

PENGEMBANGAN *PULSE* OKSIMETER DAN *HEART-RATE SENSOR* DENGAN *INTERNET-OF-THINGS* SEBAGAI EKSTENSI *ROBOT MANIPULATOR* UNTUK PEMERIKSAAN PASIEN COVID-19 TANPA SENTUHAN

FAJAR WIRA ADIKUSUMA¹, DESSY NOVITA^{1,*}, M BAYU SETIAWAN¹, FARIDA A NURJANAH²,
AMARA DWI NATAZIA², IRMA RUSLINA DEFI³

¹Departemen Teknik Elektro, FMIPA, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Jatinangor KM 21, Jatinangor, Kabupaten Sumedang, 45363.

²Program Studi Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Jatinangor KM 21, Jatinangor, Kabupaten Sumedang, 45363.

³Departemen Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi, Rumah Sakit Hasan Sadikin, Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia.

Abstrak. Penggunaan *pulse* oksimeter dengan cara konvensional membutuhkan interaksi dekat antara pasien dengan tenaga kesehatan yang dapat meningkatkan risiko penularan penyakit. Salah satu solusi untuk masalah tersebut adalah dengan memanfaatkan teknologi robotika. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe *pulse* oksimeter yang dapat mengukur saturasi oksigen darah (SpO_2), denyut jantung (HR), dan variabilitas denyut jantung (HRV) serta terintegrasi *Internet of Things* (IoT) dan sistem ekstensi robot manipulator untuk mengurangi risiko penularan penyakit kepada tenaga kesehatan. Penelitian ini juga diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan utilitas robot manipulator di bidang kesehatan. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental untuk menunjukkan konstruksi berdasarkan kriteria teknis, fungsionalitas dan keakuratan dari prototipe serta membandingkan hasil pengujian sensor prototipe dengan *pulse* oksimeter komersial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe telah berhasil melakukan pengambilan data SpO_2 , HR dan HRV secara akurat, otomatis dan tanpa sentuhan langsung dengan memanfaatkan robot manipulator. Dengan demikian, prototipe memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi alat kesehatan dan diaplikasikan pada pusat pelayanan kesehatan.

Kata kunci: *oksimeter, SpO_2 , denyut nadi, robot, manipulator.*

Abstract. The use of pulse oximetry in the conventional way requires close interaction between patients and health workers which can increase the risk of disease transmission. One solution to the problem is to utilize robotics technology. Therefore, this study aims to develop a prototype pulse oximetry that can measure blood oxygen saturation (SpO_2), heart rate (HR), and heart rate variability (HRV) as well as integrated Internet of Things (IoT) and robot manipulator extension system to reduce the risk of disease transmission to health workers. The research was conducted using an experimental method to demonstrate the construction based on technical criteria, functionality and accuracy of the prototype as well as comparing the test results of the prototype sensor with a commercial pulse oximetry. This research is also expected to contribute to the development of robot manipulator utility in the healthcare field. The results showed that the prototype has successfully collected SpO_2 , HR and HRV data accurately, automatically and without direct touch by utilizing a robot manipulator. Thus, the prototype has the potential to be further developed into a medical device and applied to healthcare centers.

keywords: *oximeter, SpO_2 , pulse, robot, manipulator.*

1. Pendahuluan

SARS-CoV-2 (Covid-19) merupakan penyakit berbahaya dengan tingkat penularan yang tinggi. Covid-19 memiliki dua jalur infeksi utama, yaitu melalui kontak langsung dengan benda yang terkontaminasi dan kontak tidak langsung dengan menghirup tetesan yang dikeluarkan melalui bersin [1]. Manifestasi penyakit ini diawali dengan kelelahan, demam, batuk kering, mialgia,

* Email: d.novita@unpad.ac.id

dispnea, hidung tersumbat, sakit kepala, pilek, sakit tenggorokan, muntah dan diare. Setelah itu, pasien dapat mengalami dispnea dan/atau hipoksemia lalu syok septik, ARDS, asidosis metabolik hingga disfungsi koagulasi [2]. Lebih lanjut, berdasarkan *Centers for Disease Control and Prevention*, salah satu populasi yang berisiko tinggi tertular penyakit ini adalah tenaga medis [3]. Salah satu penyebab tingginya risiko penularan Covid-19 pada tenaga medis adalah interaksi dekat yang dibutuhkan pada beberapa prosedur penanganan Covid-19, seperti perawatan, pemberian obat, dan pengambilan data-data kesehatan [4].

Hal tersebut melatarbelakangi munculnya berbagai inovasi alat-alat kesehatan, termasuk *pulse* oksimeter berbasis *Internet-of-Things* (IoT). Perkembangan IoT dalam alat kesehatan dapat mendorong inovasi material untuk membuat perangkat yang lebih ringan, tahan lama, dan efisien. Selain itu, penggunaan sensor-sensor dalam alat kesehatan yang terhubung melalui IoT memerlukan pengembangan material sensor yang dapat memenuhi kebutuhan presisi dan keterjangkauan. Sensor pada perangkat medis *pulse* oksimeter menggunakan material semikonduktor yang berfungsi untuk mengukur kandungan oksigen dalam darah. *Pulse* oksimeter didasarkan pada prinsip bahwa oksihemoglobin (O_2Hb) menyerap lebih banyak cahaya inframerah daripada hemoglobin biasa (HHb), dan HHb menyerap lebih banyak cahaya merah daripada O_2Hb . Dalam kondisi optimal, *pulse* oksimeter tidak menghitung SpO_2 darah vena (dan jaringan stasioner lainnya) dengan menentukan perubahan absorbansi cahaya yang ditransmisikan dari waktu ke waktu [5]. *Pulse* oksimeter IoT memanfaatkan konektivitas internet untuk membuat interkoneksi antara sensor, aktuator, dan peralatan lainnya sehingga sistem dapat bekerja berdasarkan data yang diperoleh secara independent [6].

Beberapa penelitian telah menunjukkan hasil yang memuaskan terkait penggunaan *pulse* oksimeter untuk memonitor pasien Covid-19. Penggunaan *pulse* oksimeter IoT untuk memonitor pasien Covid-19 menunjukkan hasil yang cukup akurat untuk penggunaan lebih lanjut [7]. Namun, dari penggunaan *pulse* oksimeter IoT yang ada, masih terdapat beberapa kekurangan, seperti pemasangannya yang masih membutuhkan interaksi langsung dari tenaga medis, pendataannya masih harus dilakukan secara manual, dan masih menyebabkan kontak dekat antara pasien dengan tenaga kesehatan.

Salah satu solusi dari permasalahan tersebut adalah penggunaan Robot Manipulator. Robot Manipulator adalah jenis lengan mekanik yang dikontrol secara elektronik dengan terdiri dari beberapa penghubung (*link*) untuk melakukan pekerjaan tertentu yang spesifik [8]. Oleh karena itu, pada penelitian dibuat pengembangan *pulse* oksimeter dengan IoT yang dapat menjadi ekstensi dari Robot Manipulator. Dengan menggunakan Robot Manipulator, *pulse* oksimeter dapat dipasangkan kepada pasien tanpa harus terjadi sentuhan antara tenaga medis dengan pasien, kemudian dengan terintegrasinya sistem dengan IoT memungkinkan data yang dihasilkan dapat diakses dari jarak jauh dan diolah lebih lanjut.

Penelitian ini diharapkan akan mempermudah dan mempercepat proses *screening* Covid-19 dan/atau penyakit menular lainnya di pusat kesehatan serta mempercepat penanganan pasien Covid-19 yang kondisi kesehatannya memburuk, tanpa harus membahayakan tenaga medis. Selain itu, walaupun penggunaan Robot Manipulator di Indonesia masih sangat minim, dengan penelitian ini diharapkan utilitas robot manipulator di bidang kesehatan dapat semakin ditingkatkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Eksperimental yang akan menunjukkan konstruksi, fungsionalitas dan keakuratan dari prototipe *Pulse Oksimeter* dan *Heart-Rate Sensor* sebagai ekstensi robot manipulator.

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tiga tahapan yaitu tahap konstruksi, implementasi, dan evaluasi. Pada tahap konstruksi dilakukan perumusan masalah dan hipotesis serta kajian literatur yang akan menghasilkan batasan masalah, kriteria desain, serta analisis kebutuhan. Pada tahap implementasi dilakukan perancangan eksperimental serta pengambilan data dari partisipan acak dengan menggunakan oksimeter standar sebagai alat pembanding. Pada tahap evaluasi dilakukan analisis dari data-data yang didapat, interpretasi hasil, serta pengambilan kesimpulan.

2.2. Batasan Masalah dan Kriteria Desain

Dalam penelitian ini kriteria desain untuk prototipe disusun berdasarkan kebutuhan penyelesaian masalah yang dijelaskan dalam latar belakang yaitu pendeteksian nilai SpO_2 dan PR secara tanpa kontak dengan memanfaatkan robot manipulator. Kriteria desain ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Desain Prototipe.

Parameter		Kriteria
Jenis Sensor		Dapat menghasilkan nilai saturasi oksigen darah (SpO_2), dan denyut nadi (PR)
Ukuran Modul Sensor	Dimensi	<ul style="list-style-type: none"> - Mudah untuk dipasangkan atau dipegang oleh <i>end-effector</i> robot manipulator (Memiliki konektor untuk <i>end-effector</i> dengan panjang dan lebar < 15cm cm) - Tidak menghambat pergerakan robot manipulator
	Berat	Tidak melebihi batas beban angkut dari robot manipulator (< 1 kg)
Komponen Kontrol		<ul style="list-style-type: none"> - Mampu melakukan <i>interface</i> dengan sensor - Mampu melakukan pengolahan data sumber dari sensor menjadi parameter SpO_2 dan PR - Mampu melakukan kendali atau memberikan masukan gerakan terhadap robot manipulator - Memiliki kapabilitas untuk penerapan terhubung kepada jaringan IoT
Utilitas Lain		<ul style="list-style-type: none"> - Mampu melaksanakan skema disinfeksi diri - Mampu menampilkan dan mengunggah hasil pembacaan SpO_2 dan PR

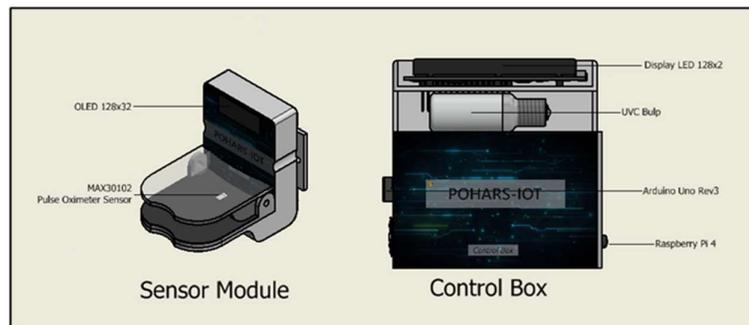
2.3. Desain Prototipe

Rancangan desain prototipe terdiri dari Modul Sensor dan Boks Kontrol. Modul Sensor berisi layar OLED 128×32 yang akan menampilkan instruksi singkat dan sensor *pulse* oksimeter MAX20102

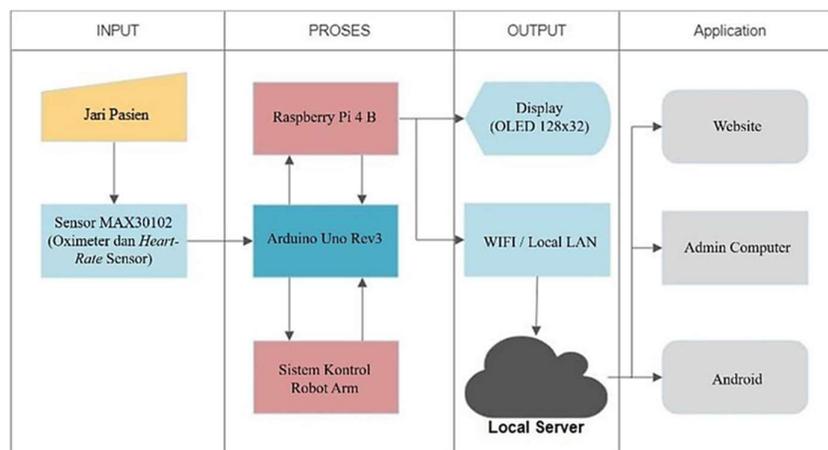
yang akan menghasilkan sinyal *photoplethysmography* (PPG) dari tingkat penyerapan dan transmisi gelombang cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda yang kemudian dapat diolah menjadi nilai SpO_2 , PR dan HRV. MAX30102 adalah sensor *pulse* oksimeter dan *heart-rate* yang terintegrasi. Modul ini juga memuat LED internal, *photodetectors*, elemen optik, dan elektronik dengan derau rendah dengan penolak *ambient light*. Sensor ini digunakan untuk mendapatkan nilai SpO_2 dan untuk menangkap data optik *photoplethysmogram* (PPG) pengguna [9]. Modul sensor ini akan dipasangkan pada *end-effector* robot manipulator.

Boks Kontrol terdiri dari arduino UNO sebagai *interface* sensor MAX30102, Raspberry Pi sebagai komponen kontrol utama, lampu UVC untuk menunjang skema disinfeksi diri, dan *display* LED 16×2 untuk menampilkan hasil pembacaan tanda-tanda vital [10]. Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang memiliki 14 pin I/O digital, 6 input analog, resonator keramik 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), koneksi USB, *header* ICSP, dan tombol *reset*. Papan ini berisi semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler [11]. Raspberry Pi 4 Model B adalah produk terbaru dalam rangkaian mini-komputer Raspberry Pi, dengan prosesor *quad-core* 64-bit, RAM 8 GB, dual-band 2.4/5.0 GHz *wireless* LAN, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, USB 3.0, dan fitur lainnya [12].

Desain prototipe secara keseluruhan ditampilkan pada Gambar 1. Sedangkan alur kerja sistem digambarkan pada Gambar 2. Arduino UNO melalui modul sensor akan mendapatkan sinyal PPG dari jari pasien yang kemudian akan diteruskan pada Raspberry Pi untuk diolah menjadi nilai SpO_2 , PR, dan HRV. Nilai tanda-tanda vital yang didapat tersebut akan ditampilkan pada *display* serta diunggah ke *database* IoT untuk pengap. Selain berperan dalam pengolahan data sensor, Raspberry Pi juga berfungsi untuk memberikan input pergerakan kepada robot manipulator melalui pemrograman Python yang diintegrasikan dengan sistem kontrol robot manipulator.



Gambar 1. Desain prototipe yang terdiri dari modul sensor dan boks kontrol.



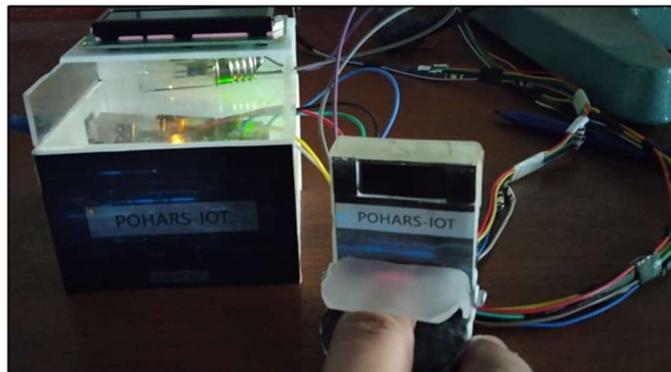
Gambar 2. Fungsi autokorelasi pada dua sistem dengan ukuran partikel yang berbeda.

2.4. Pengambilan dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data primer dari percobaan pada partisipan. Prototipe akan diujicobakan sebanyak 10 kali pada partisipan acak dengan usia diatas 20 tahun dengan persetujuan tertulis. Alat pembanding yang digunakan adalah Yuwell Oxymeter yang merupakan oksimeter komersial yang sering digunakan di pusat pelayanan kesehatan. Data kuantitatif yang didapatkan kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan dan dianalisis untuk membandingkan fungsionalitas dan keakuratan prototipe.

3. Hasil dan Pembahasan

Prototipe yang dihasilkan, yang diberi nama POHARS-IoT, telah berhasil memenuhi kriteria desain yang telah ditentukan sebelumnya serta dapat diaplikasikan dengan Malignant Melanoma Diagnosis Robot Manipulator yang terdapat di Lab. Teknik Elektro FMIPA Universitas Padjadjaran [13]. Gambar 3 menunjukkan prototipe dari penelitian ini.

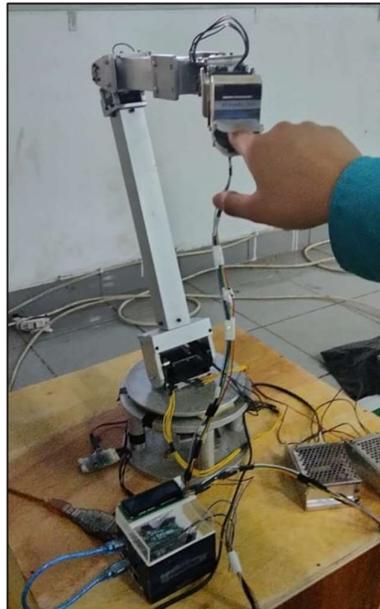


Gambar 3. Hasil prototipe penelitian.

Berdasarkan hasil eksperimen, prototipe POHARS-IoT bekerja dengan memanfaatkan Robot Manipulator untuk berinteraksi dengan pengguna, seperti pada Gambar 4. Modul Sensor POHARS-IoT dapat dipasang atau dijepit pada *end-effector* Robot Manipulator. Boks Kontrol POHARS-IoT dihubungkan kepada modul kendali Robot Manipulator. Boks Kontrol kemudian akan menjalankan program pengendali gerakan robot yang sudah disesuaikan dengan program dasar dari robot yang digunakan.

Posisi awal dari Robot Manipulator adalah mengarahkan dan meletakkan *end-effector* pada tempat yang telah disediakan di atas Boks Kontrol. Posisi ini memungkinkan modul sensor untuk berada tepat di depan lampu UVC yang akan menghilangkan virus pada modul sensor. Ketika *end-effector* sudah berada di posisi awal, lampu UVC akan menyala kemudian, setelah beberapa detik, lampu akan mati untuk menghemat daya. Setelah itu Robot Manipulator akan bersiaga hingga mendapat sinyal mulai, yang menandakan adanya pasien. Setelah itu Boks Kontrol akan mengirim perintah gerakan kepada Robot Manipulator agar *end-effector* Robot Manipulator bergerak mendekat dan mengarah ke pasien untuk memudahkan penggunaan modul sensor *pulse* oksimeter. *Display* OLED pada modul sensor akan menampilkan perintah singkat seperti “Masukkan jari”, “Tahan”, dan “Selesai” yang akan memandu pasien selama proses pengambilan data. Setelah itu, pasien akan melihat hasil pengukuran pada *display* yang ada diatas Boks Kontrol lalu dan Robot Manipulator pun akan kembali ke posisi awal.

Data yang diambil oleh modul sensor akan diolah Arduino Uno lalu dikirimkan ke Raspberry Pi untuk dianalisis. Hasil analisis ini akan menunjukkan nilai SpO_2 dan HR, yang kemudian ditampilkan oleh *display* dan dikirim ke *database* yang kemudian dapat diakses oleh tenaga kesehatan. Data yang telah tersimpan di *database* memungkinkan analisis lebih lanjut, baik menggunakan *deep-learning* maupun metode lain.

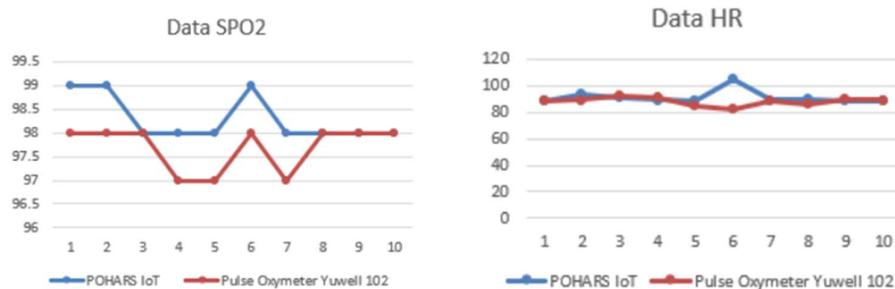


Gambar 4. Integrasi prototipe dengan robot manipulator.

Dalam proses pengambilan data, sensor MAX30102 akan memberikan data-data yang kemudian diolah menjadi grafik cahaya R dan IR serta grafik *Photoplethysmography* (PPG), grafik tersebut kemudian dianalisis oleh Rapsberry Pi menggunakan beberapa metode termasuk *filtering* atau *noise cancellation* yang menghilangkan pengaruh derau di grafik PPG, serta algoritma perhitungan yang akan menghasilkan nilai-nilai akhir berupa SpO_2 dan HR. Hasil percobaan terbatas dari modul

sensor POHARS-IoT dengan data yang dibandingkan dengan pulse oksimeter standar digambarkan pada grafik dalam Gambar 5.

Secara konseptual, POHARS-IoT dapat disinkronisasi dengan Robot Manipulator digital mana pun. Hal ini karena dalam perancangan POHARS-IoT diaplikasikan konsep bernama Sistem Ekstensi Robot Manipulator. Dengan sistem ini POHARS-IoT akan menjadi seolah-olah bagian dari Robot Manipulator itu sendiri. Sistem ekstensi ini memanfaatkan kemampuan *processing* dari POHARS-IoT yang terletak pada kendali utama yaitu Raspberry Pi. Dengan Raspberry Pi, atau komponen mini-komputer lainnya, dapat dibuat program pengendali gerakan yang terdiri dari serangkaian matriks posisi. Basis program pengendali gerakan ini dapat disesuaikan dengan program kendali di Robot Manipulator yang digunakan. Namun perlu diperhatikan, untuk penggunaan Robot Manipulator yang lebih kompleks, dibutuhkan proses pengolahan yang lebih berat sehingga komponen mini-komputer pada POHARS-IoT harus disesuaikan. Beberapa hal perlu diperhatikan pada sistem ekstensi POHARS-IoT, mencakup dua hal utama, yaitu: modul sensor yang dapat dipasangkan atau dipegang oleh Robot Manipulator dan mini-komputer yang dapat mengendalikan Robot Manipulator.



Gambar 5. Hasil uji coba verifikasi sensor POHARS IoT.

Dari segi arsitektur IoT dan kemudahan akses data, POHARS-IoT sudah disesuaikan dan didukung oleh penelitian lain. Arsitektur IoT yang digunakan POHARS IoT terdiri dari 3 *layers*, mengacu yaitu *perception layer*, *network layer*, dan *application layer* [14]. *Perception layer* mengambil data nyata (analog) lalu mengubahnya menjadi sinyal digital. *Network Layer* memproses data yang diterima dari *perception* lalu mentransmisikan data tersebut ke *application layer*. *Application layer* lalu menggunakan data yang telah diproses dari *layer* sebelumnya untuk diaplikasikan. Pada POHARS-IoT, data dari sensor akan dikirim menuju Raspberry Pi untuk diolah lalu ditransmisikan melalui WIFI ke aplikasi. Dalam percobaan yang dilakukan, aplikasi yang digunakan adalah Thingspeak. Aplikasi ini memungkinkan data dapat diakses oleh tenaga kesehatan melalui *Smartphone* atau *Personal Computer* (PC).

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang prototipe *pulse* oksimeter yang dapat mengintegrasikan IoT dan dapat dipasang pada Robot Manipulator dengan menggunakan konsep sistem ekstensi robot manipulator. Dengan menggunakan Robot Manipulator, *pulse* oksimeter dapat dipasangkan pada

pasien tanpa harus terjadi sentuhan antara tenaga medis dengan pasien, kemudian terintegrasinya sistem dengan IoT memungkinkan data yang dihasilkan dapat diakses dari jarak jauh dan diolah lebih lanjut. Prototipe penelitian ini, yang diberi nama POHARS-IoT, telah berhasil dibuat dan memenuhi kriteria-kriteria desain yang telah ditentukan. POHARS-IoT bekerja sesuai dengan cara kerja yang telah disebutkan dan mampu merealisasikan pengambilan data *pulse* oksimeter tanpa ada sentuhan antara pasien dengan tenaga kesehatan. Alat ini memiliki keunggulan dan potensi yang tinggi sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut seperti penggunaan modul sensor dengan sensor tanda-tanda vital lainnya.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh fasilitas perkuliahan dan laboratorium riset dan tugas akhir Robotics, Artificial Intelligent, Internet of Things & Biomedical Engineering (RAIoTBE) Teknik Elektro Universitas Padjadjaran dengan robot manipulator pendanaan dari Hibah DIKTI & Hibah Internal UNPAD sedangkan POHARS-IoT dari dana PKM-KC Kemendikbud RI.

Daftar Pustaka

- [1] Ningthoujam R. (2020). *COVID 19 can Spread Through Breathing, Talking, Study Estimates*. *Curr Med Res Pract*. 10(3):132-133.
- [2] Li H, Liu SM, Yu XH, Tang SL, Tang CK. (2020). *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Current Status and Future Perspectives*. *Int J Antimicrob Agents*. Vol. 55(5):105951.
- [3] Fell A, Beaudoi A, D'Heilly P, et al. (2020). *SARS-CoV-2 Exposure and Infection Among Health Care Personnel — Minnesota*. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 69(43); 1605-1610.
- [4] Chowdhury SD and Oommen AM. (2020). *Epidemiology of COVID-19*. *J Dig Endosc*. Vol. 11:3-7.
- [5] Chan ED, Chan MM, Chan MM. (2013). *Pulse oximetry: Understanding Its Basic Principles Facilitates Appreciation of Its Limitations*. *Respir Med*. Vol.107(6):789-799.
- [6] Mehta M. (2015). *ESP8266 : A Breakthrough in Wireless Sensor Networks and Internet of Things*. *Int J Electron Commun Eng Technol*. Vol. 6(8):7-11.
- [7] Miron-Alexe V. (2020). *IoT Pulse Oximetry Status Monitoring For Home Quarantined Covid-19 Patients*. *J Sci Arts*. Vol. 20(4):1029-1036.
- [8] Satya Durga Manohar Sahu V, Samal P, Kumar Panigrahi C. (2022). *Modelling, and Control Techniques of Robotic Manipulators: A Review*. *Mater Today Proc*. 56:2758-2766.
- [9] Maxim Integrated. (2021). *MAX30102 - High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health*. Maxim Integr. Published online:1-32. <https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors/MAX30102.html>.
- [10] Bhardwaj SK, Singh H, Deep A, et al. (2021). *UVC-based Photoinactivation as an Efficient Tool to Control the Transmission of Coronaviruses*. *Sci Total Environ*.;792:148548. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:235662838>.
- [11] Arduino. *Arduino Uno REV 3*. (2021). Accessed February 26, 2021. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- [12] Raspberry Pi. *Raspberry Pi 4 Model B*. (2021). Accessed February 26, 2021. <https://datasheets.raspberrypi.org/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf>.
- [13] Novita D, Hasim MYS, Wibawa BM, Turnip A. (2021). *3D Control System of Arm Robot Prototype for Skin Cancer Detection*. In: 2021 International Conference on Artificial

Intelligence and Mechatronics Systems (AIMS). 1-7.

- [14] Romdhani I, Abdmeziem R, Tandjaoui D. (2015). *Architecting the Internet of Things: State of the Art*. In book: Robots and Sensor Clouds, Special edition in the “Studies in Systems, Decision and Control”. Springer International Publishing.