

Estimasi Galat Sebagai Kompensasi Hasil Pembacaan Sensor Suhu Non-Sentuh Menggunakan Regresi Linier

Error Estimation as Compensation for Non-Contact Temperature Sensor Reading Results Using Linear Regression

Sevia Indah Purnama¹, Mas Aly Afandi², Sheila Shelvia Selamat³, Dimas Adiputra⁴

¹Teknik Biomedis, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

^{2,3}Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

⁴Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom Surabaya

E-mail: ¹sevia@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan penerapan metode regresi linear untuk mengestimasi galat sebagai kompensasi untuk menurunkan galat pembacaan sensor suhu non-sentuh. Hal ini terlihat pada masa pandemi COVID – 19 melalui penggunaan *thermo gun* untuk mengukur suhu seseorang membutuhkan jarak yang sangat dekat. Penelitian dilakukan dengan mengukur objek air yang merupakan unsur terbanyak pada tubuh manusia. Suhu pengukuran telah dikondisikan pada 36°C, 37°C, dan 38°C dengan masing-masing variasi jarak 2cm, 4cm, dan 6cm. Hasil dari validasi menunjukkan model dapat menurunkan galat pada suhu 36°C pada masing-masing jarak sebesar 4,43%, 8,00%, dan 8,70% pada jarak 2cm, 4cm, dan 6cm. Validasi berdasarkan MAE sebelum dimodelkan adalah 2,91 dan nilai MAE setelah dimodelkan adalah 0,37. Penurunan nilai galat pada suhu 37°C untuk masing-masing jarak 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 5,94%, 8,72%, dan 7,34%. Nilai validasi berdasarkan MAE sebelum dimodelkan adalah 3,02 dan nilai MAE setelah dimodelkan adalah 0,27. Penurunan nilai galat pada suhu 38°C untuk masing-masing jarak 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 6,27%, 8,67%, dan 11,03%. Nilai validasi berdasarkan MAE sebelum dilakukan permodelan adalah 3,87 dan nilai MAE setelah dimodelkan adalah 0,57. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa estimasi galat sebagai kompensasi hasil pembacaan sensor suhu non-sentuh mampu menurunkan galat hasil pembacaan sensor.

Kata kunci: kompensasi galat, regresi linear, sensor suhu non-sentuh

Abstract

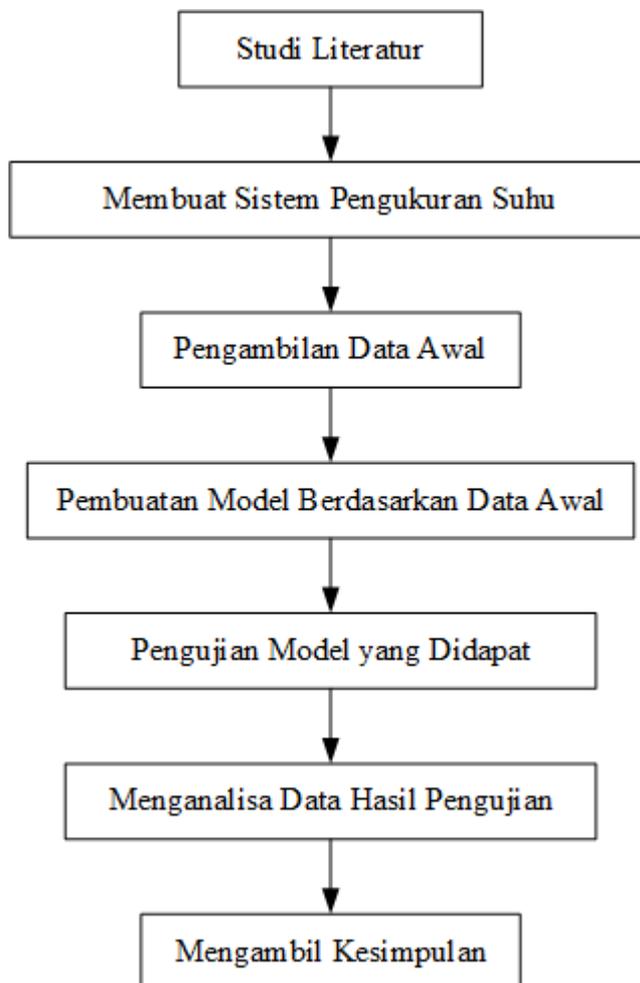
This study aims to envice the application of the linear regression method for estimating the error to reduce the error reading of non-touch temperature sensors. The error measurement was seen during pandemic COVID-19 by measuring body temperature with thermogun. The various distance has affected the reading progress. The research was conducted by measuring air objects which are the most abundant element in the human body. Temperature measurements have been conditioned at 36°C, 37°C, and 38°C with variations in distance of 2cm, 4cm, and 6cm respectively during data collection and testing. The results of the validation show that the designed model reduces the error at 36°C at a distance of 4.43%, 8.00% and 8.70% at a distance of 2cm, 4cm and 6cm. The validation value based on the MAE before modeling is 2.91 and the MAE value after modeling is 0.37. The reduction in error values at 37°C for distances of 2cm, 4cm and 6cm respectively were 5.94%, 8.72% and 7.34%. The validation value based on the MAE before modeling is 3.02 and the MAE value after modeling is 0.27. The reduction in error values at 38°C for distances of 2cm, 4cm, and 6cm were 6.27%, 8.67% and 11.03%, respectively. The validation value based on the MAE before modeling is 3.87 and the MAE value after modeling is 0.57. Based on these data it can be concluded that the estimated error as a reading of the non-touch temperature sensor reading results is able to reduce the error of sensor reading results.

Keywords: error compensation, linear regression, contctless temperature sensor

1. PENDAHULUAN

Suhu adalah parameter yang umum diukur untuk menentukan sebuah kondisi baik dalam pemanfaatannya di dunia manufaktur, kesehatan, tata ruang, dan lain sebagainya [1]. Kebutuhan cara pengukuran suhu juga memiliki berbagai macam cara [2]. Salah satunya dengan memanfaatkan kontak langsung dengan benda atau objek yang ingin diukur suhunya, tanpa kontak langsung dengan objek, dengan memanfaatkan perwakilan suhu dengan benda yang lain di lingkungan yang sama, dan lain lain [3]. Salah satu metode pengukuran yang umum dilakukan terutama pasca pandemi COVID – 19 adalah pengukuran tanpa kontak langsung [4][5]. Berbagai macam alat pengukuran suhu telah banyak pula digunakan untuk pengukuran tanpa kontak langsung [6][7][8]. Dari berbagai perangkat tersebut memiliki satu kesamaan yaitu menggunakan fenomena infra merah. Pengukuran suhu dengan fenomena infra merah memiliki luaran data tunggal dan data majemuk [9][10][11]. Data tunggal artinya suhu yang didapatkan dari perangkat ini berupa satu data saja seperti ditemui pada thermo gun. Sedangkan data majemuk dapat ditemui pada perangkat yang luarannya adalah gambar pemetaan suhu objek seperti pada kamera thermal [12][13][14][15][16]. Kelemahan pada pembacaan suhu memanfaatkan fenomena infra merah yaitu hasil pembacaan yang tidak stabil dan akurasinya yang jauh jika dibandingkan dengan pengukuran dengan alat ukur yang bersentuhan langsung dengan object yang ingin diukur. Penelitian terkait peningkatan akurasi sensor pembacaan suhu berbasis non-contact sangat penting [17]. Hal ini dikarenakan, metode pengukuran non-contact bermanfaat untuk berbagai sector seperti industri, instrumentasi, dan healthcare [15][18][19][20][21]. Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, penelitian untuk memodelkan data suhu berbasis luaran dari sensor atau perangkat pengukuran suhu non-contact diusulkan. Penelitian ini akan menguji dampak dari pengaruh jarak terhadap pembacaan suhu non-contact. Output penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk mendesain sebuah perangkat yang dapat di implementasikan untuk mengukur suhu. Pemanfaatan yang paling berdampak dapat ditemui di lingkungan yang erat dengan kerumunan seperti sekolah, mall, tempat perbelanjaan, kantor dan lain sebagainya sebagai upaya untuk tetap waspada di masa pasca pandemi Covid-19. Pemanfaatan inframerah memberikan banyak manfaat karena kemampuannya dalam memberikan informasi suhu tanpa perlu bersinggungan langsung dengan objek [22]. Parameter suhu tersebut dijadikan sebagai input untuk pengambilan keputusan, penentuan kondisi objek, maupun sebagai penanda untuk menuju langkah selanjutnya dalam sebuah proses. Pemanfaatan pengukuran suhu berbasis inframerah juga dilakukan oleh peneliti sebelumnya. penelitian terkait pemanfaatan pengukuran suhu berbasis inframerah telah dilakukan peneliti di tahun 2021 [23]. Hasil dari penelitian tersebut merujuk kepada hipotesa dimana pengukuran suhu berbasis inframerah memiliki kelemahan. Kelemahan tersebut ditunjukkan pada nilai pengukuran suhu yang berubah-ubah dan sering kali tidak sesuai ketika dibandingkan dengan perangkat pengukuran suhu berbasis kontak langsung dengan object. Fenomena tersebut ternyata juga ditemui oleh peneliti lain [24]. Terlihat bahwa penelitian sebelumnya juga melakukan peningkatan akurasi dari pembacaan parameter suhu berbasis inframerah [25]. Beberapa peneliti melakukan pengembangan pada sistem hardware untuk meningkatkan hasil pembacaan suhu berbasis inframerah [26]. Peningkatan pembacaan suhu menggunakan hardware memiliki kelemahan yakni kerumitan dalam mendesain perangkatnya. Penelitian yang diusulkan memiliki sudut pandang lain [27] di mana sudut pandang yang diambil adalah pengolahan data di mana data pembacaan parameter inframerah diolah terlebih dahulu dengan regresi linear sebelum digunakan sebagai hasil akhir pembacaan [28]. Metode regresi linear sendiri telah banyak diterapkan untuk peningkatan akurasi di berbagai sensor seperti sensor kelembapan, sensor pH, dan sensor intensitas cahaya [29][30][31]. Penelitian ini memanfaatkan jarak sebagai variabel bebas dan suhu sebagai variabel terikat memiliki dugaan peningkatan akurasi dari pengukuran suhu berbasis inframerah. Peningkatan akurasi berbasis pengolahan data memiliki berbagai manfaat yaitu perekayasa data yang lebih sederhana, dapat langsung diterapkan, dan efisien dalam pengembangannya. Dampak tersebut menjadi dasar dari tujuan penelitian untuk mengembangkan perangkat pembacaan parameter suhu berbasis inframerah menggunakan metode regresi linear menjadi penting

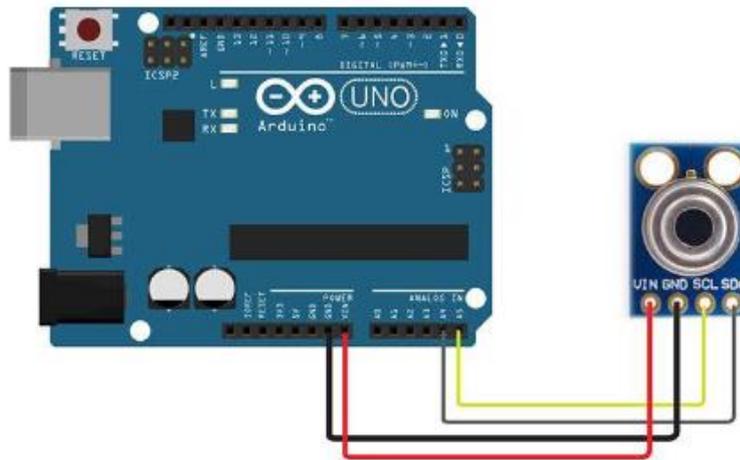
2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Tahapan Metode Penelitian

Tahapan metode penelitian dapat ditinjau pada Gambar 1. Tahap pertama dimulai dengan melakukan studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk menemukan gap penelitian dengan membandingkan hasil dari penelitian sebelumnya. Tahap ini dilakukan dengan membaca berbagai penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti lain dengan memperhatikan temuan setiap penelitian. Hasil dari tahap studi literatur adalah ditemukannya gap penelitian mengenai parameter jarak yang dapat digunakan untuk mengkompensasi galat pengukuran suhu. Tahap kedua adalah pembuatan sistem pengukuran suhu. Pada tahap ini dibuat sistem yang terdiri dari perangkat keras serta perangkat lunak. Kebutuhan perangkat keras meliputi mikrokontroler, sensor suhu non-sentuh, dan sensor jarak. Kebutuhan perangkat lunak meliputi perangkat lunak *Arduino Integrated Development Environment (IDE)* untuk melakukan penanaman program pada mikrokontroler. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data awal. Tahap ini meliputi pengambilan data awal untuk mengetahui hubungan jarak dan galat pengukuran suhu sehingga menjadi dasar pembuatan model yang diusulkan. Tahap selanjutnya pengujian model. Pengujian ini menggunakan model yang telah ditemukan pada tahap selanjutnya dengan melakukan pengukuran ulang menggunakan objek yang sama. Tahap selanjutnya adalah menganalisa hasil data setelah penerapan model ke sistem yang telah dibuat. Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan hasil pembacaan sebelum dan sesudah menerapkan model pada sistem.

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan 4 tahap yaitu tahap pembuatan perangkat, tahap pengambilan data awal, dan tahap perancangan model. Tahap pembuatan perangkat dilakukan untuk mengkasas hasil pembacaan sensor suhu non-sentuh. Sensor suhu yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor MLX90614. Sensor ini menggunakan komunikasi *Inter Integrated Circuit* (I²C) agar dapat mengakses hasil pembacaan sensor suhu. Komunikasi I²C dapat dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler ATMEGA 328 yang terangkai dengan baik pada papan Arduino UNO. Tahap pembuatan perangkat berfokus pada bagaimana mengkasas sensor MLX90614 menggunakan Arduino UNO.



Gambar 2. Rangkaian Tahap Pembuatan Perangkat

Hubungan jalur kabel pada perangkat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Jalur VIN pada sensor terhubung dengan jalur 5V pada Arduino, GND pada sensor terhubung dengan GND pada Arduino, SCL pada sensor terhubung dengan A5 pada Arduino, dan SDA pada sensor terhubung dengan A4 pada Arduino.

Setelah perangkat dibuat dan dapat memberikan hasil pembacaan sensor suhu MLX90614, Langkah selanjutnya adalah pengambilan data dari berbagai variable jarak dan suhu. Hal ini diperlukan untuk membuat sebuah model persamaan estimasi error. Jarak yang digunakan pada penelitian ini adalah 2cm, 4cm, dan 6cm sedangkan variable suhu yang diambil adalah 36°C, 37°C, dan 38°C. Banyaknya pengambilan data pada tahap ini adalah rata-rata dari 30 data untuk masing-masing variasi suhu dengan variasi jaraknya. Objek yang diukur pada penelitian adalah air yang dipanaskan mencapai suhu yang diinginkan.

Tabel 1. Pengambilan Data Awal untuk Pembuatan Model

Suhu Jarak	T		
	36°C	37°C	38°C
2cm	34,07°C	34,62°C	35,31°C
4cm	32,97°C	33,74°C	34,02°C
6cm	32,36°C	33,62°C	32,63°C

Data awal untuk pembuatan model ditunjukkan pada Tabel 1. Simbol T pada tabel merujuk pada suhu yang didapatkan dari thermometer yang bersentuhan langsung dengan objek. Data pada Tabel 1 merupakan hasil perbandingan antara thermometer yang bersentuhan langsung dengan objek dibandingkan dengan nilai luaran yang dihasilkan oleh sensor suhu non-sentuh MLX90614. Perbandingan ini digunakan untuk mendapatkan dugaan awal mengenai karakteristik pembacaan sensor non sentuh terhadap thermometer yang mengukur objek secara langsung. Hasil pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa sensor non-sentuh memiliki galat yang tinggi dibandingkan dengan thermometer. Galat tersebut memiliki karakteristik linier dengan jarak. Semakin jauh jarak sensor non sentuh terhadap objek, maka semakin tinggi pula galat yang

terjadi. Masalah ini dalam matematika disebut juga permasalahan regresi dengan karakteristik linier.

Setelah mengetahui karakteristik dan permasalahan yang terjadi pada sensor suhu non-sentuh, tahap selanjutnya adalah perancangan model. Gagasan dari penelitian ini adalah bagaimana mengestimasi galat terhadap jarak sebagai bagian dari kompensasi luaran sensor suhu non-sentuh agar pembacaannya menjadi lebih akurat walaupun dengan jarak yang berbeda.

$$T' = T + e \quad (1)$$

$$e = dx + c \quad (2)$$

$$x = \frac{n \sum de - (\sum d) (\sum e)}{n \sum d^2 - (\sum d)^2} \quad (3)$$

$$c = \frac{(\sum e)(\sum d^2) - (\sum d) (\sum de)}{n \sum d^2 - (\sum d)^2} \quad (4)$$

$$T' = T + d \left(\frac{n \sum de - (\sum d) (\sum e)}{n \sum d^2 - (\sum d)^2} \right) + \left(\frac{(\sum e)(\sum d^2) - (\sum d) (\sum de)}{n \sum d^2 - (\sum d)^2} \right) \quad (5)$$

Luaran hasil pembacaan sensor tidak langsung dianggap sebagai hasil final melainkan luaran yang perlu diolah terlebih dahulu. Pada persamaan (1), T' merupakan output sensor yang diolah terlebih dahulu. Pengolahan dilakukan dengan menambahkan T yang merupakan luaran asli dari sensor dengan e yang merupakan galat yang akan diestimasi. Tanda tambah didasarkan pada data Tabel 1 dimana hasil pembacaan sensor non-sentuh selalu kurang dari hasil yang seharusnya. Nilai e akan diestimasi menggunakan persamaan regresi linear karena galat memiliki korelasi yang erat dengan jarak d menggunakan persamaan 2. dimana x adalah *slope* yang dihitung menggunakan persamaan 3 dan c adalah *intercept* yang dihitung menggunakan persamaan 4. Nilai dari d dan e didapatkan dari Tabel 1 dan hasil akhir dari substitusi untuk mendapatkan nilai T' ditunjukkan pada persamaan 5. Hasil dari perhitungan model didapatkan nilai x adalah 0,44 dan nilai c adalah 1,49.

$$T' = T + 0,44d + 1,49 \quad (6)$$

Setelah menghitung nilai x dan c maka didapatkan sebuah model final yang ditunjukkan pada persamaan 6. Model tersebut akan di tanamkan dalam program mikrokontroler. Pembacaan secara konvensional yang awalnya hanya membaca luaran dari sensor suhu non-sentuh MLX90614 tanpa adanya pemrosesan dan memiliki galat tinggi seiring dengan bertambahnya jarak. Model diharapkan dapat meningkatkan hasil dari pembacaan sensor suhu non-sentuh menjadi lebih baik walaupun dengan adanya jarak. Nilai dari x dan c hasil dari permodelan dapat berbeda untuk sensor yang berbeda sehingga dalam menggunakan metode ini perlu untuk mendapatkan data karakteristik pada Tabel 1 terlebih dahulu.

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |y_i - y'_i| \quad (7)$$

Validasi dari hasil pembacaan sensor sebelum dan sesudah menggunakan model dihitung menggunakan persamaan *Mean Absolut Error* (MAE) pada persamaan 7. Dimana m adalah banyaknya data pengujian, y_i adalah data ke- i untuk data yang seharusnya, dan y'_i adalah data ke- i untuk data setelah permodelan. Validasi dibutuhkan untuk meninjau seberapa jauh penurunan galat yang dihasilkan setelah permodelan kompensasi galat terhadap jarak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan model dari hasil pengambilan data awal, langkah selanjutnya adalah menguji model yang didapatkan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan luaran sensor sebelum dimodelkan dan setelah dimodelkan. Pengujian dimaksudkan untuk melihat penurunan galat yang didapatkan setelah menanamkan model pada perangkat. Pengujian dilakukan dengan mengambil data baru sebanyak 10 data untuk tiap-tiap variasi suhu 36°C, 37°C, dan 38°C pada jarak 2cm, 4cm, dan 6cm. Objek yang di ukur pada pengambilan data baru ini juga menggunakan objek air.

Tabel 2. Pengambilan Data Baru pada Suhu 36°C

No	2cm				4cm				6cm			
	T(°C)	T'(°C)	e (%)	e' (%)	T(°C)	T'(°C)	e (%)	e' (%)	T(°C)	T'(°C)	e (%)	e' (%)
1	33,91	36,30	5,81	0,84	32,83	36,12	8,81	0,34	32,45	36,64	9,86	1,78
2	34,01	36,40	5,53	1,12	32,91	36,20	8,58	0,56	32,45	36,64	9,86	1,78
3	34,01	36,40	5,53	1,12	32,89	36,18	8,64	0,50	32,35	36,54	10,14	1,50
4	34,07	36,46	5,36	1,28	32,77	36,06	8,97	0,17	32,45	36,64	9,86	1,78
5	33,99	36,38	5,58	1,06	32,85	36,14	8,75	0,39	32,39	36,58	10,03	1,61
6	34,03	36,42	5,47	1,17	32,95	36,24	8,47	0,67	32,31	36,50	10,25	1,39
7	34,03	36,42	5,47	1,17	32,97	36,26	8,42	0,73	32,35	36,54	10,14	1,50
8	34,01	36,40	5,53	1,12	33,03	36,32	8,25	0,89	32,21	36,40	10,53	1,11
9	34,07	36,46	5,36	1,28	32,99	36,28	8,36	0,78	32,17	36,36	10,64	1,00
10	33,93	36,32	5,75	0,90	32,95	36,24	8,47	0,67	32,25	36,44	10,42	1,22
AVG	34,01	36,40	5,54	1,11	32,91	36,21	8,57	0,57	32,34	36,53	10,17	1,47
MIN	33,91	36,30	5,36	0,84	32,77	36,06	8,25	0,17	32,17	36,36	9,86	1,00
MAX	34,07	36,46	5,81	1,28	33,03	36,32	8,97	0,89	32,45	36,64	10,64	1,78

Hasil pengambilan data baru sebanyak 10 data pada suhu 36°C dengan berbagai variasi jarak dapat dilihat pada Tabel 2. Secara umum, nilai pembacaan suhu idelanya menghasilkan nilai yang sama dengan berbagai jarak yang sama karena objek yang diukur adalah sama. Hasil dari Tabel 2 menunjukkan bahwa model yang didapatkan menurunkan galat dari pembacaan sensor non-sentuh. Hasil dari rata-rata 10 data menunjukkan penurunan galat dari 5,54% menjadi 1,11% pada jarak 2cm, penurunan juga terjadi dari 8,57% menjadi 0,57% pada jarak 4cm, demikian juga pada jarak 6cm juga terjadi penurunan rata-rata galat dari 10,17% menjadi 1,47%. Masing-masing galat yang terjadi pada jarak pengukuran objek dari 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 5,54%, 8,57%, dan 10,17%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan objek yang sama, kesalahan pembacaan sensor non-sentuh akan meningkat seiring dengan bertambahnya jarak antara sensor dan objek yang akan di ukur suhunya. Setelah menerapkan permodelan pada persamaan 6, masing-masing galat pada jarak 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 1,11%, 0,57%, dan 1,47%. Terlihat bahwa setelah menerapkan model yang didapatkan, terjadi penurunan galat dan galat menjadi lebih stabil dan tidak banyak berubah dibandingkan dengan sebelum menggunakan permodelan.

Tabel 3. Pengambilan Data Baru pada Suhu 37°C

No	2cm				4cm				6cm			
	T(°C)	T'(°C)	e (%)	e' (%)	T(°C)	T'(°C)	e (%)	e' (%)	T(°C)	T'(°C)	e (%)	e' (%)
1	34,71	37,10	6,19	0,28	33,91	37,20	8,35	0,54	33,55	37,74	9,32	2,00
2	34,53	36,92	6,68	0,21	33,77	37,06	8,73	0,17	33,51	37,70	9,43	1,89
3	34,61	37,00	6,46	0,01	33,61	36,90	9,16	0,27	33,55	37,74	9,32	2,00
4	34,67	37,06	6,30	0,17	33,69	36,98	8,95	0,05	33,65	37,84	9,05	2,27
5	34,81	37,20	5,92	0,55	33,69	36,98	8,95	0,05	33,57	37,76	9,27	2,05
6	34,71	37,10	6,19	0,28	33,77	37,06	8,73	0,17	33,51	37,70	9,43	1,89
7	34,81	37,20	5,92	0,55	33,61	36,90	9,16	0,27	33,51	37,70	9,43	1,89
8	34,75	37,14	6,08	0,38	33,63	36,92	9,11	0,21	33,55	37,74	9,32	2,00
9	34,77	37,16	6,03	0,44	33,61	36,90	9,16	0,27	33,57	37,76	9,27	2,05
10	34,55	36,94	6,62	0,16	33,63	36,92	9,11	0,21	33,51	37,70	9,43	1,89
AVG	34,69	37,08	6,24	0,30	33,69	36,98	8,94	0,22	33,55	37,74	9,33	1,99
MIN	34,53	36,92	5,92	0,01	33,61	36,90	8,35	0,05	33,51	37,70	9,05	1,89
MAX	34,81	37,20	6,68	0,55	33,91	37,20	9,16	0,54	33,65	37,84	9,43	2,27

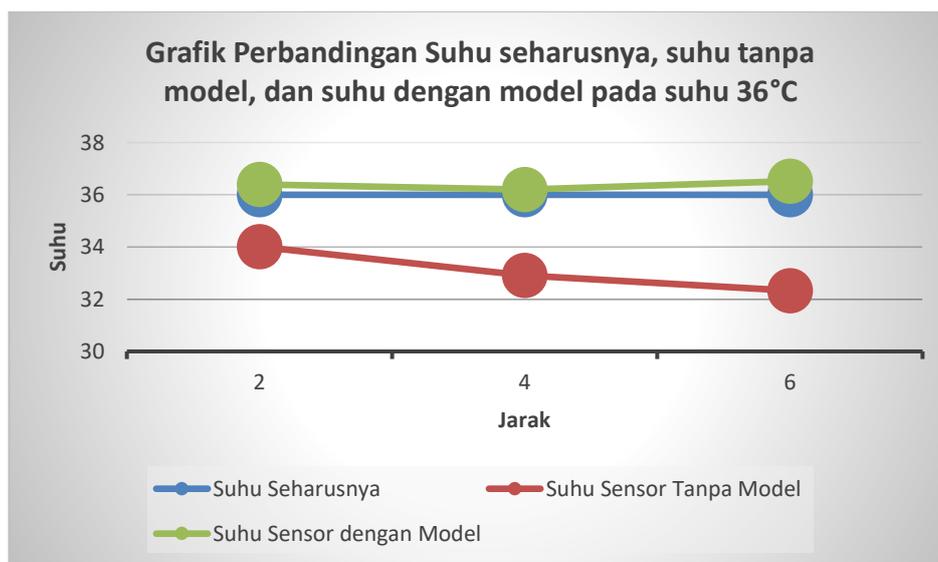
Hasil pengambilan data baru sebanyak 10 data pada suhu 37°C dapat dilihat pada Tabel

3. Hasil dari Tabel 3 menunjukkan bahwa model yang didapatkan menurunkan galat dari pembacaan sensor non-sentuh. Hasil dari rata-rata 10 data menunjukkan penurunan galat dari 6,24% menjadi 0,30% pada jarak 2cm, penurunan juga terjadi dari 8,94% menjadi 0,22% pada jarak 4cm, demikian juga pada jarak 6cm juga terjadi penurunan rata-rata galat dari 9,33% menjadi 1,99%. Masing-masing galat yang terjadi pada jarak pengukuran objek dari 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 6,24%, 8,94%, dan 9,33%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan objek yang sama, kesalahan pembacaan sensor non-sentuh akan meningkat seiring dengan bertambahnya jarak. Setelah menerapkan permodelan pada persamaan 6, masing-masing galat pada jarak 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 0,30%, 0,22%, dan 1,99%.

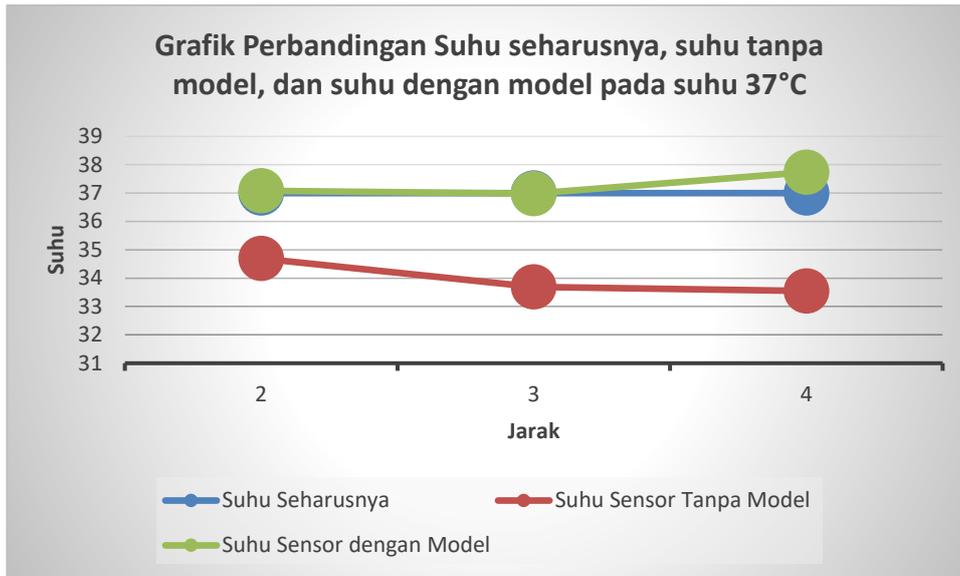
Tabel 4. Pengambilan Data Baru pada Suhu 38°C

No	2cm				4cm				6cm			
	T(°C)	T'(°C)	e (%)	e' (%)	T(°C)	T'(°C)	e (%)	e' (%)	T(°C)	T'(°C)	e (%)	e' (%)
1	35,45	37,84	6,71	0,41	34,23	37,52	9,92	1,26	32,67	36,86	14,03	3,00
2	35,47	37,86	6,66	0,36	34,21	37,50	9,97	1,31	32,75	36,94	13,82	2,79
3	35,39	37,78	6,87	0,57	34,13	37,42	10,18	1,52	32,67	36,86	14,03	3,00
4	35,39	37,78	6,87	0,57	34,15	37,44	10,13	1,47	32,63	36,82	14,13	3,11
5	35,45	37,84	6,71	0,41	34,09	37,38	10,29	1,63	32,71	36,90	13,92	2,90
6	35,53	37,92	6,50	0,20	34,23	37,52	9,92	1,26	32,83	37,02	13,61	2,58
7	35,47	37,86	6,66	0,36	34,25	37,54	9,87	1,21	32,91	37,10	13,39	2,37
8	35,39	37,78	6,87	0,57	34,15	37,44	10,13	1,47	32,83	37,02	13,61	2,58
9	35,67	38,06	6,13	0,16	34,09	37,38	10,29	1,63	32,83	37,02	13,61	2,58
10	35,61	38,00	6,29	0,01	34,07	37,36	10,34	1,68	32,77	36,96	13,76	2,74
AVG	35,48	37,87	6,63	0,36	34,16	37,45	10,11	1,44	32,76	36,95	13,79	2,76
MIN	35,39	37,78	6,13	0,01	34,07	37,36	9,87	1,21	32,63	36,82	13,39	2,37
MAX	35,67	38,06	6,87	0,57	34,25	37,54	10,34	1,68	32,91	37,10	14,13	3,11

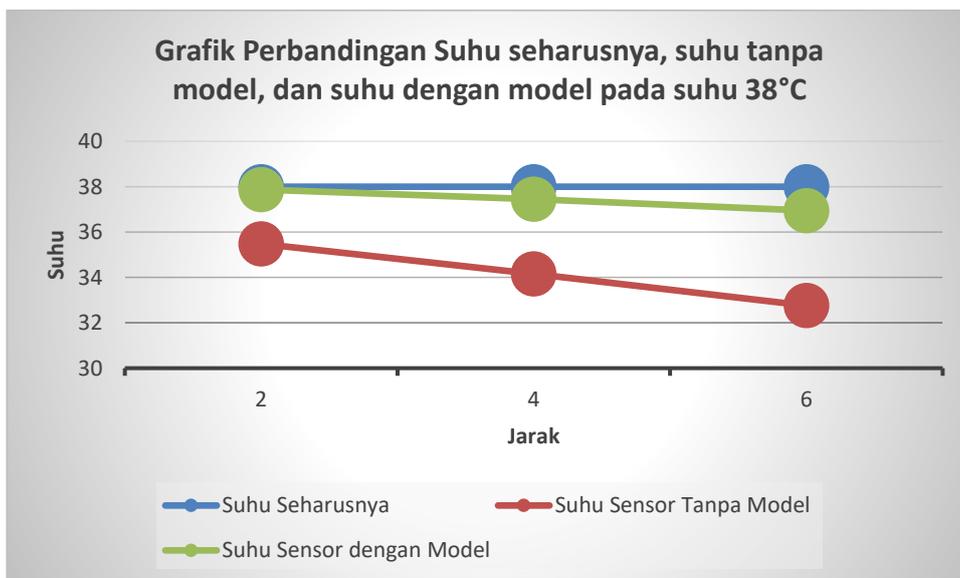
Hasil pengambilan data baru sebanyak 10 data pada suhu 38°C dengan berbagai variasi jarak dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil dari Tabel 4 menunjukkan bahwa model yang didapatkan menurunkan galat dari pembacaan sensor non-sentuh. Hasil dari rata-rata 10 data menunjukkan penurunan galat dari 6,63% menjadi 0,36% pada jarak 2cm, penurunan juga terjadi dari 10,11% menjadi 1,44% pada jarak 4cm, demikian juga pada jarak 6cm juga terjadi penurunan rata-rata galat dari 13,79% menjadi 2,76%. Masing-masing galat yang terjadi pada jarak pengukuran objek dari 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 6,63%, 10,11%, dan 13,79%. Setelah menerapkan permodelan pada persamaan 6, masing-masing galat pada jarak 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 0,36%, 1,44%, dan 2,76%.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Hasil Rata-Rata Pembacaan pada Suhu 36°C



Gambar 4. Grafik Perbandingan Hasil Rata-Rata Pembacaan pada Suhu 37°C



Gambar 5. Grafik Perbandingan Hasil Rata-Rata Pembacaan pada Suhu 38°C

Hasil dari perbandingan rata-rata suhu seharusnya, tanpa model, dan dengan model pada data baru dengan parameter suhu 36°C, 37°C, dan 38°C dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4. Terlihat bahwa seharusnya suhu memiliki nilai konstan walaupun dengan jarak yang berbeda karena objek yang diukur adalah objek yang sama yaitu air dengan suhu yang telah ditetapkan. Namun pada sensor non-sentuh terdapat bias yang terjadi akibat semakin jauhnya objek dengan sensor. Hal ini terlihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 untuk data suhu sensor tanpa model. Dengan memanfaatkan model yang dibuat pada penelitian ini, pembacaan sensor suhu non-sentuh menjadi lebih baik. Hal ini terlihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 pada bagian suhu sensor dengan model. Validasi juga dilakukan dengan membandingkan nilai sensor dengan menghitung MAE untuk sensor non-sentuh tanpa model dan sensor non-sentuh dengan model. Nilai MAE untuk masing-masing sensor non-sentuh tanpa

model dan sensor non-sentuh dengan model adalah 2,91 dan 0,37 untuk suhu 36°C. Nilai MAE untuk masing-masing sensor non-sentuh tanpa model dan sensor non-sentuh dengan model adalah 3,02 dan 0,27 untuk suhu 37°C. Nilai MAE untuk masing-masing sensor non-sentuh tanpa model dan sensor non-sentuh dengan model adalah 3,87 dan 0,57 untuk suhu 38°C.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Tujuan utama dari penelitian ini adalah membuat sebuah model yang dapat mengatasi masalah bias pada sensor suhu non-sentuh. Sensor suhu non-sentuh memiliki bias terhadap jarak sehingga semakin jauh jarak antara sensor dan objek maka galat sensor suhu menjadi semakin tinggi. Penelitian ini mengemukakan cara menurunkan galat dengan cara mengkompensasi pembacaan sensor dengan galat. Galat didapatkan dari memodelkan jarak terhadap luaran sensor hasil pembacaan awal. Penelitian dilakukan dengan mengukur objek air dengan suhu yang telah dikondisikan pada suhu 36°C, 37°C, dan 38°C dengan masing-masing variasi jarak 2cm, 4cm, dan 6cm. Hasil dari validasi menunjukkan bahwa model yang dirancang menurunkan galat pada suhu 36°C pada masing-masing jarak sebesar 4,43%, 8,00%, dan 8,70% pada jarak 2cm, 4cm, dan 6cm. Nilai validasi berdasarkan MAE sebelum dilakukan permodelan adalah 2,91 dan nilai MAE setelah dilakukan permodelan adalah 0,37. Penurunan nilai galat pada suhu 37°C untuk masing-masing jarak 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 5,94%, 8,72%, dan 7,34%. Nilai validasi berdasarkan MAE sebelum dilakukan permodelan adalah 3,02 dan nilai MAE setelah dilakukan permodelan adalah 0,27. Penurunan nilai galat pada suhu 38°C untuk masing-masing jarak 2cm, 4cm, dan 6cm adalah 6,27%, 8,67%, dan 11,03%. Nilai validasi berdasarkan MAE sebelum dilakukan permodelan adalah 3,87 dan nilai MAE setelah dilakukan permodelan adalah 0,57. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa estimasi galat sebagai kompensasi hasil pembacaan sensor suhu non-sentuh mampu menurunkan galat hasil pembacaan sensor. Permodelan ini memiliki nilai yang berbeda-beda bergantung dari kemampuan sensor yang digunakan. Kedati demikian, permodelan ini dapat digunakan untuk berbagai sensor suhu non-sentuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini mendapat pendanaan dari Penelitian Dosen Pemula (PDP) dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Indonesia (Kemdikbud Ristek) pada tahun 2022. Peneliti dengan segenap tim mengucapkan terima kasih atas pendanaan yang diberikan sehingga dapat melakukan penelitian dan publikasi dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Zhang, Z. Wang, X. Fu, F. Yan, and T. Kong, "An experimental method for improving temperature measurement accuracy of infrared thermal imager," *Infrared Phys Technol*, vol. 102, p. 103020, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.infrared.2019.103020.
- [2] J.-W. Lin, M.-H. Lu, and Y.-H. Lin, "A Thermal Camera Based Continuous Body Temperature Measurement System," in *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, Oct. 2019, pp. 1681–1687. doi: 10.1109/ICCVW.2019.00208.
- [3] M. Milic and M. Ljubenic, "Arduino-Based Non-Contact System for Thermal-Imaging of Electronic Circuits," in *2018 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, May 2018, pp. 62–67. doi: 10.1109/ZINC.2018.8448944.
- [4] L. M. S. Dias, J. F. C. B. Ramalho, T. Silverio, L. Fu, R. A. S. Ferreira, and P. S. Andre, "Smart Optical Sensors for Internet of Things: Integration of Temperature Monitoring and Customized Security Physical Unclonable Functions," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 24433–24443, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3153051.

- [5] S.-H. Lin and C.-C. Lin, "Automatic Login System for Forehead Temperature Measurement," in *2020 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C)*, Nov. 2020, pp. 154–157. doi: 10.1109/IS3C50286.2020.00047.
- [6] S. Donati, "Thermal Detectors and Thermography," *Photodetectors*, pp. 245–263, 2020, doi: 10.1002/9781119769958.ch8.
- [7] T. L. Lam, "Low-Cost Non-Contact PCBs Temperature Monitoring and Control in a Hot Air Reflow Process Based on Multiple Thermocouples Data Fusion," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 123566–123574, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3036527.
- [8] F. Ghassemi, M. S. Hoseinzadeh, and A. Ekhlas, "Design and Implementation of Wireless Body Temperature Monitor with warning system via SMS," in *2020 6th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS)*, Dec. 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICSPIS51611.2020.9349541.
- [9] M.-R. Tofighi and A. Attaluri, "Annular Slot Biomedical Antenna for Combined Microwave Heating and Infrared Thermography of the Tissue," in *2019 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*, Jan. 2019, pp. 1–3. doi: 10.1109/RWS.2019.8714505.
- [10] P. Jagadev and L. I. Giri, "Infrared Thermography based Human Physiological Parameter Monitoring," in *2019 IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing (ICESIP)*, Jul. 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICESIP46348.2019.8938319.
- [11] H. Anjum, A. Ul-Haq, and I. Mahmood, "Dynamic modeling and heat flow study of a thermal power plant using openmodelica," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 178614–178626, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3027640.
- [12] D. Prost, F. Issac, and M. Romier, "Imaging electric and magnetic near field of radiating structures by infrared thermography," in *2019 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE*, Sep. 2019, pp. 311–314. doi: 10.1109/EMCEurope.2019.8872116.
- [13] S. Y. Lee and M. Devarajan, "Thermal analysis of multi-chip cool white HPLED with thermal transient tester and thermal imaging camera," *ICP 2012 - 3rd International Conference on Photonics 2012, Proceedings*, pp. 85–88, 2012, doi: 10.1109/ICP.2012.6379835.
- [14] J. Zhang, X. Zhou, L. Li, T. Hu, and C. Fansheng, "A Combined Stripe Noise Removal and Deblurring Recovering Method for Thermal Infrared Remote Sensing Images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 60, pp. 1–14, 2022, doi: 10.1109/TGRS.2022.3196050.
- [15] X. Feng, Z. Li, and R. Zhang, "An Infrared Thermal Imaging Approach with Cooling Pre-treatment for Monitoring Cracks inside Metal Plate," in *2020 Chinese Automation Congress (CAC)*, Nov. 2020, pp. 2992–2997. doi: 10.1109/CAC51589.2020.9327851.
- [16] P. Y. Wang *et al.*, "Dynamic Thermal Analysis of High-Voltage Power Cable Insulation for Cable Dynamic Thermal Rating," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 56095–56106, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913704.
- [17] B. Cao *et al.*, "Evaluation of Four Kernel-Driven Models in the Thermal Infrared Band," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 57, no. 8, pp. 5456–5475, Aug. 2019, doi: 10.1109/TGRS.2019.2899600.
- [18] Y. Hu, M. P. David, and J. Madalengoitia, "Infrared Radiation Transparent Film Impact on Thermal Measurement," in *2021 20th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (iTherm)*, Jun. 2021, pp. 1140–1144. doi: 10.1109/iTherm51669.2021.9503228.
- [19] Z.-H. Wang, G.-J. Horng, T.-H. Hsu, C.-C. Chen, and G.-J. Jong, "A Novel Facial Thermal Feature Extraction Method for Non-Contact Healthcare System," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 86545–86553, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2992908.
- [20] F. Aufar, M. A. Murti, and M. H. Barri, "Design of Non-Contact Thermometer Using Thermal Camera For Detecting People With Fever," in *2021 International Conference on*

- Computer Science and Engineering (IC2SE)*, Nov. 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/IC2SE52832.2021.9792101.
- [21] W. Oiu, B. Zee, B. Lai, J. Vickers, and D. Tien, “Improved Phase Data Acquisition for Thermal Emissions Analysis,” in *2018 IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA)*, Jul. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/IPFA.2018.8452169.
- [22] A. A. Sarawade and N. N. Charniya, “Infrared Thermography and its Applications: A Review,” in *2018 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, Oct. 2018, pp. 280–285. doi: 10.1109/CESYS.2018.8723875.
- [23] S. I. Purnama, I. Hikmah, and M. A. Afandi, “Development of Low-Cost Thermal Camera for Examine Human Body Temperature,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1951, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/1951/1/012033.
- [24] S. I. Purnama, I. Hikmah, M. A. Afandi, and E. S. Mulyani, “OPTIMASI PEMBACAAN SUHU KAMERA TERMAL MENGGUNAKAN REGRESI LINIER,” *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 15, no. 1, pp. 127–136, Mar. 2021, doi: 10.30598/barekengvol15iss1pp127-136.
- [25] T. Bhowmik, R. Mojumder, I. Banerjee, G. Das, and A. Bhattacharya, “IoT Based Non-Contact Portable Thermal Scanner for COVID Patient Screening,” in *2020 IEEE 17th India Council International Conference, INDICON 2020*, Dec. 2020. doi: 10.1109/INDICON49873.2020.9342203.
- [26] L. Maurya, P. Mahapatra, and D. Chawla, “Simultaneous Breathing Monitoring of Multiple Persons Using Thermal and Visible Imaging,” *IEEE Sens J*, vol. 21, no. 24, pp. 28057–28065, Dec. 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3124615.
- [27] F. M. Inochkin *et al.*, “Superresolution Contour Reconstruction Approach to a Linear Thermal Expansion Measurement,” in *2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Oct. 2018, pp. 3843–3847. doi: 10.1109/ICIP.2018.8451081.
- [28] C. Hessler and M. Abouelenien, “Using Thermal Images and Physiological Features to Model Human Behavior: A Survey,” in *2018 IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)*, Apr. 2018, pp. 278–281. doi: 10.1109/MIPR.2018.00064.
- [29] H. A. Permana, F. T. Syifa, and M. A. Afandi, “Sistem Monitoring pH dan Kekeruhan Akuarium Menggunakan Metode Regresi Linear,” *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, vol. 4, no. 1, pp. 47–55, Jun. 2022, doi: 10.20895/jtece.v4i1.407.
- [30] M. A. Afandi, S. Nurandi, and I. K. A. Enriko, “Automated Air Conditioner Controller and Monitoring Based on Internet of Things,” *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 11, no. 1, p. 83, Apr. 2021, doi: 10.22146/ijeis.64563.
- [31] I. Hafidz, D. Adiputra, B. Montolalu, W. A. Prastyabudi, H. Widyantara, and M. A. Afandi, “IoT-Based Logistic Robot for Real-Time Monitoring and Control Patients during COVID-19 Pandemic,” *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 9, no. 3, Nov. 2020, doi: 10.25077/jnte.v9n3.810.2020.