

Analisis Daya Piezoelektrik Pada Alat Pencegahan Penyebaran *Coronavirus* Terintegrasi IoT

Lutfi Zulva Hanifah¹, Beni Putra Kurniawan¹, Yulfi Arista¹, dan Lucky Putri Rahayu¹

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

*Email: lucky@eea.its.ac.id

Abstract—Inovasi sistem protokol kesehatan untuk pencegahan coronavirus dengan sumber energi dari piezoelektrik sebagai listrik mandiri yaitu memanfaatkan konsep harvesting energy, dimana mengubah getaran atau tekanan yang dihasilkan dari pijakan kaki menjadi energi listrik. Sistem yang diimplementasikan merupakan prototype yang terdiri dari tangga piezoelektrik dengan dihubungkan secara seri-paralel ke modul charging untuk mengisi daya dari baterai, dimana daya yang diperlukan yaitu 60 watt. Pengisian daya tersebut bertujuan untuk mengaktifkan seluruh sistem yaitu pada proses cuci tangan dan sensor pendeteksi masker serta pengukuran suhu tubuh yang dilakukan secara paralel. Sensor kamera dilengkapi dengan teknologi image processing untuk membedakan penggunaan masker. Sistem menggunakan kontroler Raspberry Pi yang berfungsi sebagai pengendali sistem dan penghubung ke server website. Hasil keseluruhan proses akan terintegrasi IoT dan disimpan pada database serta ditampilkan melalui website sebagai proses monitoring. Hasil akurasi sensor kamera menggunakan image processing yaitu didapatkan rata-rata 98,503%. Pada pengujian piezoelektrik keseluruhan sistem menggunakan beberapa massa 40 kg didapatkan hasil rata-rata tegangan keluaran sebesar 3,18 V dan arus 1,38 A serta langkah kaki sebanyak 3.517, untuk 50 kg tegangan luaran 3,88 V, arus 2,08 A dan langkah kaki 2.298, dan 60 kg dihasilkan tegangan rata-rata 5,28 V, arus 3,42 A serta rata-rata langkah kaki sebanyak 1.494.

Kata Kunci: *Coronavirus, Harvesting Energy, IoT, Piezoelektrik*

I. PENDAHULUAN

BANGSA Indonesia sedang dilanda wabah *coronavirus* dimulai pada Maret 2020 sampai saat ini yang berimbas disegala sektor dari kesehatan sampai dengan ekonomi, dimana perekonomian mikro mengalami perlambatan [1]. Kebijakan dari pemerintah untuk menekan korban *coronavirus* yaitu Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM), salah satunya diatur dalam Surat Edaran (SE) Satuan Tugas Penanganan Covid-19 Nomor 15 Tahun 2021 mengenai

pembatasan aktivitas masyarakat selama libur hari raya idul adha 1442 H dalam masa pandemi *Covid-19* sebagai upaya pengendalian laju penularan *Covid-19*.

Pemberlakuan PPKM darurat ini tidak lepas pula dari pengetatan pemberlakuan protokol kesehatan pada kegiatan ekonomi masyarakat, khususnya pada pusat perbelanjaan. Hal tersebut dijalankan mencakup jumlah maksimum pengunjung mall, pemeriksaan suhu tubuh, penggunaan masker dan mencuci tangan. Disisi lain, pemerintah menargetkan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025 lebih dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi energi konvensional [2]. Pengembangan EBT sebagai penghasil listrik mandiri yang ramah lingkungan seperti panel surya, pembangkit listrik tenaga air dan sebagainya. *Piezoelektrik* sendiri merupakan EBT yang digunakan sebagai penghasil daya dari getaran ataupun tekanan, dimana energi listrik yang dihasilkan merujuk konsep *harvesting energy*, yaitu daya yang telah dihasilkan dari komponen penghasil energi akan disimpan dalam baterai dan digunakan untuk catu daya suatu peralatan elektronik [3]. Bahan piezoelektrik digunakan sebagai beberapa aplikasi dibidang teknik, seperti sensor dan aktuator pada aplikasi industri dikarenakan konversi energi mekanik ke listrik yang memiliki sifat sangat baik [4]. Keuntungan lainnya yaitu merupakan sumber EBT yang tidak memiliki persyaratan tertentu, misalnya solar panel membutuhkan matahari, kincir angin memerlukan angin, dll [5].

Cara kerja dari konsep *harvesting energy* ialah mengubah getaran atau tekanan yang dihasilkan dari pijakan-pijakan kaki menjadi energi listrik mandiri yang nantinya digunakan pada aplikasi elektronik dengan catu daya mikro. Keuntungan dari *piezoelektrik* yaitu memiliki daya *output* yang kecil dan nilai impedansi internal yang tinggi, sehingga cocok digunakan pada peralatan listrik berdaya rendah. Selain itu, juga memiliki keunggulan pada *lifetime* sistem yang tidak terbatas dengan catatan tekanan dan temperatur sistem peralatan masih dalam kisaran operasional serta dalam penempatan yang tepat, bahan *piezoelektrik* juga sangat mudah didapat dan memiliki harga yang relatif terjangkau [6]. Melihat kedua hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisa kebutuhan daya piezoelektrik sebagai sumber energi terbarukan pada

pembuatan suatu sistem pengendalian coronavirus yang terintegrasi IoT.

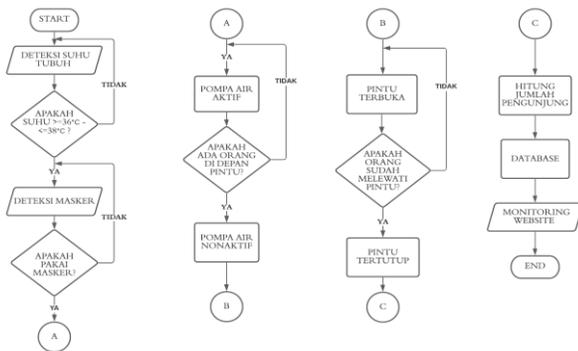
Pada bab ini membahas tentang langkah-langkah pembuatan *protype* inovasi cerdas pencegahan penyebaran coronavirus pada pusat perbelanjaan dengan memanfaatkan energi terbarukan. Beberapa penelitian terkait piezoelektrik, diketahui bahwa untuk menghasilkan daya yang lebih tinggi maka piezoelektrik dihubungkan secara paralel [7]. Transduser piezoelektrik memiliki daya yang lebih tinggi menggunakan elektromekanis dibandingkan elektromagnetik [8]. Beberapa yang harus diperhatikan untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh piezoelektrik yaitu desain struktur, dan material [9].

Beberapa hal yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses perancangan desain mekanik, diagram elektrikal, dan pemrograman dari *prototype*. Pada penelitian ini, *Raspberry Pi* digunakan untuk mengontrol dan memonitoring keseluruhan perangkat, dan membutuhkan daya sebesar 5-12 VDC. Beberapa keunggulan pemilihan ini, yaitu dalam segi ekonomis, sistem operasi menggunakan *open source* dan daya yang digunakan kecil [10].

II. METODE

A. Perancangan Sistem Prototype

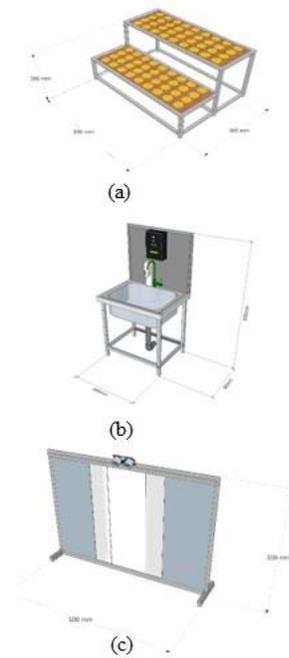
Perancangan sistem *prototype* ini dibagi menjadi empat sub-sistem, yaitu desain mekanik *prototype* secara keseluruhan, *wiring* diagram elektrikal, pemrograman kontroler (*Raspberry Pi*), dan pemrograman *website*. Sistem digunakan berdasarkan alur yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Diagram Kerja

B. Desain Mekanik Prototype

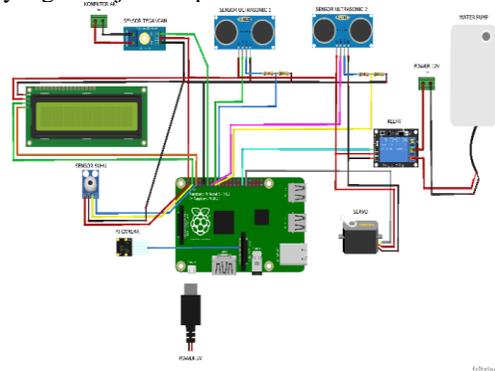
Desain mekanik yang berupa tangga piezoelektrik, alat pencuci tangan otomatis dan pintu otomatis diperlihatkan pada Gambar 2., dimana material yang digunakan untuk membuat kerangka tangga piezoelektrik dan wastafel adalah besi siku dengan tebal 3 mm, sedangkan untuk membuat mekanik *smart door* menggunakan akrilik dengan tebal 3mm. Desain dibuat pada *software sketchup*.



Gambar. 2. (a) Desain Tangga Piezoelektrik (b) Desain Mekanik Wastafel (c) Desain Pintu Otomatis

C. Diagram Rangkaian Elektrikal

Rangkaian diagram elektrikal dibuat dengan tujuan memudahkan pada saat perancangan rangkaian kelistrikan dan pemasangan komponen secara fisik dan menggunakan *software fritzing* yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar. 3. Rangkaian Diagram Elektrikal

D. Pemrograman Raspberry Pi

Pemrograman *Raspberry Pi* sebagai *controller* pada sistem dan perantara ke *web server* yaitu menerima data terkirim melalui transfer data, kemudian data dikirimkan untuk ditampilkan ke halaman *website* melalui koneksi *wireless*. Program ini dibuat menggunakan *software IDLE Python* dengan bahasa pemrograman *python* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

```

# import the necessary packages
from tensorflow.keras.applications.mobilenet_v2 import preprocess_input
from tensorflow.keras.preprocessing.image import img_to_array
from tensorflow.keras.models import load_model
from imutils.video import VideoStream
import numpy as np
import argparse
import imutils
import time
from time import sleep
import cv2
import os
from playsound import playsound
import threading

sound_played = False

def check_is_pake_masker(mask):
    global sound_played
    if (label == "No Mask"):
        print("No Mask")
        if (sound_played == False):
            sound_played = True
            playsound("E:\\Tidak boleh masuk lur.mp3")
            time.sleep(10)
            sound_played = False
    else:
        print("Mask On")
        if (sound_played == False):
            sound_played = True
            playsound("E:\\silahkan masuk.mp3")
            sound_played = False
            time.sleep(10)

def detect_and_predict_mask(frame, faceNet, maskNet):
    # grab the dimensions of the frame and then construct a blob
    # from it
    (h, w) = frame.shape[:2]
    blob = cv2.dnn.blobFromImage(frame, 1.0, (224, 224),

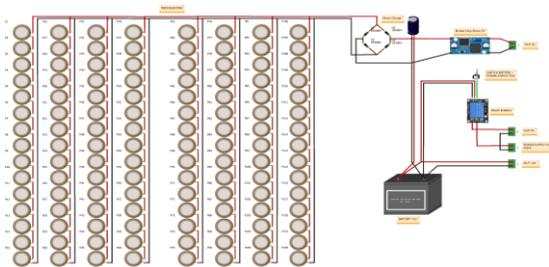
```

Gambar. 4. Program Raspberry Pi

E. Pemrograman Website Monitoring

Dalam tujuannya pemrograman *website* digunakan sebagai monitoring sistem dari *prototype*. Beberapa fitur yang terdapat dalam tampilan *website* diantaranya nilai tegangan sistem, jumlah pengunjung per setiap hari, jumlah pengunjung yang terdeteksi pakai masker dan terdeteksi tanpa masker, serta tampilan *capture* pengunjung oleh kamera dengan metode *image processing* menggunakan *software Visual Studio Code* dengan bahasan pemrograman *Hypertext Markup Language*.

F. Pemasangan dan Wiring Komponen



Gambar. 5. Rangkaian Seri-Paralel tangga piezoelektrik

Pemasangan *piezoelektrik* dirangkai secara seri-paralel, disetiap tangganya berisikan 60 keping *piezoelektrik* dengan total 2 anak tangga berisi 120 keping *piezoelektrik*. Ada 2 buah *box* panel yang berisi komponen elektronik, pada panel utama berisi *Raspberry Pi* dengan beberapa sensor dan aktuator. Pada panel kedua berisi sistem catu daya untuk *prototype* berupa aki dan *power supply*.

G. Pengujian Prototype

Pengujian *prototype* terbagi menjadi 2 bagian, dimana beberapa bagian terbagi agar mudah untuk melakukan

troubleshooting apabila terjadi permasalahan atau terdapat kendala, yaitu:

- 1) Pengujian fungsi komponen elektrik yang digunakan pada *prototype* (*camera, infrared temperature sensor, ultrasonic sensor, lcd I2C 16x2, water pump, servo motor*).
- 2) Pengujian fungsi komponen pengendali yang digunakan pada *prototype* (*Raspberry Pi*).
- 3) Pengujian fungsi tangga *piezoelektrik*
- 4) Pengujian sistem IoT (*Internet of Things*) yang terhubung antara *website* dengan *Raspberry Pi*.
- 5) Pengujian cara kerja *prototype* secara keseluruhan (daya *piezoelektrik*, sistem deteksi masker, suhu, cuci tangan, *smart door*).

H. Analisis dan Pemasangan Piezoelektrik

Piezoelektrik yang digunakan pada *prototype* ini memiliki diameter 35 mm dengan tegangan dan arus yang dihasilkan akan berbeda pada masing-masing variabel berat badan yang digunakan. Pengujian pengambilan data *prototype* dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada titik tengah tangga. Pada kasus ini dipasang di tangga *prototype* sebanyak 120 biji *piezoelektrik* yang dipasang pada 2 tangga dengan rincian pemasangan campuran yaitu seri dan paralel. Setiap tangga dipasang 4 baris dengan setiap baris terpasang 15 biji yang dirangkai seri lalu dirangkai paralel ke baris satu sama lain.

Daya yang diperlukan pada sistem yaitu pompa air sebesar 24-Watt, *Raspberry Pi* yang terdiri dari servo, *infrared* sensor, dan sensor suhu menghasilkan daya sebesar 25 Watt. Maka total daya yang diperlukan sebesar 49 Watt. Namun, karena baterai yang digunakan untuk penyimpanan energi dari *piezoelektrik* sebesar 60 Watt, maka pengisian sistem dari *piezoelektrik* disesuaikan untuk mengisi baterai bukan hanya daya yang diperlukan untuk sistem saja.

Variasi massa yang digunakan pada penelitian ini yaitu 40, 50, dan 60 Kg, diketahui bahwa analisa langkah untuk berat rata-rata 53 kg, untuk menghasilkan tegangan 1 V dalam baterai membutuhkan 700 langkah [11]. Maka untuk variabel massa yang digunakan yaitu 40 kg membutuhkan 928 langkah, 50 kg membutuhkan 742 langkah, dan 60 kg untuk muatan membutuhkan 619 langkah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *prototype* ini bertujuan untuk mendapatkan hasil keluaran tegangan dan arus yang dihasilkan oleh tangga *piezoelektrik* dengan 3 variasi berat badan. Pengujian dan data keluaran tegangan dan arus dilakukan berasal dari hasil langkah kaki yang dihasilkan dengan pengujian pada masing-masing variabel sebanyak 10 kali pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Hal ini dilakukan untuk perbandingan tingkat kestabilan yang dihasilkan oleh sistem dalam menghasilkan tegangan dan arus serta efek dari titik pijakan dan juga posisi tubuh dikarenakan menghasilkan tekanan yang berbeda meskipun menginjak memiliki massa yang sama dari pengujian awal yang dilakukan.

TABEL I
DATA PENGUJIAN PIEZOELEKTRIK MASSA 40KG

Pengujian Ke-	Massa (Kg)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Keluaran (A)	Jumlah Langkah Kaki
1	40	3	1,2	3.712
2		3	1,2	3.713
3		3,4	1,6	3.276
4		3,1	1,3	3.593
5		3	1,2	3.712
6		3,5	1,7	3.182
7		3,4	1,6	3.278
8		3,4	1,6	3.276
9		3	1,2	3.714
10		3	1,2	3.712

Pada Tabel 1. dapat dilihat untuk variabel berat 40 kg dihasilkan *output* tegangan rata-rata sebesar 3,18 V dan arus rata-rata sebesar 1,38 A serta rata-rata langkah kaki sebesar 3.517 untuk pengisian baterai 60 Watt.

TABEL II
DATA PENGUJIAN PIEZOELEKTRIK MASSA 50KG

Pengujian Ke-	Massa (Kg)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Keluaran (A)	Jumlah Langkah Kaki
1	50	3,8	2	2344
2		3,8	2	2345
3		3,8	2	2345
4		4	2,2	2226
5		3,7	1,9	2407
6		4	2,2	2226
7		4	2,2	2227
8		3,9	2,1	2284
9		3,8	2	2344
10		4	2,2	2226

Pada Tabel 2. untuk variabel berat 50 kg dihasilkan *output* tegangan rata-rata sebesar 3,88 V dan arus rata-rata sebesar 2,08 A serta rata-rata langkah kaki sebesar 2.298 untuk pengisian baterai 60 Watt.

TABLE III
DATA PENGUJIAN PIEZOELEKTRIK MASSA 60KG

Pengujian Ke-	Massa (Kg)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Keluaran (A)	Jumlah Langkah Kaki
1	60 kg	4	2,2	2228
2		6	4	1238
3		5,3	3,5	1402
4		5,4	3,6	1376
5		6	4	1237
6		6	4	1238
7		5,4	3,6	1376
8		5,4	3,6	1378
9		4	2,2	2227
10		5,3	3,5	1239

Pada Tabel 3. untuk variabel berat 60 kg dihasilkan rata-rata keluaran tegangan sebesar 5,28 V dan arus sebesar 3,42 A serta langkah kaki sebesar 1.494 untuk pengisian baterai 60 Watt. Jika waktu yang dibutuhkan untuk 2 langkah yaitu 1 detik, maka analisis langkah dengan waktu yang dibutuhkan pada variabel berat 60 kg dan 1.494 langkah yaitu 12,45 menit, pada 50 kg yaitu 19,15 menit, dan 40 kg waktu yang diperlukan 29,3 menit. Dilihat dari waktu yang dibutuhkan untuk mengaktifkan sistem pencegahan coronavirus sehingga dapat diterapkan pada pusat keramaian.

Pada pengujian keseluruhan pada sistem dilakukan juga sebanyak 10 kali terdiri 8 kali pengujian menggunakan masker serta 2 kali pengujian tanpa masker (pengujian ke 4 dan 9). Pada data Tabel 4. dapat disimpulkan bahwa, jika mesin tidak mendeteksi seseorang memakai masker maka akan berhenti bekerja dan tidak mendeteksi suhu tubuh. Sensor *ultrasonic* dapat mendeteksi secara normal apabila pengguna dalam jarak dibawah 30 cm, kemudian motor servo berputar apabila sensor jarak memenuhi kondisi normal seperti yang dijelaskan sebelumnya.

TABLE IV
DATA PENGUJIAN KESELURUHAN

Pengujian	Akurasi Sensor Camera (%)	Suhu yang dideteksi (°C)	Jarak pengukuran suhu (cm)	Smart Door
1	98,01 (Normal Mask On)	36,1 (Normal)	30 (Normal)	Servo Motor ON (Normal)
2	98,01 (Normal Mask On)	36,5°C (Normal)	30 (Normal)	Servo Motor ON (Normal)
3	98,03 (Normal Mask On)	36,5 (Normal)	30 (Normal)	Servo Motor ON (Normal)
4	99,02% (Error Mask)	Tidak Terdeteksi (Error)	Tidak Terdeteksi (Error)	Servo Motor OFF (Error)
5	98,03 (Normal Mask On)	36,9 (Normal)	30 (Normal)	Servo Motor ON (Normal)
6	98,01 (Normal Mask On)	36 (Normal)	30 (Normal)	Servo Motor ON (Normal)
7	98,00 (Normal Mask On)	36,4 (Normal)	30 (Normal)	Servo Motor ON (Normal)
8	98,03 (Normal Mask On)	37 (Normal)	30 (Normal)	Servo Motor ON (Normal)
9	99,01 (Error Mask)	Error (Tidak Terdeteksi)	Error (Tidak Terdeteksi)	Servo Motor OFF (Error)
10	99,02 (Normal Mask On)	36,5 (Normal)	30 (Normal)	Servo Motor ON (Normal)

Prototype ini memiliki beberapa inovasi teknologi cerdas yang dapat bekerja secara bersamaan (paralel), yaitu ketika proses cuci tangan dapat secara bersamaan mendeteksi suhu dan penggunaan masker. Inovasi selanjutnya yaitu pendeteksi masker otomatis menggunakan teknologi *image processing*. Sistem ini dapat membedakan seseorang yang menggunakan

masker dan yang hanya menutupinya dengan tangan ataupun benda lain.

Penggunaan metode *harvesting energy* pada alat ini tidak lepas dengan adanya baterai yang memiliki kegunaan sebagai penyimpan energi yang dihasilkan oleh *piezoelektrik*. Sebelum memasuki baterai, energi yang dihasilkan oleh *piezoelektrik* akan diarahkan ke modul *charger*. Sumber catu daya pada alat tidak hanya dari baterai, tetapi sistem juga bisa mendapatkan dari tegangan PLN 220 V yang dihubungkan dengan *power supply* 12V. Pengalihan tegangan dari baterai ke sumber PLN dapat dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan mengalihkan *switch* di panel kontrol.

Beberapa keunggulan pada sistem ini, yaitu:

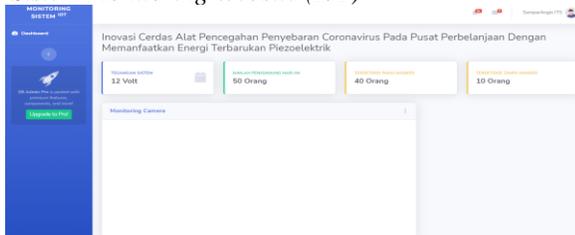
A. Dari Sistem (*Image Processing*)

Penggunaan sistem *image processing* berfungsi mendeteksi penggunaan masker dan tidak. Keunggulan sistem ini ialah dapat membedakan wajah yang menggunakan masker atau hanya wajah yang ditutup oleh tangan ataupun benda-benda lain.

B. Deteksi Suhu Pada Inovasi dengan Produk lain

Sensor suhu GY-906 digunakan dikarenakan memiliki Akurasi tinggi $0,5^{\circ}\text{C}$ pada rentang suhu yang lebar ($0...+50^{\circ}\text{C}$ untuk T_a dan T_o) pada kalibrasi akurasi medis. Teknologi pendeteksi suhu tubuh ini dapat menganalisis suhu tubuh seseorang dengan tiga variabel yaitu normal ($35,5^{\circ}\text{C}$ - $37,5^{\circ}\text{C}$), demam ringan dan demam tinggi. Pada suhu manusia normal, suhu demam ringan ($37,5^{\circ}\text{C}$ - $38,5^{\circ}\text{C}$) dan demam tinggi ($38,5^{\circ}\text{C}$ - 40°C).

C. Sistem Monitoring Website (*IoT*)



Gambar. 6. Website Monitoring

Teknologi IoT diterapkan pada sistem monitoring secara *online* pada *website* yang memuat tegangan pada sistem, jumlah pengunjung memakai masker dan tidak, jumlah pengunjung perharinya dan monitoring kamera *image processing* yang diperlihatkan pada Gambar 6. *Website* monitoring terkoneksi langsung dengan kontroler *Raspberry Pi* yang memiliki fungsi untuk mengirim data ke *server*. Pengiriman data dari *Raspberry Pi* ke *website* yang membutuhkan beberapa proses, pertama *Raspberry Pi* akan mengirimkan data pada *cloud database website*, setelah itu data yang telah disimpan akan ditampilkan pada *website* monitoring.

IV. KESIMPULAN

Program yang telah dikembangkan saat ini dimana *piezoelektrik* yang dipasang di tangga *prototype* secara seri-paralel mampu untuk mensuplai daya ke aki untuk

mengaktifkan sistem. Uji coba yang dilakukan sebanyak 10 kali pada masing-masing variabel berat badan menghasilkan tegangan, arus, serta langkah kaki rata-rata. Sistem pencuci tangan otomatis memiliki beberapa teknologi antara lain pendeteksi pemakaian masker menggunakan *image processing* dengan tingkat keakuratan rata-rata sebesar 98.503%.

Untuk analisa langkah dengan 3 variasi massa dihasilkan tegangan keluaran dan arus keluaran untuk pengisian baterai 60 Watt dengan rincian pada massa 40 kg didapatkan hasil rata-rata tegangan keluaran sebesar 3,18 V dan arus 1,38 A serta langkah kaki sebanyak 3.517, untuk 50 kg tegangan luaran 3,88 V, arus 2,08 A dan langkah kaki 2.298, dan 60 kg dihasilkan tegangan rata-rata 5,28 V, arus 3,42 A serta rata-rata langkah kaki sebanyak 1.494. Selain itu, pada sistem terdapat deteksi suhu tubuh, alat pencuci tangan dengan sabun secara otomatis, serta *smart door* otomatis. Seluruh data tersebut akan dikirimkan ke database dengan teknologi *IoT* dan ditampilkan di *website*. Seluruh komponen tersebut bekerja secara bersamaan sehingga dapat dikatakan bahwa sistem ini merupakan inovasi yang cerdas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan teknologi RI serta Institut Teknologi Sepuluh Nopember atas pemberian dana PKM KC 2021, kesempatan dan fasilitas dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Muhyiddin, "Covid-19, New Normal dan Perencanaan Pembangunan di Indonesia," *The Indonesian Journal of Development Planning*, vol. IV, no. No 2, Jun. 2020.
- [2] Y. Sudiyani and S. Aiman, *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif*, 1st ed., vol. 1. Jakarta: LIPI Press, 2019.
- [3] N. Sezer and M. Koç, "A Comprehensive Review on The State-of-The-Art of Piezoelectric Energy Harvesting," *Nano Energy*, vol. 80, p. 105567, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.NANOEN.2020.105567.
- [4] A. Aabid *et al.*, "A systematic review of piezoelectric materials and energy harvesters for industrial applications," *Sensors*, vol. 21, no. 12, Jun. 2021, doi: 10.3390/s21124145.
- [5] P. Dhingra, S. S. Meher, J. Biswas, A. Prasad, M. I. T. Manipal, and S. S. Meher, "Energy Harvesting using Piezoelectric Materials," 2013. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/267568019>
- [6] A. Hendriawan and D. Cahya Happyanto, "Piezoelectric Sebagai Alternatif Catu Daya Tambahan pada Mobil Listrik," *Inovtek*, vol. 4, no. 1, pp. 26–33, Apr. 2014.
- [7] M. I. Mowaviq, A. Junaidi, D. S. Purwanto, and S. Tinggi Teknik -Pln, "Lantai Permanen Energi Listrik Menggunakan Piezoelektrik," *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 112–118, Jan. 2018, doi: 10.33322/ENERGI.V10I2.219.
- [8] M. Safaei, H. A. Sodano, and S. R. Anton, "A review of Energy Harvesting using Piezoelectric Materials: State-of-the-art a decade later (2008–2018)," *Smart Materials and Structures*, vol. 28, no. 11, Oct. 2019, doi: 10.1088/1361-665X/ab36e4.
- [9] W. Hidayatullah and M. Syukri, "Perancangan Prototype Penghasil Energi Listrik Berbahan Dasar Piezoelektrik," *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 1, no. 3, pp. 63–67, 2016.
- [10] D. Prihatmoko, "Pemanfaatan Raspberry Pi Sebagai Server Web untuk Penjadwalan Kontrol Lampu Jarak Jauh," *Jurnal INFOTEL*, vol. 9, no. 1, p. 84, Feb. 2017, doi: 10.20895/infotel.v9i1.159.
- [11] M. Chavan, S. Chauhan, M. Singh, and A. Tripathi, "Footstep Power Generation using Piezoelectric Sensor and Distribution using RFID," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 07, no. 09, pp. 1416–1420, Sep. 2020, [Online]. Available: www.irjet.net