar robot dapat berdiri dengan seimbang dan dapat bergerak. *Gripper* diletakkan di depan robot beserta motor servo untuk mengontrolnya. Sensor FSR diletakkan diujung capit. Rangkaian dan mikrokontroler diletakkan pada bagian tengah robot seperti yang terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5 Implementasi Perangkat Keras Sistem

2.5. Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak merupakan tahap pembuatan program pada sistem untuk Perangkat Android dan Mikrokontroler NodeMCU agar dapat digunakan sesuai tujuan yang diinginkan. Program yang digunakan pada Mikrokontroler NodeMCU & Perangkat Android yaitu berupa implementasi algoritma program yang telah dirancang sebelumnya.

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dilakukan pengujian dari sistem yang sudah dirancang dan diimplementasikan sebelumnya. Pengujian terdiri dari 3 bagian, yakni pengujian pengiriman perintah dari aplikasi android ke mobile robot, pengujian data sensor dan intensitas getaran, pengujian threshold pegang pada 3 buah objek dengan tingkat kepadatan berbeda beserta pengujian keerasan objek ketika dipegang.

3.1. Pengujian Pengiriman Perintah

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan pengiriman perintah dari Perangkat Android untuk melakukan kontrol *gripper* yakni mengeratkan dan melonggarkan *gripper*, serta mengemudikan gerak robot untuk maju, mundur, belok kanan dan belok kiri. Semua pengujian dilakukan 3 kali untuk semua perintah.

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa terdapat dua pengontrol *gripper* robot yakni tombol Eratkan dan Longgarkan. Dalam satu kali menekan tombol (menahan dan melepaskan) terdapat 2 buah respon sistem, ketika tombol ditekan tahan maka sistem akan menjalankan perintah, ketika tombol dilepas maka sistem akan menghentikan perintah yang diberikan

sebelumnya.

Tabel 1 Hasil Pengujian Pengiriman Data Kendali *Gripper*

Nama Perintah	Tombol	Hasil	Respon Sistem
Eratkan	Ditekan	Sukses	Mengeratkan <i>gripper</i>
	Dilepaskan	Sukses	<i>Gripper</i> berhenti
	Ditekan	Sukses	Mengeratkan <i>gripper</i>
	Dilepaskan	Sukses	<i>Gripper</i> berhenti
	Ditekan	Sukses	Mengeratkan <i>gripper</i>
	Dilepaskan	Sukses	<i>Gripper</i> berhenti
Longgarkan	Ditekan	Sukses	Membuka <i>gripper</i>
	Dilepaskan	Sukses	<i>Gripper</i> berhenti
	Ditekan	Sukses	Membuka <i>gripper</i>
	Dilepaskan	Sukses	<i>Gripper</i> berhenti
	Ditekan	Sukses	Membuka <i>gripper</i>
	Dilepaskan	Sukses	<i>Gripper</i> berhenti

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa terdapat empat pengontrol gerak robot yakni tombol Maju, Kanan, Kanan, dan Kiri. Dalam satu kali menekan tombol (menahan dan melepaskan) terdapat 2 buah respon sistem, ketika tombol ditekan tahan maka sistem akan menjalankan perintah, ketika tombol dilepas maka sistem akan menghentikan perintah yang diberikan sebelumnya.

Tabel 2 Hasil Pengujian Pengiriman Data Kemudi Robot

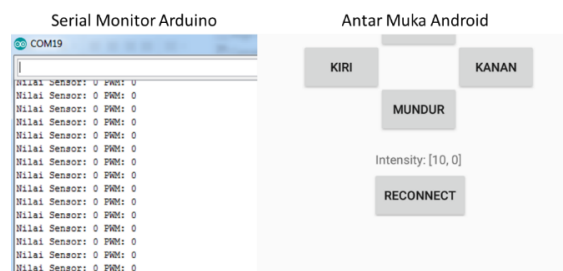
Nama Perintah	Tombol	Hasil	Respon Sistem
Maju	Ditekan	Sukses	Maju
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
	Ditekan	Sukses	Maju
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
	Ditekan	Sukses	Maju
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
Mundur	Ditekan	Sukses	Mundur
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
	Ditekan	Sukses	Mundur
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
	Ditekan	Sukses	Mundur
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
Kanan	Ditekan	Sukses	Belok Kanan
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
	Ditekan	Sukses	Belok Kanan

	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
	Ditekan	Sukses	Belok Kanan
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
Kiri	Ditekan	Sukses	Belok Kiri
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
	Ditekan	Sukses	Belok Kiri
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti
	Ditekan	Sukses	Belok Kiri
	Dilepaskan	Sukses	Berhenti

Dari pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa pengiriman data dari aplikasi android ke sistem dapat dilakukan dengan tingkat keberhasilan 100% untuk setiap perintah yang terdapat pada antar muka.

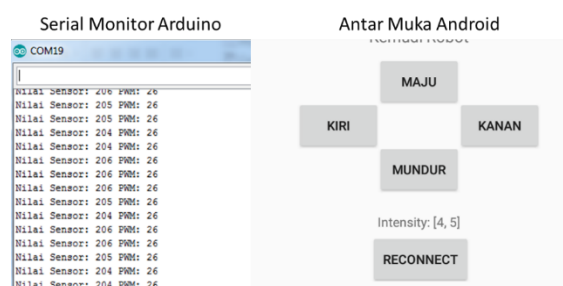
3.2. Pengujian Pengiriman Data Sensor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan pengiriman data sensor tekanan FSR dari *mobile robot* ke Perangkat Android. Data sensor tekanan akan menjadi parameter intensitas getaran pada Perangkat Android.



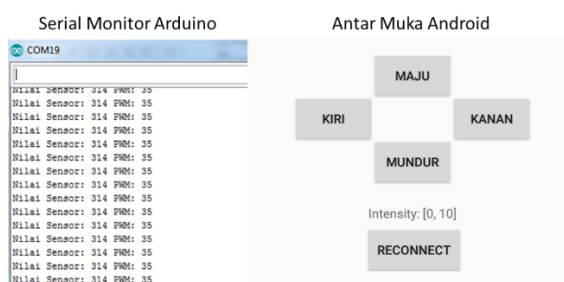
Gambar 6 Nilai Sensor Terhadap Nilai Intensitas Getaran (1)

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara nilai sensor dan intensitas getaran pada perangkat android ketika tidak terdapat tekanan terhadap objek. Perangkat Android menerima nilai sensor tekanan dan memasukan nilai sensor ke perhitungan waktu nyala dan mati getaran sehingga perangkat android tidak bergetar. Pada *textview* aplikasi terlihat waktu nyala getar adalah 0 *millisecond* dan waktu mati getar adalah 10 *millisecond*.



Gambar 7 Nilai Sensor Terhadap Nilai Intensitas Getaran (2)

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara nilai sensor dan intensitas getaran pada perangkat android ketika terdapat tekanan terhadap objek dari *gripper*. Nilai getaran yang diberikan pada smartphone belum mencapai maksimum dikarenakan nilai sensor untuk memberikan getaran maksimum pada perangkat android adalah 300 (nilai getar telah diatur pada program sebesar 300). Terlihat bahwa waktu mati getar adalah 4 *millisecond* dan waktu nyala 5 *millisecond*.



Gambar 8 Nilai Sensor Terhadap Nilai Intensitas Getaran (3)

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara nilai sensor dan intensitas getaran pada perangkat android ketika terdapat tekanan terhadap objek dengan intensitas getaran penuh dikarenakan nilai maksimum getar sudah diatur pada program android sudah tercapai. Terlihat bahwa nilai waktu mati getar adalah 0 *millisecond* dan waktu nyala getar adalah 10 *millisecond*.

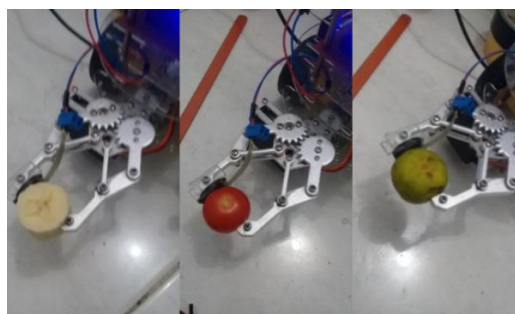
Dari pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa semakin erat *gripper* memegang sebuah objek maka nilai sensor tekanan yang berada pada *gripper* akan bertambah. Nilai sensor yang didapat akan menjadi parameter getar pada perangkat android, semakin erat *gripper* memegang objek maka intensitas getaran pada perangkat android akan semakin tinggi. Waktu nyala dari getar akan meningkat seiring meningkatnya nilai sensor, berlaku sebaliknya pada waktu mati getar. Ketika Perangkat Android tidak bergetar maka waktu mati getar adalah 10 *millisecond* dan waktu nyala 0 *millisecond*, dan ketika Perangkat Android bergetar maksimum waktu mati getar adalah 0 *millisecond* dan waktu nyala getar adalah 10 *millisecond*.

3.3. Pengujian Threshold Pegang Objek

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *threshold* sensor yang tepat untuk memegang objek. Pada pengujian ini akan

dilakukan pemegangan terhadap objek dengan tingkat kepadatan yang berbeda-beda. Objek yang akan dipegang adalah Pisang, Tomat, dan Jeruk Nipis seperti Gambar 9. Nilai *threshold* sensor digunakan untuk menghentikan pengeratan *gripper* agar pengguna tidak melakukan pengeratan terus menerus sehingga dapat merusak objek yang dipegang. Parameter keberhasilan sistem adalah ketika objek yang dipegang *gripper* tidak rusak, dan tidak terjatuh saat robot diberi guncangan. Pengujian akan dilakukan 10 kali setiap *threshold* dengan nilai 50, 100, 150, 200. Pengujian akan dilakukan 10 kali setiap *threshold*.

Untuk mengetahui nilai dari tekanan yang diberikan maka digunakan timbangan sebagai pembanding. Untuk *threshold* 50 nilai yang diberikan pada timbangan adalah 90 gram. Untuk *threshold* 100 nilai yang diberikan timbangan adalah 150 gram. Untuk *threshold* 150 nilai yang diberikan timbangan adalah 225 gram. Untuk *threshold* 200 nilai yang diberikan pada timbangan adalah 325 gram.



Gambar 9 Objek Yang Dipegang

Pada Tabel 3, Pengujian Pisang dimulai dengan *threshold* 50, dimana persentase keberhasilan 20%. Semua objek yang dipegang dengan nilai *threshold* 50 tidak rusak. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang gripper sebanyak 10 kali, 1 pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir, sedangkan 9 lainnya gagal memegang objek dengan erat. Pada *threshold* 100, persentase keberhasilan yang didapat adalah 60%. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang *gripper* sebanyak 10 kali, 6 kali pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir sedangkan tanpa merusak objek, pada 3 pengujian objek yang dipegang terjatuh pada saat guncangan dilakukan, 1 pengujian *gripper* merusak objek. Pada *threshold* 150 persentase keberhasilan yang didapat adalah 20%. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang gripper sebanyak 10 kali, pada 2 pengujian berhasil

memegang objek sampai guncangan berakhir dan objek yang dipegang tidak rusak sedangkan pengujian lainnya gagal dikarenakan *gripper* merusak objek yang dipegang. Pada *threshold* 200 persentase keberhasilan yang didapat adalah 0%. Semua Pisang yang dipengang *gripper* dengan *threshold* 200 rusak, pada 2 pengujian terlihat bahwa objek yang dipegang sudah rusak terlebih dahulu sebelum mencapai *threshold* 200.

Tabel 3 Pengujian Threshold pada Pisang

Threshold	Nilai Sensor (ADC) Ketika Gripper Berhenti	Objek Ketika Threshold Tercapai	Objek Setelah Guncangan 10 Detik
50	60	Tidak Rusak	Jatuh
	80	Tidak Rusak	Jatuh
	120	Tidak Rusak	Tetap
	70	Tidak Rusak	Jatuh
	90	Tidak Rusak	Jatuh
	80	Tidak Rusak	Jatuh
	60	Tidak Rusak	Jatuh
	56	Tidak Rusak	Jatuh
	67	Tidak Rusak	Jatuh
	74	Tidak Rusak	Jatuh
	Persentase Keberhasilan 10%		
	150	Tidak Rusak	Tetap
100	144	Tidak Rusak	Tetap
	140	Tidak Rusak	Jatuh
	130	Rusak	-
	115	Tidak Rusak	Jatuh
	128	Tidak Rusak	Tetap
	130	Tidak Rusak	Tetap
	101	Tidak Rusak	Jatuh
	120	Tidak Rusak	Tetap
	110	Tidak Rusak	Tetap
	Persentase Keberhasilan 60%		

150	150	Rusak	-
	156	Rusak	-
	154	Tidak Rusak	Tetap
	154	Rusak	-
	180	Tidak Rusak	Tetap
	150	Rusak	-
	160	Rusak	-
	170	Rusak	-
	150	Rusak	-
	160	Rusak	-
	Persentase Keberhasilan 20%		
200	203	Rusak	-
	214	Rusak	-
	221	Rusak	-
	-	Rusak	-
	-	Rusak	-
	-	Rusak	-
	202	Rusak	-
	220	Rusak	-
	214	Rusak	-
	240	Rusak	-
	Persentase Keberhasilan 0%		

Pada Tabel 4, Pengujian Tomat dimulai dengan *threshold* 50, dimana persentase keberhasilan 60%. Semua objek yang dipegang dengan nilai *threshold* 50 tidak rusak. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang *gripper* sebanyak 10 kali, 6 pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir, sedangkan 4 lainnya gagal memegang objek dengan erat. Pada *threshold* 100, persentase keberhasilan yang didapat adalah 100%. Semua objek yang dipegang dengan nilai *threshold* 100 tidak rusak. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang *gripper* sebanyak 10 kali, 10 kali pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir. Pada *threshold* 150 persentase keberhasilan yang didapat adalah 100%. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang *gripper* sebanyak 10 kali, 10 kali pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir. Pada *threshold* 200 persentase keberhasilan yang didapat adalah 50%. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang *gripper* sebanyak 10 kali, pada 5 pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir dan objek yang dipegang tidak rusak sedangkan pengujian 5 lainnya gagal dikarenakan *gripper* merusak objek yang dipegang.

Tabel 4 Pengujian *Threshold* pada Tomat

Threshold	Nilai Sensor (ADC) Ketika Gripper Berhenti	Objek Ketika Nilai Threshold Tercapai	Objek Setelah Guncangan 10 Detik
50	90	Tidak Rusak	Jatuh
	82	Tidak Rusak	Tetap
	93	Tidak Rusak	Tetap
	116	Tidak Rusak	Jatuh
	90	Tidak Rusak	Tetap
	97	Tidak Rusak	Tetap
	90	Tidak Rusak	Jatuh
	85	Tidak Rusak	Tetap
	97	Tidak Rusak	Tetap
	93	Tidak Rusak	Jatuh
Persentase Keberhasilan		60%	
100	150	Tidak Rusak	Tetap
	150	Tidak Rusak	Tetap
	163	Tidak Rusak	Tetap
	134	Tidak Rusak	Tetap
	140	Tidak Rusak	Tetap
	154	Tidak Rusak	Tetap
	143	Tidak Rusak	Tetap
	156	Tidak Rusak	Tetap
	143	Tidak Rusak	Tetap
Persentase Keberhasilan		100%	
150	205	Tidak Rusak	Tetap
	197	Tidak Rusak	Tetap
	187	Tidak Rusak	Tetap
	211	Tidak Rusak	Tetap
	215	Tidak Rusak	Tetap
	180	Tidak Rusak	Tetap

200	191	Rusak Tidak Rusak	Tetap
	170	Tidak Rusak	Tetap
	190	Tidak Rusak	Tetap
	161	Tidak Rusak	Tetap
Persentase Keberhasilan		100%	
200	235	Tidak Rusak	Tetap
	215	Tidak Rusak	Tetap
	235	Rusak	-
	240	Rusak	-
	210	Tidak Rusak	Tetap
	210	Tidak Rusak	Tetap
	222	Tidak Rusak	Tetap
	250	Rusak	-
	232	Rusak	-
	252	Rusak	-
Persentase Keberhasilan		50%	

Pada Tabel 5, Pengujian Jeruk Nipis dimulai dengan threshold 50, dimana persentase keberhasilan 10%. Semua objek yang dipegang dengan nilai threshold 50 tidak rusak. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang gripper sebanyak 10 kali, 1 pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir, sedangkan 9 lainnya gagal memegang objek dengan erat. Pada *threshold* 100, persentase keberhasilan yang didapat adalah 100%. Semua objek yang dipegang dengan nilai *threshold* 100 tidak rusak. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang *gripper* sebanyak 10 kali, 5 kali pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir. Pada *threshold* 150, persentase keberhasilan yang didapat adalah 100%. Semua objek yang dipegang dengan nilai *threshold* 150 tidak rusak. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang *gripper* sebanyak 10 kali, 10 kali pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir. Pada *threshold* 200, persentase keberhasilan yang didapat adalah 100%. Semua objek yang dipegang dengan nilai *threshold* 200 tidak rusak. Ketika dilakukan pengujian keamatan pegang *gripper* sebanyak 10 kali, 10 kali pengujian berhasil memegang objek sampai guncangan berakhir.

Tabel 5 Pengujian *Threshold* pada Jeruk Nipis

Threshold	Nilai Sensor (ADC) Ketika Gripper Berhenti	Objek Ketika Nilai Threshold Tercapai	Objek Setelah Guncangan 10 Detik
50	93	Tidak Rusak	Jatuh
	78	Tidak Rusak	Jatuh
	90	Tidak Rusak	Jatuh
	106	Tidak Rusak	Jatuh
	84	Tidak Rusak	Jatuh
	90	Tidak Rusak	Jatuh
	72	Tidak Rusak	Jatuh
	88	Tidak Rusak	Jatuh
	95	Tidak Rusak	Tetap
	60	Tidak Rusak	Jatuh
Persentase Keberhasilan		10%	
100	112	Tidak Rusak	Tetap
	140	Tidak Rusak	Tetap
	120	Tidak Rusak	Tetap
	112	Tidak Rusak	Tetap
	140	Tidak Rusak	Tetap
	125	Tidak Rusak	Tetap
	122	Tidak Rusak	Tetap
	110	Tidak Rusak	Tetap
	106	Tidak Rusak	Tetap
	135	Tidak Rusak	Tetap
Persentase Keberhasilan		100%	
150	180	Tidak Rusak	Tetap
	200	Tidak Rusak	Tetap
	180	Tidak Rusak	Tetap
	177	Tidak Rusak	Tetap
	180	Tidak Rusak	Tetap
	211	Tidak Rusak	Tetap

200	197	Rusak Tidak Rusak	Tetap
	195	Tidak Rusak	Tetap
	170	Tidak Rusak	Tetap
	168	Tidak Rusak	Tetap
Persentase Keberhasilan		100%	
200	230	Tidak Rusak	Tetap
	230	Tidak Rusak	Tetap
	220	Tidak Rusak	Tetap
	250	Tidak Rusak	Tetap
	240	Tidak Rusak	Tetap
	231	Tidak Rusak	Tetap
	243	Tidak Rusak	Tetap
	214	Tidak Rusak	Tetap
	227	Tidak Rusak	Tetap
	207	Tidak Rusak	Tetap
Persentase Keberhasilan		100%	

Berdasarkan hasil pengujian yang didapat, notifikasi serta perintah untuk menghentikan gripper dapat mencegah pengguna untuk melakukan pengeratan terus menerus sehingga menyebabkan objek yang dipegang rusak, terutama objek lunak seperti Pisang dan Tomat. Pada buah pisang, keberhasilan sistem tertinggi adalah 60% pada *threshold* 100, pada buah tomat keberhasilan sistem tertinggi adalah 100% pada *threshold* 100 dan 150, pada buah jeruk nipis persentase keberhasilan sistem tertinggi adalah 100% pada *threshold* 100, 150 dan 200. Perbedaan ini disebabkan oleh tekstur dan kepadatan dari jenis objek yang dipegang berbeda-beda. Nilai sensor yang tidak sesuai dengan nilai *threshold* yang ditentukan dikarenakan tidak terdapatnya sistem umpan balik *error* nilai sensor terhadap nilai *threshold* dalam mengeratkan objek.

4. KESIMPULAN

1. Perancangan dan Implementasi akuisisi data terhadap tekanan yang terdapat antara *gripper* dan objek dilakukan dengan menggunakan sensor tekanan FSR (*Force*

- Sensitive Resistor*) yang diletakan pada *gripper*. Nilai sensor yang didapat akan menjadi parameter intensitas getar pada Perangkat Android terhadap kegerakan objek yang dipegang *gripper*. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, ketika objek belum dipegang maka tidak ada getar pada Perangkat Android, ketika dilakukan pemegangan pada objek nilai sensor akan meningkat dan intensitas getar akan semakin bertambah sampai intensitas maksimum.
2. Untuk mengimplementasikan sistem pengirim *haptic* dan pengendali *mobile robot* digunakan protokol Websocket untuk komunikasi dua arah. Data sensor dikirim secara terus menerus dari *mobile robot* ke Perangkat Android, sedangkan untuk perintah pergerakan robot dan kendali *gripper* dikirim melalui Perangkat Android menuju ke *mobile robot*. Pada hasil pengujian tingkat keberhasilan ketika sistem diberikan masukan oleh pengguna untuk menggerakan robot dan mengendalikan gripper adalah 100%.
 3. Implementasi *haptic* pada sistem dilakukan dengan menggunakan intensitas getar pada Perangkat Android dan penghentian pergerakan *gripper* dengan *threshold* tertentu pada sensor tekanan FSR. Pada Pisang, keberhasilan sistem tertinggi adalah 60% pada *threshold* 100 dalam 10 kali pengujian, pada Tomat keberhasilan sistem tertinggi adalah 100% pada *threshold* 100 dan 150 dalam 10 kali pengujian, pada Jeruk Nipis persentase keberhasilan sistem tertinggi adalah 100% pada *threshold* 100, 150 dan 200 pada 10 kali pengujian. Terdapat *offset* dari nilai *threshold* yang diinginkan ketika gripper dihentikan dikarenakan tidak adanya sistem kendali otomatis yang memberikan umpan balik terhadap *error* yang diberikan pada nilai sensor.
- ### DAFTAR PUSTAKA
- Bräunl, T. (2006). *EMBEDDED ROBOTICS Mobile robot Design and Applications with Embedded Systems*. School of Electrical, Electronic and Computer Engineering The University of Western Australia.
- Espresiff System. (2016). *ESP8266EX Datasheet*. Retrieved from [http://espressif.com/sites/default/files/doc](http://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)
- umentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- Interlink Electronics. (n.d.). *FSR 402 Datasheet*. Interlink Electronics, Inc. . Retrieved from https://www.interlinkelectronics.com/datasheets/Datasheet_FSR.pdf
- Kulkarni, K. (2017). Virtually Controlled Robotic Arm using Haptics. IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH).
- Kumar, R. (2016). A Low Cost Linear Force Feedback Control System for a Two-Fingered Parallel Configuration Gripper. IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors.
- Microchip Technology. (2008). *MCP3004/3008 2.7V 4-Channel/8-Channel 10-Bit A/D Converters with SPI Serial Interface*. Microchip Technology.
- NodeMCU. (2014). *NodeMcu Connect Things EASY*. Retrieved from http://www.nodemcu.com/index_en.html
- Park, T. M. (2016). Force Feedback Based Gripper Control on a Robotic Arm. Budapest, Hungary: Engineering Jubilee IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems .
- Robles-De-La-Torre, G. (2010). International Society for Haptics: Haptic technology, an animated explanation.
- Sujati, I. (2007). *Analisis Sistem Integrasi Jaringan Wifi Dengan Jaringan GSM Indoor Pada Lantai Basement Balai Sidang Jakarta Convention Centre*. Jakarta: Fakultas Teknik Industri, Universitas Tristakti.
- Uddin, W. (2016). A Pneumatic-Driven Haptic Glove With Force And Tactile Feedback. International Conference on Virtual Reality and Visualization.
- Websocket. (2013). *About HTML5 WebSocket*. Retrieved from <https://www.websocket.org/aboutwebsocket.html>