

E-ISSN : 2746 - 2536

# JULIET

Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan

Volume 3 No. 2 - Oktober 2022

**Departemen Teknik Elektro dan Informatika**  
Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada  
Jl. Yacarana, Sekip Unit IV, Yogyakarta. 55281

## EDITORIAL BOARD

### Editor-in-Chief

Muhammad Arrofiq, Universitas Gadjah Mada

### Associate Editor

Candra Febri Nugraha, Universitas Gadjah Mada

### Editor

Budi Sumanto, Universitas Gadjah Mada

Esa Prakasa, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Fahmizal, Universitas Gadjah Mada

Suhono, Universitas Gadjah Mada

### Copyeditor

Jans Hendry, Universitas Gadjah Mada

### Assistant Editor

Andi Fariel, Universitas Gadjah Mada

Rismanda Kusumadewi, Universitas Gadjah Mada

Published by:

Departemen Teknik Elektro dan Informatika  
Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada  
Jl. Yacaranda, Sekip Unit IV, Yogyakarta. 55281

- 1. Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berdasarkan Debit Air dan Kebutuhan Energi Listrik** 31 - 39  
Moh. Sofyan, I Made Sudana
- 2. Implementation of Pre-Emphasis Analog Filter on Raspberry Pi Using Zero-Order Hold Discretization as a Pre-Processing to Humanoids' Commands Recognition** 40 - 44  
Jans Hendry, Budi Sumanto, Yoga Mileniandi, Putri Mawaring Wening
- 3. Cheap and Fast Implementation of Linear and Cubic Piecewise Interpolation for Robot Path Smoothing on Arduino Uno Board** 45 - 48  
Trias Prima Satya, Jans Hendry, Aditya Putra Yudhananta, Zubainindra Bagus F. Meliawan
- 4. Rancang Bangun Monitoring Kadar Gas Metana pada Pengolahan Sampah Organik Berbasis IoT Menggunakan Mikrokontroler ESP32** 49 - 53  
Salma Osa Novantri, Unan Yusmaniar Oktiawati
- 5. Pendeteksi Flashover dan Aplikasi Android pada TPSS LRT Jabodebek Berbasis Computer Vision dan Android Studio** 54 - 60  
Nerissa Diana Resty, Galuh Triyanto, Isnan Nur Rifai
- 6. Perancangan Sistem Instrumentasi dan Kontrol Berbasis Super PLC F2424 serta Antarmuka LabVIEW** 61 - 65  
Geston Bakti Muntoha, Ida Erna Wati, Muhammad Septian Wijaya

# Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berdasarkan Debit Air dan Kebutuhan Energi Listrik

Moh. Sofyan<sup>1,\*</sup>, I Made Sudana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang; sudana@mail.unnes.ac.id

\*Korespondensi: mohamadsofyan@students.unnes.ac.id

**Abstract** – *Electrical energy is a basic requirement for most Indonesians. However, Sidoharjo Village residents cannot fully experience it since the electricity from PLN often goes out, especially during the rainy season. On the other hand, Sidoharjo Village has a large enough water potential from the river in Dukuh Rancah, but it has not been optimally used. Micro Hydro Power Plant (PLTMH) is one effort that can be done. To do so, it is necessary to know the hydrological values which include the mainstay of the river, the river basin area (DAS), and the effectiveness of dropping water. The river's reliable discharge is calculated by using the F.J. Mock method, under the principle of evaporation and transpiration (evapotranspiration). The data required are monthly rainfall, number of rainy days, humidity, and sunlight intensity. The calculation by using Ms. Excel showed the river's reliable discharge value of 1.3147 m<sup>3</sup>/s with an effective dropping height of 6 meters capable of producing a potential water power of 77.46 kW, 69.71 kW of turbine power, and 66.22 kW of generator output power. Meanwhile, the simulation results using the HOMER application showed that the river has a power capacity of 65.9 kW, an average power of 63.4 kW, minimum power of 26.4 kW, and a maximum power of 74.1 kW. It used a Kaplan turbine with a system efficiency of 0.85. It means that if the community needs 23 kW of electricity, the river is suitable to be used as a micro-hydropower plant system.*

**Keywords** – *micro-hydro, F.J. Mock method, evapotranspiration, HOMER*

**Intisari** – Energi listrik merupakan kebutuhan pokok bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Namun, kontinuitas suplai listrik tidak dapat dirasakan secara maksimal oleh masyarakat Desa Sidoharjo. Hal ini dikarenakan listrik dari PLN sering padam apalagi ketika musim hujan. Di sisi lain Desa Sidoharjo mempunyai potensi air yang cukup besar bersumber dari sungai Dukuh Rancah, tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah memanfaatkannya sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Untuk mengetahui besar potensi sungai sebagai pembangkit energi listrik perlu diketahui nilai-nilai hidrologi yang meliputi debit andalan sungai, luas daerah aliran sungai (DAS), dan tinggi jatuh efektif air. Perhitungan debit andalan sungai dilakukan menggunakan metode F.J. Mock, yaitu berdasarkan prinsip evaporasi dan transpirasi (evapotranspirasi). Data yang diperlukan adalah curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, kelembaban udara, dan intensitas cahaya matahari. Hasil perhitungan menggunakan Ms. Excel menunjukkan nilai debit andalan sungai 1,3147 m<sup>3</sup>/s dengan tinggi jatuh efektif air 6 meter mampu menghasilkan potensi daya air sebesar 77,46 kW, daya turbin 69,71 kW, dan daya keluaran generator 66,22 kW. Sedangkan hasil simulasi menggunakan aplikasi HOMER menunjukkan bahwa sungai memiliki kapasitas daya sebesar 65,9 kW, daya rata-rata 63,4 kW, daya minimum 26,4 kW, dan daya maksimum 74,1 kW. Adapun turbin yang digunakan adalah turbin jenis kaplan dengan efisiensi sistem 0,85. Artinya jika kebutuhan listrik masyarakat sebesar 23 kW, maka sungai Dukuh Rancah layak dijadikan sebagai sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

**Kata kunci** – mikro hidro, Metode F.J. Mock, evapotranspirasi, HOMER

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik dewasa ini sudah menjadi kebutuhan pokok bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Listrik banyak dimanfaatkan untuk melakukan kegiatan sehari-hari. Fungsi listrik dalam kehidupan sehari-hari antara lain sebagai penerangan, pekerjaan rumah tangga, pekerjaan industri dan lain sebagainya. Peran vital listrik mengharuskan ketersediaan energi secara terus menerus agar tidak mengganggu kegiatan dan pekerjaan. Karena kontinuitas energi listrik merupakan salah satu faktor pendorong peningkatan strata hidup dan ekonomi masyarakat. Namun, kontinuitas energi listrik tidak dapat dirasakan oleh warga Desa Sidoharjo, Kabupaten Pekalongan. Di sana sering terjadi listrik padam sehingga masyarakat terkadang sampai sehari-hari tidak menggunakan listrik. Sering terjadi listrik padam tentu mengganggu kegiatan masyarakat, contohnya pelajar kesulitan belajar pada malam hari karena kondisi gelap. Secara geografis dan administratif Desa Sidoharjo merupakan salah satu dari 272 Desa di Kabupaten Pekalongan, dan memiliki luas wilayah 25 km<sup>2</sup> secara topografis terletak pada ketinggian 277 s.d 1450 meter di atas permukaan laut. Desa Sidoharjo terdiri atas lima pedukuhan yaitu Rancah, Kodol,

Rokom, Genjah, dan Pekuluran. Data desa menyebutkan terdapat 233 bangunan (rumah warga, tempat ibadah, dan sekolah) yang membutuhkan suplai energi listrik. Namun, pada penelitian ini perencanaan pembangkit hanya untuk satu Dukuh saja yaitu Dukuh Rancah. Dengan demikian bangunan yang dihitung yaitu sebanyak 51 bangunan.

Berdasarkan data tersebut suplai energi listrik yang dibutuhkan sebesar 23 kW (jika diasumsikan setiap bangunan membutuhkan 450 W). Data dari PT PLN (Persero) UPJ Kedungwuni Bulan Desember 2019 s.d. Februari 2020 telah terjadi listrik padam di Desa Sidoharjo sebanyak 31 kali, atau jika di rata-rata listrik padam 10 kali setiap bulannya. Sebenarnya pemadaman listrik merupakan hal yang lumrah jika dalam kurun waktu jam saja. Namun, karena akses yang sulit dan jauh mengakibatkan lamanya proses perbaikan dari pihak PLN, ditambah gangguan sering sekali terjadi apalagi ketika memasuki musim hujan. Berdasarkan masalah tersebut penulis mencoba menganalisis mengenai potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) sebagai penyedia energi listrik di Desa Sidoharjo Kabupaten Pekalongan. PLTMH merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang memanfaatkan air untuk menghasilkan energi listrik.

Berdasarkan UU nomor 22 tahun 2002 tentang ketenagalistrikan, ditambah peraturan menteri ESDM Republik Indonesia tahun 2017 nomor 39 mengenai manfaat energi terbarukan disertai amanat UUD 1945, bahwa tenaga listrik sangat bermanfaat untuk memajukan kesejahteraan umum, mencerdaskan kehidupan bangsa, dan meningkatkan perekonomian dalam rangka mewujudkan masyarakat adil dan makmur yang merata material dan spiritual berdasarkan Pancasila dan UUD 1945. Menurut PP nomor 5 tahun 2006 pasal 1 ayat 4 menjelaskan bahwa energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik.

Desa Sidoharjo mempunyai potensi air yang tidak pernah surut walaupun memasuki musim kemarau. Air tersebut bersumber dari sungai Dukuh Rancah. Observasi awal didapatkan data debit air sungai sebesar 192 liter/detik. Potensi ini dapat diolah lebih lanjut menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro sebagai penyedia energi listrik, dengan begitu diharapkan kegiatan masyarakat tidak terganggu akibat seringnya listrik padam.

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis membuat judul penelitian berjudul “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berdasarkan Debit Air dan Kebutuhan Energi Listrik”.

## II. DASAR TEORI

### A. Energi Air

Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan dikonversikan menjadi listrik. Menurut [1], air merupakan sumber energi terbarukan yang dapat diaplikasikan pada pembangkit energi listrik yang mempunyai potensi cukup besar di Indonesia. Potensi energi air di Indonesia mencapai 75,76 GW dan potensi untuk mikro hidro sebesar 0,45 GW. Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, pada air juga tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Energi kinetik dari air yang memutar turbin untuk menggerakkan generator dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

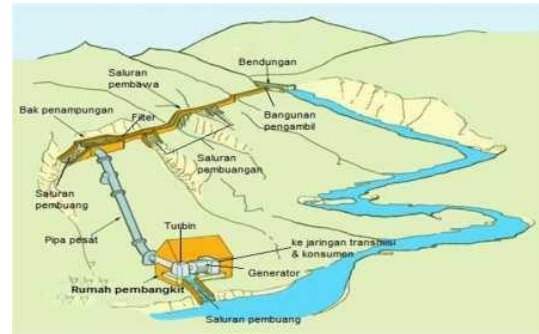
$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (1)$$

dengan,

- $P$  : daya (Hp)
- $\rho$  : massa air (1000 kg/m)
- $Q$  : debit air (liter/detik)
- $G$  : gravitasi bumi (9,8 m/s)

### B. Studi Potensi

Studi potensi merupakan kegiatan awal untuk mengumpulkan data dan informasi tentang kemungkinan suatu daerah aliran sungai untuk dimanfaatkan menjadi PLTMH. Dari hasil studi potensi dapat diperoleh sebuah kesimpulan yang digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan keberlanjutan studi perencanaan PLTMH.



Gambar 1. Skema PLTMH [10]

Jika sebuah wilayah memiliki beberapa lokasi yang potensial untuk PLTMH, maka untuk memilih lokasi terbaik ditentukan dengan kriteria sebagai berikut:

1. Panjang jaringan distribusi jika menggunakan tegangan rendah jarak antara pembangkit ke beban, radius maksimal 12 km.
2. Terdapat calon konsumen di sekitar pembangkit.
3. Potensi daya listrik tidak melebihi 100 kW.
4. Ketersediaan aliran air sungai sepanjang tahun.
5. Akses menuju PLTMH dapat dijangkau atau dapat ditempuh dengan teknologi yang tidak mahal.
6. Lokasi pembangkit tidak berada di kawasan cagar alam, tidak merusak lingkungan dan budaya serta mengikuti ketentuan yang berlaku [2].

### C. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro adalah pembangkit listrik skala kecil (<100 kW). Secara umum bangunan PLTMH terdiri atas bangunan ambil air (*intake weir*), bak pengendap (*settling basin*), saluran atas (*headrace/channel*), bak penenang (*forebay tank*), pipa pesat (*penstock*), *power house* (turbin air dan generator), dan saluran pembuangan (*tailrace*) seperti pada Gambar 1.

Prinsip kerja PLTMH adalah memanfaatkan beda tinggi dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran atau sungai. Air yang mengalir melalui *intake* dan diteruskan oleh saluran pembawa hingga *penstock* akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Turbin air akan memutar generator dan menghasilkan listrik [3]. Sistem PLTMH secara umum sama dengan PLTA pada umumnya. Namun, yang membedakan adalah daerah kerja sistem pembangkit listrik tersebut. PLTMH dapat memanfaatkan sumber air yang tidak terlalu besar. Tidak seperti PLTA, dengan atau tanpa reservoir pun PLTMH dapat beroperasi, karena dapat memanfaatkan potensi air yang kecil.

### D. Debit Andalan

Debit andalan adalah debit yang tersedia sepanjang tahun dengan besarnya risiko kegagalan tertentu, digunakan untuk berbagai macam keperluan misalnya irigasi, PLTA, air baku, dan lain-lain. Debit Andalan merupakan debit minimum sungai kemungkinan debit dapat dipenuhi ditetapkan 80% sehingga kemungkinan debit sungai lebih rendah dari debit andalan sebesar 20%. Untuk mengetahui besarnya aliran yang

mengalir pada sungai dalam satu tahun, maka kurva durasi aliran (FDC) dengan mengurutkan data debit rata-rata harian dari terbesar hingga terkecil dan diberikan probabilitas yang dihitung menggunakan persamaan *weibull*.

$$P = \frac{m}{n + 1} \times 100\% \quad (2)$$

dengan,

- $P$  : probabilitas kejadian (%)
- $m$  : nomor urut data
- $n$  : jumlah data dalam analisis

Dengan demikian pengertian debit andalan 80% adalah berdasarkan pada nilai debit yang mendekati atau sama dengan nilai probabilitas ( $P$ ) 80% [4] dan [5].

*E. Turbin Kaplan*

Turbin kaplan, yang diilustrasikan pada Gambar 2, merupakan salah satu jenis dari turbin reaksi. Turbin kaplan tersusun dari *propeller*/sudu-sudu roda turbin seperti baling-baling kapal. Roda turbin kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya putar/tangensial pada poros turbin yang dapat menghasilkan torsi [6]. Turbin kaplan memiliki ukuran-ukuran utama yang dapat dicari melalui Gambar 3. Untuk mendesain turbin kaplan, dilakukan perhitungan menggunakan (3) s.d. (11).

- Putaran spesifik turbin ( $n_s$ ) [7]

$$N_s = \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (3)$$

- Diameter luar sudu

$$D_1 = \frac{60 \cdot U_1}{\pi \cdot n} \quad (4)$$

- Diameter *hub*/leher poros

$$D_N = 0,5 \times D_1 \quad (5)$$

- Diameter sudu pengarah di bagian sudu masuk

$$D_0 = 1,2 \times D_1 \quad (6)$$

- Tinggi sudu pengarah

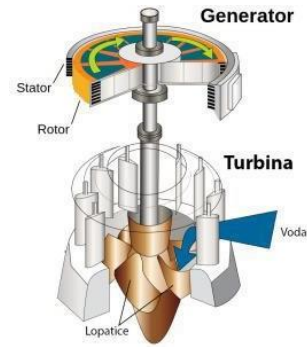
$$B_0 = \frac{Q}{D_0 \cdot \pi \cdot C_m \cdot \tau_0} \quad (7)$$

- Luas penampang sudu

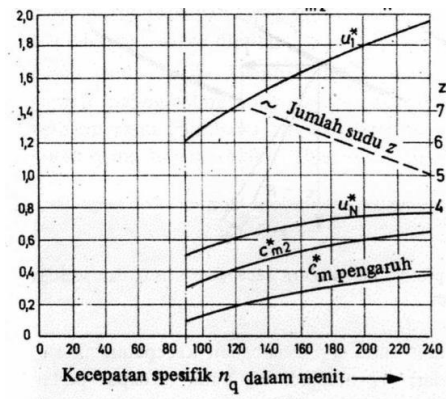
$$A = (D_1^2 - D_n^2) \times \pi / 4 \quad (8)$$

- Diameter tengah-tengah sudu

$$D_M = \frac{D_1 + D_N}{2} \quad (9)$$



Gambar 2. Turbin kaplan [11]



Gambar 3. Grafik menentukan ukuran-ukuran utama turbin kaplan [12]

- Jumlah keseluruhan lebar sudu

$$B = \frac{D_1 - D_N}{2} \quad (10)$$

- Jumlah antar sudu [8]

$$L = \frac{D_m \times \pi}{Z} \quad (11)$$

dengan,

- $N_s$  : putaran spesifik turbin (rpm)
- $N$  : kecepatan putar turbin (rpm)
- $Q$  : debit air (  $m^3/s$  )
- $H$  : tinggi jatuh air (m)
- $D_1$  : diameter luar sudu (m)
- $U_1$  : kecepatan tangensial masuk sudu pada leher poros
- $B_0$  : tinggi sudu pengarah (m)
- $C_m$  : pengarah
- $\tau_0$  : faktor penyeimbang (0,9)
- $Z$  : jumlah sudu

*F. Kriteria Pemilihan Turbin*

Ada beberapa faktor yang mendasari perencanaan dan pemilihan suatu turbin air. Faktor-faktor tersebut antara lain: debit aliran air, *head* atau tinggi jatuh air, kecepatan spesifik, putaran turbin, putaran pesawat yang digerakkan, posisi poros turbin, biaya pembangunan instalasi. Dari sekian banyak

faktor di atas, yang paling menentukan adalah debit dan *head* aliran air. Ukuran atau dimensi turbin air sangat tergantung kepada debit dan *head* air ini. Debit air yang besar pada *head* tertentu akan memerlukan turbin air ukuran besar, sedangkan untuk *head* air yang besar untuk debit tertentu, dimensi turbin air cenderung lebih kecil. Dengan demikian *head* dan debit air secara tidak langsung akan menentukan biaya pembuatan turbin air berikut pembangkitnya.

### G. Metode FJ Mock

Model FJ Mock sering untuk menentukan probabilitas jumlah nilai debit air andalan. Model ini memiliki prinsip bahwa jatuhnya air hujan di sekitar wilayah tangkapan (sebaran) air, beberapa air akan hilang karena evaporasi dan transpirasi, sebagian jadi aliran (limpasan) langsung yang ada di permukaan (*direct runoff*). Sebagian lain mengalami proses penyaringan teresap di dalam tanah. Penyaringan tersebut akan membuat permukaan tanah menjadi jenuh, berikutnya proses kelembaban yang ada di tanah akan menjadi sebab limpasan air tanah (*base flow*). Dari penyaringan ini didapatkan hasil nilai kelembaban pada tanah. Dalam seimbangannya air, mempunyai alur evaporasi dan transpirasi sama dengan intensitas hujan yang ada (turun) di muka bumi. Berikut merupakan parameter-parameter perhitungan debit andalan menggunakan metode Mock:

- Evapotranspirasi potensial

$$E_{to} = c \cdot (w \cdot R_n + (1 - w)f(u)(e_a - e_d))(mm) \quad (12)$$

- Evapotranspirasi aktual

$$E = E_{to} - \Delta E (mm) \quad (13)$$

$$\Delta E = \left(\frac{M}{20}\right)(18 - N)$$

- Air hujan yang mencapai permukaan tanah

$$A_s = R - E (mm) \quad (14)$$

- Penyimpanan kelembaban tanah

$$SMS = ISM + R - E (mm) \quad (15)$$

- *Water surplus* (kelebihan air)

$$Ws = ISM + R - E - SMC (mm) \quad (16)$$

$$Ws = SMS - SMC (mm)$$

- Infiltrasi (penyerapan air)

$$Infil = Ws \cdot Ci (mm) \quad (17)$$

- Volume penyimpanan air tanah

$$V(n) = k \cdot V(n-1) + 0,5(1 - k)Infil(mm) \quad (18)$$

- Perubahan penyimpanan air tanah

$$\Delta V(n) = V(n) - V(n-1) \quad (19)$$

- Limpasan air dasar

$$Q_{base\ flow} = Infil - \Delta V(n)(mm) \quad (20)$$

- Limpasan air permukaan

$$Q_{direct\ runoff} = Ws - Infil(mm) \quad (21)$$

- Limpasan air sungai

$$Q_{runoff} = Q_{base\ flow} + Q_{direct\ runoff}(mm) \quad (22)$$

- Perhitungan debit air andalan [9]

$$Q = Q_{runoff} \times \frac{A}{\text{satu bulan dalam detik}(m^3/s)} \quad (23)$$

dengan,

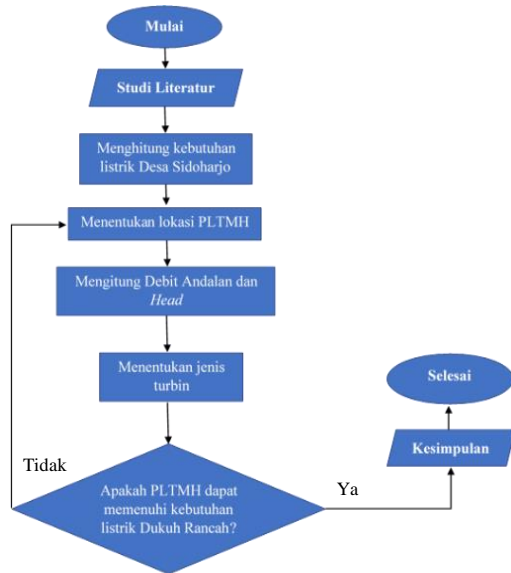
$E_{to}$	: evapotranspirasi potensial (mm)
$M$	: persentase <i>exposed surface</i>
$N$	: jumlah hari hujan
$R$	: curah hujan bulanan (mm)
$E$	: evapotranspirasi aktual (mm)
$ISM$	: kelembapan tanah awal (mm)
$SMC$	: kapasitas kelembapan tanah (200 mm, untuk tegalan atau hutan)
$Ci$	: Koefisien infiltrasi (0,3-0,5)
$V(n-1)$	: volume air bulan lalu
$V(n)$	: volume air bulan sekarang
$A$	: Luas daerah aliran sungai (km <sup>2</sup> )

### H. HOMER Energy

HOMER merupakan *software* populer untuk desain sistem pembangkit listrik menggunakan energi terbarukan. HOMER menyimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *standalone* maupun *grid connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *photovoltaic*, mikro hidro, biomassa, generator (diesel/ bensin), *microturbine*, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen melayani beban listrik maupun termal.

## III. METODOLOGI

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah kuantitatif. Bentuk penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui berapa besar potensi air sungai Dukuh Rancah sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Adapun alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alur penelitian

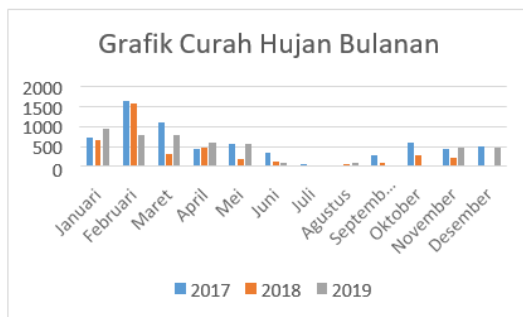
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan diperoleh dari BMKG Jawa Tengah. Data curah hujan diambil dari pos hujan LMDH Doro dan Kutosari Doro dalam kurun waktu tiga tahun, yaitu tahun 2017-2019. Pos hujan ini dipilih karena merupakan stasiun terdekat dengan lokasi penelitian, yaitu sungai Dukuh Rancah Desa Sidoharjo Kecamatan Doro. Adapun data curah hujan bulanan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 5.

Tabel 1. Data curah hujan tahun 2017-2019

Bulan	2017	2018	2019
Januari	734	653	956
Februari	1646	1579	777
Maret	1105	317	791
April	436	468	597
Mei	571	173	573
Juni	357	107	95
Juli	57	16	32
Agustus	0	65	75
September	295	84	11
Oktober	582	296	23
November	445	214	463
Desember	501	-	486



Gambar 5. Grafik curah hujan tahun 2017-2019

##### B. Hitung Evapotranspirasi Aktual

Perhitungan evapotranspirasi aktual dilakukan setelah semua data diperoleh. Data yang diperlukan yaitu curah hujan, kelembaban udara, intensitas matahari, kecepatan angin, dan luas daerah aliran sungai (DAS). Data tersebut diperoleh dari stasiun BMKG Jawa Tengah dan Badan Pusat Statistik Kabupaten Pekalongan, sedangkan data DAS diperoleh melalui perhitungan dengan aplikasi ArcGIS Map. Untuk memperoleh nilai evapotranspirasi aktual dilakukan perhitungan menggunakan (13). Nilai evapotranspirasi aktual ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 6.

##### C. Hitung Limpasan Air Dasar ( $Q_{bf}$ )

Setelah nilai evapotranspirasi aktual diketahui, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai limpasan air dasar (*base flow*) menggunakan (20). Nilai limpasan air dasar pada tahun 2017-2019 ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 7.

##### D. Hitung Limpasan Air Permukaan ( $Q_{dr}$ )

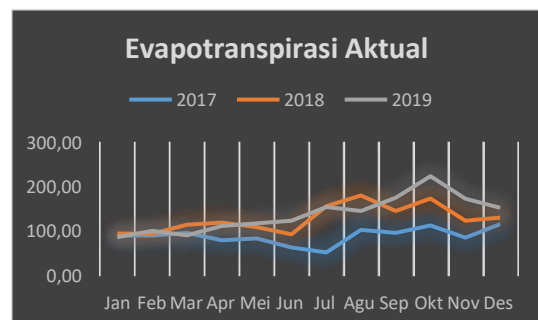
Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai limpasan air permukaan (*direct runoff*) diperoleh dari (21). Adapun besarnya dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 8.

##### E. Hitung Limpasan Air Sungai ( $Q_{ro}$ )

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai limpasan air permukaan (*runoff*) diperoleh dari (23) yaitu penjumlahan antara  $Q_{bf}$  dan  $Q_{dr}$ . Adapun besarnya dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 9.

Tabel 2. Nilai evapotranspirasi aktual tahun 2017-2019

Bulan/Tahun	2017	2018	2019
Januari	90,63	95,63	87,04
Februari	90,44	94,53	101,22
Maret	96,43	115,22	91,37
April	79,74	119,90	111,78
Mei	84,00	109,73	118,14
Juni	63,86	93,48	123,70
Juli	52,27	157,00	154,67
Agustus	102,93	180,64	145,75
September	96,64	145,84	175,84
Oktober	112,98	174,25	223,83
November	86,13	123,76	173,39
Desember	116,47	131,15	152,93

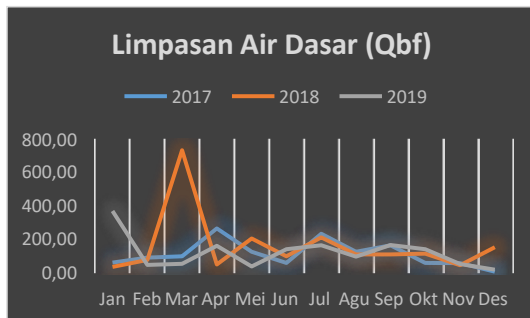


Gambar 6. Grafik evapotranspirasi aktual bulanan tahun 2017-2019



Tabel 3. Nilai limpasan air dasar (Qbf)

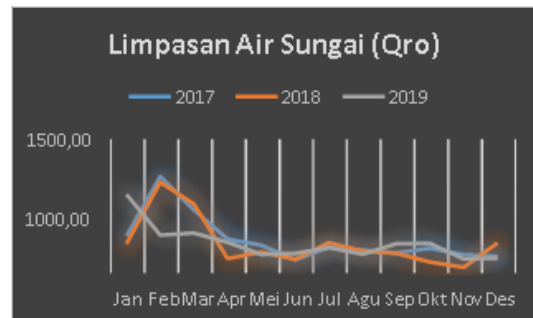
Bulan	2017	2018	2019
Januari	59,03	34,12	369,79
Februari	89,82	75,95	46,26
Maret	97,11	732,97	53,41
April	264,18	48,74	161,36
Mei	124,44	204,24	36,75
Juni	57,59	97,54	140,93
Juli	232,18	211,16	163,90
Agustus	124,87	109,05	96,72
September	162,28	108,63	166,06
Oktober	58,02	113,53	141,17
November	57,24	44,10	51,01
Desember	6,43	151,77	18,10



Gambar 7. Grafik limpasan air permukaan tahun 2017-2019

Tabel 5. Nilai limpasan air sungai (Qro)

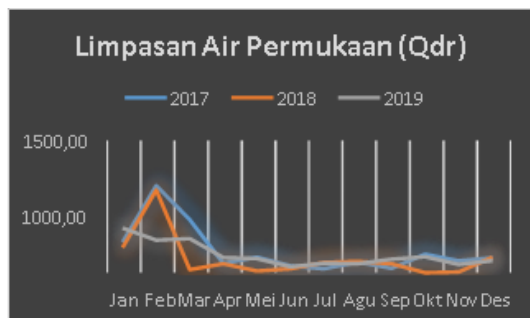
Bulan	2017	2018	2019
Januari	411,39	326,28	880,06
Februari	1080,71	1017,08	421,30
Maret	705,11	776,22	445,15
April	377,31	157,79	338,97
Mei	307,94	232,61	204,18
Juni	144,16	150,78	215,28
Juli	284,82	336,66	280,24
Agustus	252,62	244,44	205,18
September	221,30	217,13	324,96
Oktober	273,43	120,58	327,67
November	200,56	61,95	152,77
Desember	184,60	334,58	160,25



Gambar 9. Grafik limpasan air sungai tahun 2017-2019

Tabel 4. Nilai limpasan air permukaan (Qdr)

Bulan	2017	2018	2019
Januari	352,36	292,16	510,27
Februari	990,89	941,13	375,04
Maret	608,00	43,25	391,74
April	113,13	109,05	177,61
Mei	183,50	28,37	167,43
Juni	86,57	53,24	74,35
Juli	52,63	125,50	116,33
Agustus	127,76	135,39	108,45
September	59,02	108,50	158,90
Oktober	215,41	7,05	186,50
November	143,32	17,85	101,76
Desember	178,17	182,81	142,15

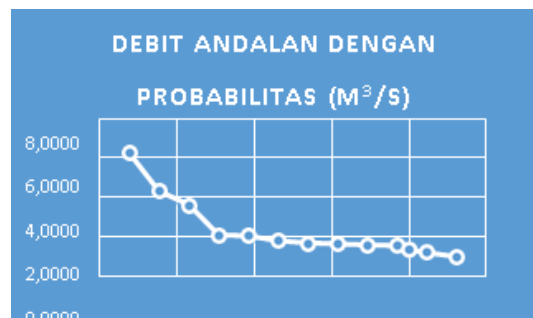


Gambar 8. Grafik limpasan air dasar tahun 2017-2019

F. Hitung Debit Andalan ( $Q_{80}$ )

Debit andalan yang digunakan adalah debit andalan dengan probabilitas 80% ( $Q_{80}$ ). Untuk mendapatkan  $Q_{80}$  dilakukan perhitungan menggunakan rumus *weillbull* pada (2). Setelah melakukan perhitungan diperoleh nilai debit andalan  $Q_{80}$  seperti ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 10.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari nilai rata-rata debit bulanan, kemudian mencari nilai probabilitas setiap bulannya. Setelah nilai probabilitas bulanan diketahui maka  $Q_{80}$  dapat dicari dengan mengurangi probabilitas di atas 80% (84,62) dengan probabilitas di bawah 80% (76,92). Hasil perhitungan menunjukkan nilai  $Q_{80}$  adalah 1,3174 m<sup>3</sup>/s, debit inilah yang akan digunakan untuk penelitian perencanaan PLTMH.



Gambar 10. Grafik debit andalan dengan probabilitas

Tabel 6. Nilai debit andalan ( $Q_{80}$ )

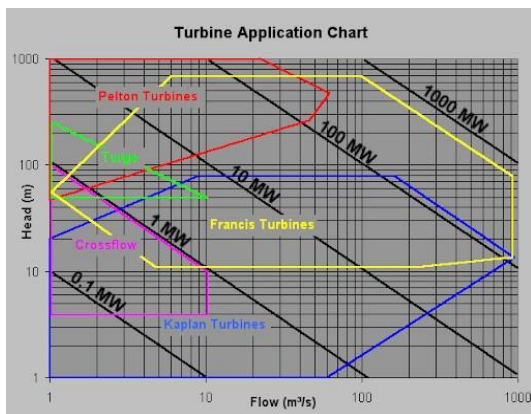
Probabilitas %	Debit Andalan $m^3/s$
7,69	6,2478
15,38	4,3156
23,08	3,6239
30,77	2,0873
38,46	2,0233
46,15	1,7671
53,85	1,6683
61,54	1,6167
69,23	1,5731
76,92	1,5220
80,00	1,3174
84,62	1,1811
92,31	0,9613

G. Hitung Jatuh Aktif

Tinggi jatuh efektif diperoleh dengan cara pengukuran langsung di lapangan dibantu dengan aplikasi Google Earth. Pengukuran langsung menggunakan meteran diperoleh nilai panjang pipa pesat yaitu 13 meter. Ketinggian penyaring dan atau titik atas pipa pesat adalah 398 mdpl, dan ketinggian titik akhir pipa pesat dan atau rumah daya adalah 385 mdpl. Dari data di atas dapat dihitung nilai tinggi jatuh efektif (Heff) melalui persamaan trigonometri, sehingga diperoleh hasil Heff adalah 6 meter.

H. Hitung Turbin

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tinggi jatuh efektif adalah 6 meter. Berdasarkan Tabel 7 dan turbine application chart yang ditunjukkan Gambar 11, maka jenis turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin kaplan/propeller.



Gambar 11. Turbine application chart [11]

Tabel 7. Kriteria pemilihan jenis turbin berdasarkan head [6].

Jenis Turbin	Head (meter)
Kaplan/Propeller	1 < H < 20
Francis	10 < H < 350
Pelton	50 < H < 1000
Crossflow	6 < H < 100
Turgo	50 < H < 250

Adapun desain turbin kaplan untuk sistem PLTMH ini adalah sebagai berikut.

- Hitung putaran spesifik turbin( $n_s$ )

$$N_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

$$N_s = 500 \frac{\sqrt{1,3174}}{6^{\frac{5}{4}}}$$

$$N_s = 149,7 \text{ rpm}$$
(24)

- Diameter luar sudu

$$D_1 = \frac{60 \cdot U_1}{\pi \cdot n}$$

$$D_1 = \frac{60 \cdot 16,80}{3,14 \cdot 500}$$

$$D_1 = 0,642 \text{ m}$$
(25)

- Diameter hub/leher poros

$$D_N = 0,5 \times D_1$$

$$D_N = 0,5 \times 0,642$$

$$D_N = 0,321 \text{ m}$$
(26)

- Diameter sudu pengarah di bagan sudu masuk

$$D_0 = 1,2 \times D_1$$

$$D_0 = 1,2 \times 0,642$$

$$D_0 = 0,770 \text{ m}$$
(27)

- Tinggi sudu pengarah

$$B_0 = \frac{Q}{D_0 \cdot \pi \cdot C_m \cdot c_o}$$

$$B_0 = \frac{1,3174}{0,770 \cdot 3,14 \cdot 0,25 \cdot 0,9}$$

$$B_0 = 0,186 \text{ m}$$
(28)

- Luas penampang sudu

$$A = (D_1^2 - D_n^2) \times \frac{\pi}{4}$$

$$A = (0,642^2 - 0,321^2) \times \frac{3,14}{4}$$

$$A = 0,242 \text{ m}^2$$
(29)

- Diameter tengah-tengah sudu

$$D_M = \frac{D_1 + D_N}{2}$$

$$D_M = \frac{0,642 + 0,321}{2}$$

$$D_M = 0,481 \text{ m}$$
(30)

- Jumlah keseluruhan lebar sudu

$$B = \frac{D_1 - D_N}{2}$$

$$B = \frac{0,642 - 0,321}{2}$$

$$B = 0,160 \text{ m}$$
(31)

- Jumlah antar sudu

$$L = \frac{D_m \times \pi}{Z}$$

$$L = \frac{0,481 \times 3,14}{6} \quad (32)$$

$$L = 0,251723 \text{ m}$$

I. Desain PLTMH

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar potensi sungai sebagai penghasil daya listrik melalui PLTMH. Oleh karena itu, untuk memperoleh besaran daya yang bisa dibangkitkan perlu diketahui nilai-nilai data penyusunnya. Yaitu data debit dan data kontur untuk keperluan desain PLTMH. Hasil pengukuran langsung diperoleh data panjangsaluran pembawa (72 meter), panjang pipa pesat (13 meter) dengan sudut kemiringan (27,5°), dan tinggi jatuh efektif air (6 meter). Adapun desain yang dibuat pada penelitian ini hanya garis besarnya saja untuk memperjelas desain ditunjukkan pada Gambar 12.

J. Simulasi Menggunakan HOMER

1) *Perkiraan beban*: Langkah pertama untuk mendesain sistem PLTMH menggunakan HOMER adalah dengan memperkirakan kebutuhan beban. Pada penelitian ini beban maksimal diasumsikan terjadi pada pukul 19.00 s.d 22.00 WIB. Hasil simulasi menunjukkan beban per hari mencapai 167.17 kWh/d, dan beban puncak/ 19,6 kW. Visualisasi data dapat dilihat pada Gambar 13.

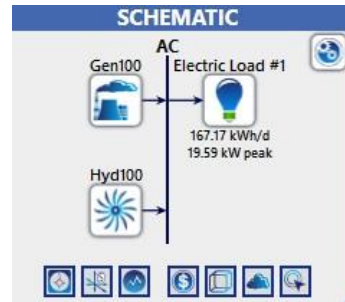
2) *Input debit bulanan*: Debit yang dimasukkan adalah debit bulanan sesuai hasil perhitungan metode Mock, tetapi satuannya diubah ke dalam Liter/detik (L/s). Besarnya debit bulanan dapat dilihat pada Gambar 14.

3) *Input jenis turbin*: Langkah selanjutnya untuk mendapatkan besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh sistem adalah dengan mendesain turbin. Adapun angka-angka yang diperlukan sudah ditentukan melalui perhitungandi atas. Desain turbin menggunakan *software* HOMER dapat dilihat pada Gambar 15.

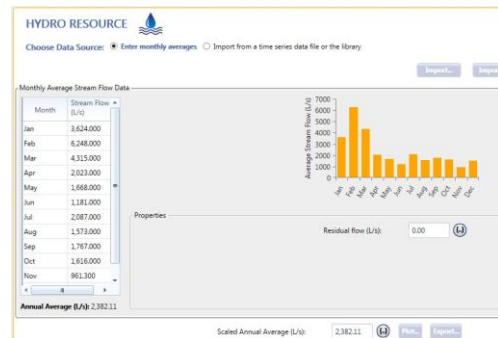
4) *Daya yang dihasilkan menurut HOMER*: Setelah memperkirakan beban, memasukkan debit bulanan, dan mendesain jenis turbin. Maka, *output* daya dapat diketahui. Berdasarkan simulasi kapasitas daya adalah 65,9 kW, daya rata-rata 63,4 kW, daya minimum 26,4 kW, daya maksimum 74,1 kW, dan faktor kapasitas sebesar 96 %. Untuk memperjelas dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 12. Desain PLTMH



Gambar 13. Schematic sistem pada HOMER

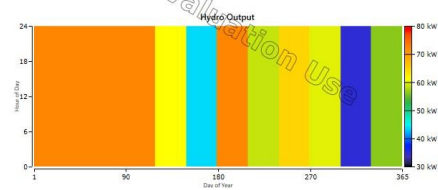


Gambar 14. Input debit andalan bulanan pada HOMER



Gambar 15. Desain turbin menggunakan HOMER

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Nominal Capacity	65.9	kW	Minimum output	36.4	kW
Mean output	63.4	kW	Maximum output	74.1	kW
Capacity factor	96.1	%	Hydro penetration	91.0	%
Total Production	554,973	kWh/yr	Hours of operation	8,760	hrs/yr
			Levelized Cost	191	Rp/kWh



Gambar 16. Daya yang dapat dihasilkan menurut HOMER

K. Korelasi Perhitungan Menggunakan Microsoft Excel dengan HOMER

Hasil perhitungan dengan Ms. Excel dan simulasi menggunakan HOMER menunjukkan nilai potensi daya yang hampir sama. Dari perhitungan manual diperoleh daya terbangkitkan sebesar 66,2 kW sedangkan simulasi HOMER menunjukkan nilai daya sebesar 65,9 kW. Jika kebutuhan listrik masyarakat sebesar 23 kW, maka sungai Dukuh Rancah berpotensi sebagai sumber energi listrik. Yaitu dengan memanfaatkannya menjadi sistem PLTMH.

## V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisis dan pembahasan data hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sungai Dukuh Rancah berpotensi sebagai pembangkit energi listrik karena kontinuitas ketersediaan air terjangkau.
2. Debit andalan sungai Dukuh Rancah adalah sebesar 1,3174 m<sup>3</sup>/s atau 1.317 L/s.
3. Diketahui tinggi jatuh efektif 6 m maka turbin yang digunakan adalah turbin jenis kaplan dengan diameter luar sudu 0,642 M, diameter poros sudu 0,321 M, diameter tengah sudu 0,481 M, diameter sudu pengarah 0,770 M, tinggi sudu pengarah 0,186, jumlah sudu 6, dan putaran spesifik turbin ( $N_s$ ) 149,7 rpm.
4. Hasil perhitungan menggunakan Ms. Excel dengan efisiensi sistem 0,85 diperoleh potensi daya air ( $P_{hidro}$ ) 77,46 kW, daya turbin ( $P_t$ ) 69,71 kW, dan daya keluaran generator ( $P_g$ ) 66,22 kW.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Hadiyanto, F. Bakri, and J. Fisika, "Rancang Bangun Prototipe Portable Mikro Hydro Menggunakan Turbin Tipe Cross Flow," *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)*, vol. 2, pp. 19–25, Oct. 2013, doi: 10.21009/03.
- [2] D. P. D Suparyawan, I. N. S Kumara, W. G. Ariastina, and J. Panglima Besar Sudirman Denpasar, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro Di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng Bali," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 2, 2013, Accessed: Dec. 07, 2022. [Online]. Available: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jte/article/view/15546>
- [3] M. A. Rusdiono, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Saluran Primer Sindupraja Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat," Dec. 2017.
- [4] Y. Putro, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Atei Desa Tumbang Atei Kecamatan Sanamang Mantikai Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah.," Apr. 2015.
- [5] S. PENERAPAN METODE MOCK DAN STATISTIK UNTUK MENGHITUNG DEBIT ANDALAN PLTA BAKARU KABUPATEN PINRANG Sutrisno and dan Ferdhy Setiawan Saputra, "STUDI PENERAPAN METODE MOCK DAN STATISTIK UNTUK MENGHITUNG DEBIT ANDALAN PLTA BAKARU KABUPATEN PINRANG," *TEKNIK HIDRO*, vol. 11, no. 2, pp. 38–47, Aug. 2018, doi: 10.26618/TH.V11I2.2445.
- [6] A. Mulyono *et al.*, "RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMANSI TURBIN AIR JENIS KAPLAN SEKALA MIKROHIDRO," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, Dec. 2018, doi: 10.24127/TRB.V7I2.817.
- [7] H. P. Dewanto, D. A. Himawanto, and S. I. Cahyono, "Pembuatan dan pengujian turbin propeller dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air piko hidro (PLTA-PH) dengan variasi debit aliran," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 12, no. 2, pp. 54–62, Mar. 2017, doi: 10.36289/JTML.V12I2.72.
- [8] R. A. Subekti, A. Susatyo, and H. Sudiby, "Tulisan DIPA KAPLAN 2007 - Seminar IPT".
- [9] D. Nugroho, A. Suprajitno, dan Gunawan VOLUME, and J. Rekeyasa Elekrika, "Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Air Terjun Kedung Kayang," *Jurnal Rekeyasa Elekrika*, vol. 13, no. 3, pp. 161–171, Dec. 2017, doi: 10.17529/JRE.V13I3.8554.
- [10] G. Jurnal, O.: Desmiwarman, and V. R. Yandri, "Pemilihan Tipe Generator yang Cocok untuk PLTMH Desa PEMILIHAN TIPE GENERATOR YANG COCOK UNTUK PLTMH DESA GUO, KECAMATAN KURANJI, KOTA PADANG," *Teknik Elektro ITP*, vol. 4, no. 1, 2015.
- [11] Y. Prabowo, S. B, N. Nazori, and G. Gata, "Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pmlth) Pada Saluran Irigasi Gunung Bunder Pamijahan Bogor," *Jurnal Ilmiah FIFO*, vol. 10, no. 1, pp. 41–52, Jun. 2018, doi: 10.22441/FIFO.2018.V10I1.005.
- [12] K. Jamlay, L. Sule, D. Hasan Teknik Mesin, P. Amamapare Timika, and J. C. Heatubun Kwamki Baru Timika Mimika Papua, "ANALISIS PERILAKU ALIRAN TERHADAP KINERJA RODA AIR ARUS BAWAH UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK SKALA PIKOHIDRO," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 250–1729, Jun. 2016, doi: 10.29303/dtm.v6i1.25.

# Implementation of Pre-Emphasis Analog Filter on Raspberry Pi Using Zero-Order Hold Discretization as a Pre-Processing to Humanoids' Commands Recognition

Jans Hendry<sup>1,\*</sup>, Budi Sumanto<sup>1</sup>, Yoga Mileniandi<sup>1</sup>, Putri Mawaring Wening<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering and Informatics, Universitas Gadjah Mada; budi.sumanto@ugm.ac.id, yogamileniandi@mail.ugm.ac.id, putrimawaringweningw@mail.ugm.ac.id

\*Correspondence: jans.hendry@ugm.ac.id

*Intisari – Dalam teknologi yang menggunakan pengolahan sinyal wicara, tapis pre-emphasis sering digunakan sebelum proses ekstraksi ciri. Tapis ini dapat memperbesar amplitudo dari sinyal pada frekuensi tinggi sambil tetap mempertahankan bagian sinyal pada frekuensi rendah. Dalam penelitian ini, kami menerapkan tapis pre-emphasis analog yang dikembangkan dari tapi pelolos frekuensi tinggi. Lalu, filter tersebut didiskretkan menggunakan metode zero-order hold (ZOH). Kedua filter tersebut memiliki pole yang menunjukkan kestabilan. Nilai pole dari tapis diskret selalu di titik nol, sedangkan nilai zero -0.9375. Hasil rekonstruksi dengan menggunakan tapis de-emphasis menunjukkan nilai mean-squared error nol yang menyimpulkan bahwa strategi menggunakan metode frame-by-frame untuk implementasi tapis pre-emphasis sangat dianjurkan.*

**Kata kunci** – pre-emphasis, de-emphasis, mean-squared error, tapis, wicara

**Abstract** – In speech processing technology, the pre-emphasis filter is often used before feature extraction. This filter can emphasize amplitude with high frequencies while preserving the low frequencies side. In this research, we implemented a complete analog pre-emphasis filter from a conventional analog high-pass filter. Then the analog pre-emphasis filter is discretized using zero-order hold (ZOH). The analog and discrete forms have been shown stable according to pole location. The pole of the discrete form is always at the origin, while zero is -0.9375. The reconstruction result, with the help of the de-emphasis filter, shows no discrepancies over the original, hence the mean-squared error is zero which establishes the conclusion that the frame-by-frame method applies to the pre-emphasis filter is lossless and preferable.

**Keywords** – pre-emphasis, de-emphasis, mean-squared error, filter, speech

## I. INTRODUCTION

Mainly, speech recognition is one of the features that humanoid robots are supposed to have. It aims to understand the meaning of words spoken to them, for instance, commands, questions, or other information. Generally, speech recognition comprises three stages namely pre-processing, processing, and recognition. In the pre-processing stage, standardization (normalization and dc-removal) and filtering can be the most inevitable process. They highly influence the quality of input for feature extraction that can be used further for artificial intelligence methods like machine learning. Certain well-known feature extraction methods use filtered speech signals as their input. This filter is called the pre-emphasis filter. It is merely a high-pass filter (HPF) that can be built in the analog form by using capacitor, inductor, and resistor components. Another filter so-called de-emphasis filter is a reciprocal of the aforementioned filter. It is a low-pass filter (LPF) that can reconstruct original speech from pre-processed speech. This filter also can be built using available passive components as well as the pre-emphasis filter.

There are several novel research still uses this technique as part of their main method. They are various research fields that embed speech processing in their research to produce a signal for actuators or the rest of the system. The research utilizes mel frequency cepstral coefficients (MFCC) and support vector machine (SVM) to control five degree-of-freedom (DoF) robot arms based on speech command has

been conducted [1]. By using 12 cepstrum features of each speech, the system can recognize correctly 70% of test data. A similar feature extraction method has also been used to create a home automation system [2]. They implemented the design system into raspberry pi and NodeMCU and proved that the concept can work. A noisy speech recognition system that allegedly can help autism therapy has also been developed. This system is planned to be planted into a helper robot that uses MFCC which incorporates the aforementioned filter [3]. Implementation of mobile robot control based on speech recognition in an embedded device is feasible especially when the module and programming software has been provided for instance, by using NI MyRIO-1900 [4]. Research that focuses on a study of the effect of environmental disturbances on a robot has also been conducted. The system used MFCC which originally used the pre-emphasis filter before calculation. The result said that maximum accuracy in the appropriate conditions can reach 93.51% [5]. The pre-emphasis filter can be used as an independent tool to help voice data transmission. This filter can protect high frequencies from random noise in the air. When received, the signals are reconstructed back to voice data using the de-emphasis filter [6]. Hence, it shows that the role of this filter is significant as it provides a different representation of original signals to be used for feature extraction or data protection.

Recalling the significant role of this filter, this research aims to implement the pre-emphasis and the de-emphasis filter in the real-time process by using the Raspberry Pi 3

Model B. Both pre-emphasis and de-emphasis filters will be drawn from the analog form to give a comprehensive understanding. Added to that, a discretization method is used which is a zero-order hold. Raspberry Pi is one of the popular tiny computers utilized in robotic projects that can be incorporated with a microcontroller to form a complete (humanoid) robot. The de-emphasis is not necessarily needed in some cases, but it will be used to measure the error before and after filtering. In some research, the processing relies on a commonly used computer like a laptop or desktop, then it connects to a microcontroller to control the robots. In our research, this machine is proposed to be replaced by Raspberry Pi. This paper is organized as follows: 1) the motivations and aims are explained in the Introduction, 2) the methods of this research are explained in the Methodology, 3) the results and discussions are described in the Result and Discussion, 4) the Conclusion.

## II. METHODOLOGY

Speech signals belong to non-stationary signals. These signals can be seen as stationary signals when they are divided into blocks around 10 to 30 ms, or quasi-stationary signals. Commonly, frequencies of human speech are below 4 kHz. Subject to the Nyquist theorem, the common sampling frequency used is 8 kHz to avoid aliasing. The pre-emphasis filter can be used as part of an algorithm or stand-alone. When used as part of an algorithm, it is mainly included in the features extraction phase, for example, MFCC and linear predictive coding (LPC). Many speech processing methods, tend to produce better patterns for low frequencies than high frequencies. Hence, it is common to emphasize high frequencies before the further process [7]. The pre-emphasis filter is a type of finite impulse response (FIR) where poles are always at the origin and zeros can be anywhere inside the unit circle. This is the reason the pre-emphasis filter and its reciprocal are always stable.

### A. Analog Form

The realization of the pre-emphasis filter is a high-pass filter (HPF) while the realization of its reciprocal is a low-pass filter (LPF). This filter in analog form can be made of passive components. The ideal LPF and HPF responses are illustrated in Figure 1(a)-(b). These ideal filter responses depict the target of any designed LPF or HPF. Nonetheless, they are difficult to reach. Hence, all designed filters are intended to yield approximation values.

The pre-emphasis filter is a first-order filter that contains exactly one energy storage component for instance a capacitor. Even if the pre-emphasis filter resembles an HPF, it is slightly different in function. An ordinary HPF passes higher frequencies after 3 dB frequency while blocking lower frequencies. It does not meet the criteria of a filter needed in speech processing where all frequencies should be kept as they are with some part of them amplified to emphasize their existence. The ordinary HPF as shown in Figure 2(a) blocks all the lower frequencies below the cut-off frequency. To maintain the lower frequencies, a

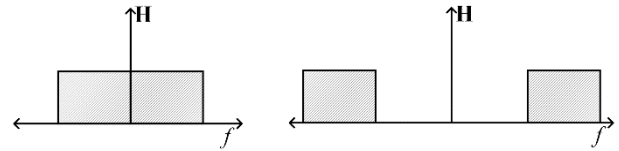


Figure 1. Ideal filter (a) low-pass filter (b) high-pass filter

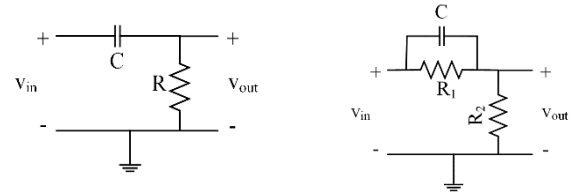


Figure 2. (a) Ordinary HPF, (b) pre-emphasis filter

resistor  $R_1$  parallels with the capacitor  $C$  should be put on as shown in Figure 2(b).

Assume that  $H_\infty(S)$  is a no-load transfer function in the Laplace form of the ratio between  $v_{out}$  and  $v_{in}$ . The impedance between  $C$  and  $R_1$  is expressed by (1).

$$Z_1 = R_1 / (R_1 C s + 1) \tag{1}$$

Then,

$$H_\infty(S) = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_2}{R_2 + Z_1} \tag{2}$$

by substituting  $Z_1$  into (2), it yields

$$H_\infty(S) = \frac{R_1 R_2 C s + R_2}{R_1 R_2 C s + (R_1 + R_2)} \tag{3}$$

by dividing the numerator and denominator in (3) with  $R_1 R_2 C$ , it leaves the unit constant for the higher order of the transfer function as expressed in (4).

$$H_\infty(S) = \frac{s + (1/R_1 C)}{s + \frac{1}{C} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \tag{4}$$

The stability of the transfer function can also be examined by finding the pole of the transfer function. According to (4), there is only one pole, denoted with  $s_p$ , with a value in (5).

$$s_p = -\frac{1}{\frac{1}{C} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \tag{5}$$

as can be seen that no matter what the values of the capacitor and resistors, the pole will always be on the left side of the S-complex plane. It concludes that the analog passive pre-emphasis filter is always stable. Meanwhile, the zero value from (4), denoted with  $s_0$ , is shown in (6) which also lies on the left side of the S-complex plane.

$$s_0 = -\frac{1}{R_1 C} \quad (6)$$

### B. Discrete Form

To implement the analog passive filter in a microcontroller or processor, they should be converted to a discrete-time transfer function. In this research, the zero-order hold (ZOH) method is used. A continuous-time system, denoted with  $\mathbf{H}_\infty(\mathbf{S})$ , can be discretized by using (7).

$$\mathbf{H}_\infty(\mathbf{Z}) = (1 - z^{-1})Z\left\{L^{-1}\left[\frac{\mathbf{H}_\infty(\mathbf{S})}{s}\right]\right\} \quad (7)$$

Equation (7) tells that the continuous-time transfer function should be divided by  $s$  and then inversed using the Laplace inverse transform. Then, it is followed by Z-transform before being multiplied by  $1 - z^{-1}$ .

### C. Mean Square Error

Let  $x[n]$  and  $\hat{x}[n]$  denote the original and the reconstructed speech signal, consecutively. Then, the error of the signal before and after filtering is calculated using mean squared error as expressed by (8). Here,  $N$  denotes the length of the speech signal.

$$mse = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n] - \hat{x}[n])^2 \quad (8)$$

## III. RESULT AND DISCUSSION

The pre-emphasis filter is a first-order FIR filter. Hence, the components value should be selected carefully as such it contains pole only in origin and zeros inside the unit circle. This requirement ensures that the pre-emphasis filter is always stable. The optimal passive components value that meets the requirement is shown in Table 1. The range of capacitor that can be selected is broader than the resistor. The value displayed in Table 1 is the minimum value that the filter should have. By using selected component values, the analog transfer function in (4) becomes

$$\mathbf{H}_\infty(\mathbf{S}) = \frac{s + 6.667 * 10^5}{s + 1.067 * 10^7} \quad (9)$$

As can be seen that pole lies on the right-side S-complex plane,  $s_p = -1.067 * 10^7$  as well as the zero which is  $s_0 = -6.667 * 10^5$  as also shown by Figure 3 where the pole is marked with X and zero is marked with O.

Table 1. Selected components value

Type	Symbols	Value
Resistor	$R_1$	15 k $\Omega$
Resistor	$R_2$	1 k $\Omega$
Capacitor	C	0.1 nF

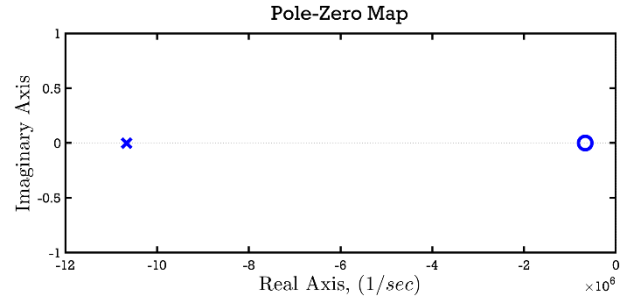
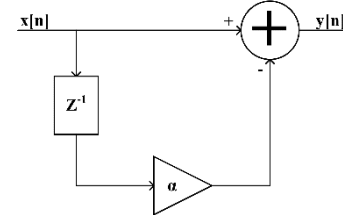


Figure 3. Pole-zero of analog pre-emphasis filter

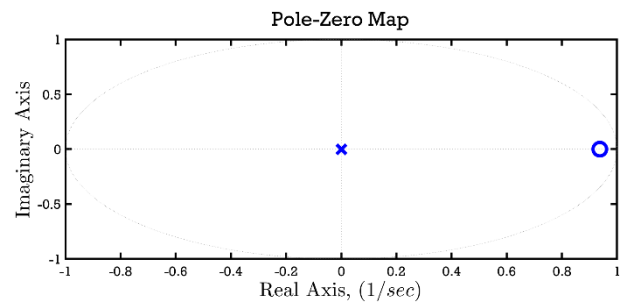
The analog transfer function is discretized by using (7) and yields (10). This form shows that pole exists only at the origin, while zero equals 0.9375 which lies exactly inside the unit circle. The time-domain form of this filter is a Z-transform inverse form that produces a causal filter. In this domain, the inversed form can be drawn using a direct form of FIR filter as shown in Figure 4(a). Along with that, the pole and zero plots are expressed in Figure 4(b) to show how they are nicely placed inside the unit circle.

$$\mathbf{H}_\infty(\mathbf{Z}) = \frac{z - 0.9375}{z} \quad (10)$$

The pre-emphasis filter in the form of (10) is programmed into Raspberry Pi Model 3 B as a digital filter for speech data input. The specification of this minicomputer is shown in Table 2 with the installation in Figure 5. In this experiment, a *frame-by-frame* method is applied. With this method, there is a chance that discontinuity between each consecutive frame will happen. This discontinuity is audible like a *click* or *nasal* sound. To avoid this, internal *history* data has been used. This internal *history* is yielded after each filtering of each frame; hence they can be called at any time to be incorporated into the next filtering.



(a)



(b)

Figure 4. (a) Direct form of first-order FIR filter, (b) pole-zero of discrete pre-emphasis filter

Table 2. Raspberry Pi 3 Model B specifications

Item	Remark
Processor	Quad Core Broadcom BCM2837 64bit ARMv7
Speed	1.25 GHz
Output Current	Up to 2.5 A



Figure 5. Raspberry Pi and microphone installation

The microphone attached to Raspberry Pi is recognized as *USB-Audio-UACDemoV1.0* with device ID '1,0', the number of channels equals 1, the bit depth is a 16-bit integer, and the sampling frequency is 48 kHz. Even though there is a discrepancy between the available device's sampling frequency and discretization (= 8 kHz), we can still use the designed discrete pre-emphasis. As can be seen in (11), changing the sampling frequency to 48 kHz does not change the pole much.

$$H_{\infty}(Z) = \frac{z - 0.9375}{z - 3.091 * 10^{-97}} \quad (11)$$

The comparison of magnitudes response between analog and discrete pre-emphasis filters is shown in Figure 6. The higher frequencies in the discrete filter are amplified, while in the analog (continuous) form they are neither attenuated nor amplified. It can also be observed that lower frequencies have attenuation factors less than 25 dB indicating they are passed by the resistor  $R_I$ .

When tested with a real-time process using Raspberry Pi with spoken word is *test123*, the original speech, pre-emphasis result, and de-emphasis result (reconstructed) along with their spectrum frequencies are displayed in Figure 7.

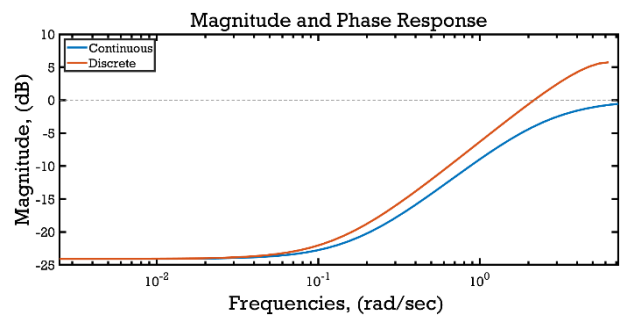


Figure 6. the Magnitude response comparison of analog and discrete filter

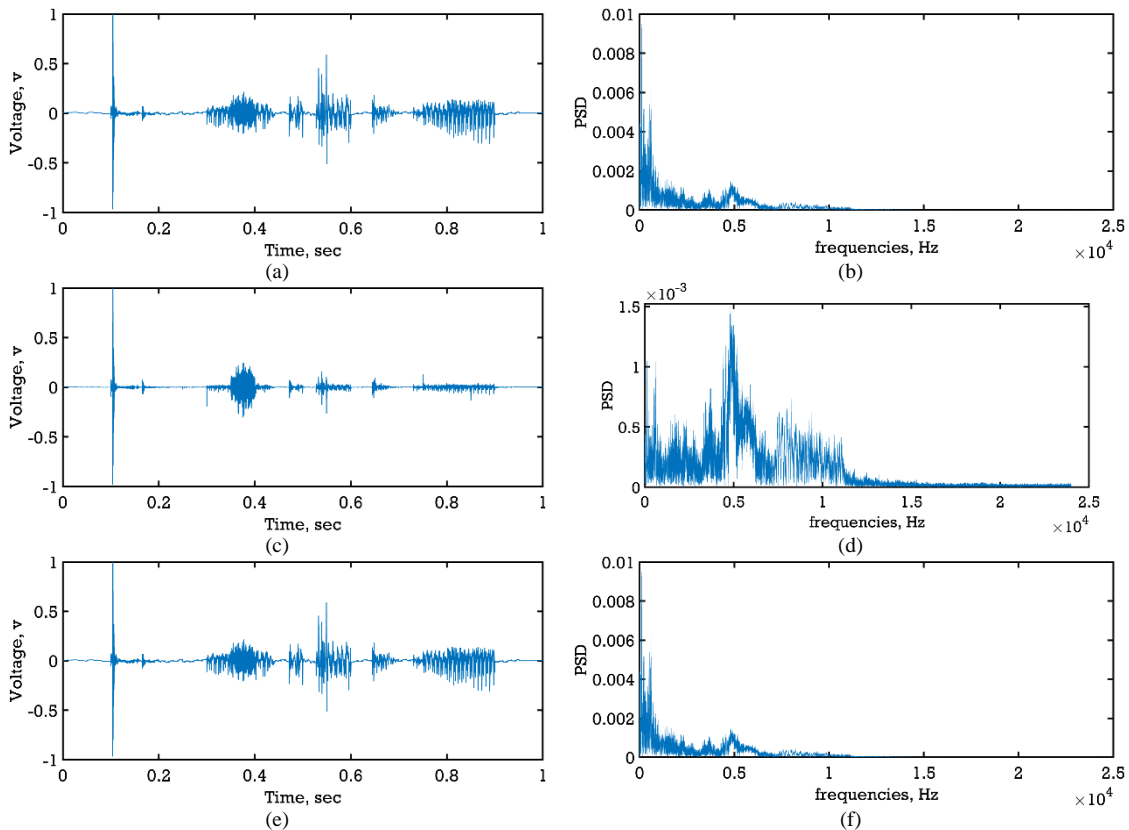


Figure 7. (a) Original speech, (b) pre-emphasis speech, (c) de-emphasis speech, (e) and (f) their corresponding spectrum frequencies



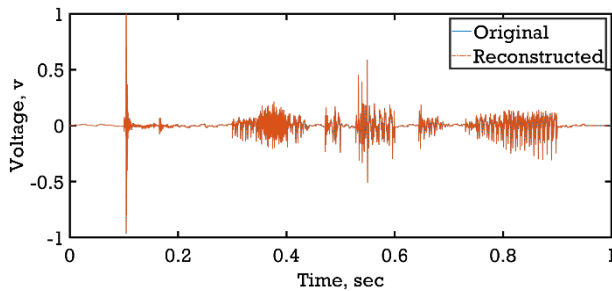


Figure 8. Original vs. reconstructed speech signal

As can be seen that from the figure that the original speech signal mostly occupies low frequencies bar, and it can be verified from its spectrum frequencies in Figure 7(a) to (b). Then, the pre-emphasis filter lifted the amplitude of the high frequencies side of the signal and slightly lowered the low frequencies amplitude as can be seen in Figure 7(c)-(d). By listening to the result through Raspberry Pi using *Audio Jack 3.5mm* port, likely, the pre-emphasis filter has attenuated the whole sound. Then, the de-emphasis filter which is merely a low-pass filter with the same discrete coefficients is applied to help the reconstruction at the end of the process. As can be seen in Figure 7(e) to (f), the de-emphasis filter has successfully reconstructed the filtered signal that the discrepancies are hard to see.

The mean-squared error between the original and reconstructed signal is 0 which means the strategy that we designed for pre-emphasis which is based on the *frame-by-frame* method establishes a *lossless* filter. It means no information is lost hence the further feature extraction method can extract wanted features. Added to that, the absolute error between the original and reconstructed speech is shown in Figure 8 as visual proof.

#### IV. CONCLUSION

Two options can be chosen for pre-emphasis implementation either in analog or discrete form. The zero-order hold can be an optimal method for analog to discrete conversion. The effect of a sampling frequency selection is not major, hence arbitrary selection will work. According to the pole location, analog and discrete forms are always stable. In the discrete form, the pre-emphasis filter lifts up the amplitude of the high frequencies part and slightly lowers the amplitude of the low frequencies part. On the contrary, the high frequencies part will be kept as they are

while slightly attenuating the low frequencies part in the analog pre-emphasis filter. The mean-squared error between the original and reconstructed signal is 0 which indicates that the *frame-by-frame* method we employ establishes a lossless filter that can help further feature extractions method to extract appropriate features. In the future, we are going to implement the whole of our research result into Raspberry Pi starting from speech separation and proceeding to speech command recognition.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This is part of the main research sponsored by the Department of Electrical Engineering and Informatics and Vocational College of Universitas Gadjah Mada under a *competitive scheme* with contract number 92/UN1.SV/K/2021.

#### REFERENCES

- [1] D. Anggraeni, W. S. M. Sanjaya, M. Y. S. Nurasyidiek, and M. Munawwaroh, "The implementation of speech recognition using mel-frequency cepstrum coefficients (MFCC) and support vector machine (SVM) method based on python to control robot arm," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 288, no. 1, p. 012042.
- [2] A. S. Haq, M. Nasrun, C. Setianingsih, and M. A. Murti, "Speech recognition implementation using MFCC and DTW algorithm for home automation," in *Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics*, 2020, vol. 7, no. 2, pp. 78–85.
- [3] S. Attawibulkul, B. Kaewkamnerdpong, and Y. Miyana, "Noisy speech training in MFCC-based speech recognition with noise suppression toward robot assisted autism therapy," in *2017 10th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)*, 2017, pp. 1–5.
- [4] N. Adnene, B. Sabri, and B. Mohammed, "Design and implementation of an automatic speech recognition based voice control system," 2021.
- [5] B. Birch, C. A. Griffiths, and A. Morgan, "Environmental effects on reliability and accuracy of MFCC based voice recognition for industrial human-robot-interaction," *Proc Inst Mech Eng B J Eng Manuf*, vol. 235, no. 12, pp. 1939–1948, 2021.
- [6] A. F. Isnawati and J. Hendry, "Implementasi Filter Pre-Emphasis untuk Transmisi Sinyal Audio pada Sistem Komunikasi FBMC-OQAM," *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 8, no. 4, pp. 340–346, 2019.
- [7] I. McLoughlin, *Applied speech and audio processing: with Matlab examples*. Cambridge University Press, 2009.

# Cheap and Fast Implementation of Linear and Cubic Piecewise Interpolation for Robot Path Smoothing on Arduino Uno Board

Trias Prima Satya<sup>1</sup>, Jans Hendry<sup>1\*</sup>, Aditya Putra Yudhananta<sup>1</sup>, Zubainindra Bagus F Meliawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering and Informatics, Universitas Gadjah Mada; trias.primasatya@ugm.ac.id, adityapy28@mail.ugm.ac.id, zubainindra\_agus@mail.ugm.ac.id

\*Correspondence: jans.hendry@ugm.ac.id

**Intisari** – Teknologi mobile robot telah menjadi bagian dari keseharian manusia. Perkembangannya yang cepat telah menghasilkan robot-robot yang digunakan untuk tujuan khusus seperti layanan kebersihan, memindahkan barang di gudang, dan otomasi lainnya. Robot-robot ini biasanya memiliki kemampuan navigasi otomatis yang dihasilkan dari pelatihan berupa peta jalur yang akan dilalui. Permasalahannya adalah cukup banyak metode dengan tujuan tersebut yang tidak menyertakan metode penghalusan jalur saat membelok. Penambahan teknik tersebut memang memberatkan kerja otak robot apalagi jika metode yang digunakan cukup kompleks sehingga membutuhkan perangkat keras yang mahal. Penelitian ini mengusulkan pendekatan metode linear dan cubic terhadap persamaan aslinya. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai mean squared error keduanya 0,7789 dan 0,7365 dengan waktu komputasi sekitar 0,809 detik dan 0,836 detik. Maka kedua pendekatan ini cukup menjanjikan untuk diterapkan pada perangkat keras yang murah untuk aplikasi mobile robot.

**Kata kunci** – mobile robot, penghalusan jalur, interpolasi, linear, cubic

**Abstract** – Mobile robot technology has become our daily need. The pace of development has yielded various useful robots that can do specific tasks like cleaning services, transporting stuff in a warehouse, and automation. These robots usually have self-navigation ability that comes from a pre-training map in the form of trajectories. The problem is most of the methods do not consider the path smoothing at a turning point. This is because it can burden the robot processor. Hence, in this research, we implemented an estimation of the two most popular methods in path smoothing based on interpolation which are linear and cubic interpolations. The result shows that the mean squared error between the estimated and original formula of interpolation is around 0.7789 and 0.7365 with execution times around 0.809 seconds and 0.836 seconds, respectively. Hence, both estimation methods can be very promising to be implemented in real-world mobile robots application.

**Keywords** – mobile robot, path smoothing, interpolation, linear, cubic

## I. INTRODUCTION

Mobile robots have become a familiar technology nowadays. They are used for specific purposes with specific tasks like cleaning, transporting stuff in a warehouse, and industrial automation [1]. These robots are developed with the ability to self-navigating and survive in an uncommon environment. For this purpose, a robot should be equipped with various sensors, for instance, inertial measurement units (IMU), RGB and depth camera, range finders (laser-based or ultrasonic), and so on. In many cases, these robots are required to create a full path that can be a closed loop or an open loop. This path is regarded as their map to use for future moves when they are burdened with the same tasks. One of the popular methods for self-navigating mobile robots is SLAM (simultaneous localization and mapping) method which helps them to build path or trajectory maps and localize their position in that map [2]. Path creation in this discussion is called path planning.

Quite many of the algorithms used for path planning end up with schools of straight lines and sharp turns to avoid collision with static obstacles as shown in Figure 1. Commonly, path planning follows *straight blue lines* with sharp turns that can be disadvantageous. When a robot finds a turn, it will be slowing down and stop then accelerate in another direction. This action can be expensive in terms of battery source as overshoot might happen each time it accelerates. From another point of view, suppose that the robot is a service robot chair that transports a disabled

person, it has the potential to cause shock and inconvenience to the person. Added to that, the kinematics of robots might not be able to handle such turns. Hence, it is safer to create a smooth path at the turning point as depicted by the *orange line*.

To create a smooth path as shown by the *orange line*, some algorithms can be used. They are polynomial interpolation, Bezier curve, Cubic Splines, B-Spline, NURBS curve, Dubin's curve, Clothoid, Hypocycloid, and other optimization-based curves [3]. Simply, this turning point depicted by *the blue lines* is called discontinuity. This point should be replaced with a new line that can bridge two consecutive lines which is called a curve. To create a smooth and better curve, an equation with high complexity is needed. Hence the implementation in terms of execution time and resource availability can be hard. So, an estimation is needed with an accepted error tolerance as such they can be planted into cheap hardware with fast execution time.

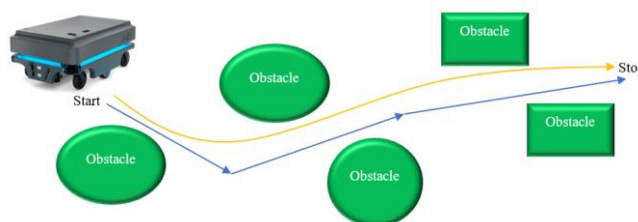


Figure 1. Illustration of mobile robot path

In this paper, the implementation of two famous path smoothing methods estimation is introduced. They are linear and cubic piecewise polynomial interpolations. The implementation is applied in Arduino Uno which has lower features than others. To have better reading experiences, this paper is organized as follows: 1) the motivations and aims are explained in the Introduction, 2) the methods used in this research are explained in the Methodology, 3) the results and discussions are described in the Result and Discussion, 4) the Conclusion.

## II. METHODOLOGY

The interpolation technique is frequently used in many fields like signal processing, image processing, data analysis, economics, electronics, controls, and so on. This technique is first introduced by Waring [4]. In a nutshell, for any pairs of  $(x_i, y_i)$ , new members of  $y_i$  at new points  $x_i$  that lies between them can be estimated by involving the given  $y_i$ .

### A. Linear Interpolation

Assume that  $f(x)$  is a quadratic formula that represents a smooth curve for the robots' path. The linear interpolation is used to fill the in-between points as such the robots can move smoothly without further slowing down.

$$f(x) = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

the first derivative of  $f(x)$  is calculated by (2).

$$f'(x) = 2ax + b \quad (2)$$

with the range of  $x = [0, 1]$ , then the value of  $f(x)$  and its derivative are

$$f(0) = c \quad (3)$$

$$f(1) = a + b + c \quad (4)$$

$$f'(0) = b \quad (5)$$

$$f'(1) = 2a + b \quad (6)$$

by assuming that  $p_0$  and  $p_1$  are points at  $x = 0$  and  $x = 1$ , respectively, then the value of  $a$ ,  $b$ , and  $c$  can be replaced with

$$a = \frac{p_1 - p_0}{2} \quad (7)$$

$$b = \frac{p_1 - p_0}{2} \quad (8)$$

$$c = p_0 \quad (9)$$

Hence, the quadratic curve ( $s(x)$ ) can be fed to the microcontroller directly as expressed by (10).

$$s(x) = \frac{p_1 - p_0}{2} x^2 + \frac{p_1 - p_0}{2} x + p_0 \quad (10)$$

### B. Cubic Interpolation

In this technique, the curve is assumed to be a 3<sup>rd</sup>-order polynomial as stated in (11). The goal is like (10), to find the new assignment of  $a$ ,  $b$ , and  $c$  that can be directly filled with numerical values which is the position of robots.

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (11)$$

The derivative of  $f(x)$  is

$$f'(x) = 3ax^2 + 2bx + c \quad (12)$$

with the range of  $x = [0, 1]$ , then the value of  $f(x)$  and its derivative are

$$f(0) = d \quad (13)$$

$$f(1) = a + b + c + d \quad (14)$$

$$f'(0) = c \quad (15)$$

$$f'(1) = 3a + 2b + c \quad (16)$$

this technique takes four points (two on the left and two on the right) to calculate the final estimation. Assume that  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $p_2$ , and  $p_3$  are values at  $x = -1$ ,  $x = 0$ ,  $x = 1$ , and  $x = 2$ , respectively. Then the value of  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , and  $d$  are

$$a = -\frac{1}{2}p_0 + \frac{3}{2}p_1 - \frac{3}{2}p_2 + \frac{1}{2}p_3 \quad (17)$$

$$b = p_0 - \frac{5}{2}p_1 + 2p_2 - \frac{1}{2}p_3 \quad (18)$$

$$c = -\frac{1}{2}p_0 + \frac{1}{2}p_2 \quad (19)$$

$$d = p_1 \quad (20)$$

by substituting (17) – (20) to  $f(x)$ , the final  $s(x)$  can be calculated as in (21).

$$\begin{aligned} s(x) = & \left(-\frac{1}{2}p_0 + \frac{3}{2}p_1 - \frac{3}{2}p_2 + \frac{1}{2}p_3\right)x^3 \\ & + \left(p_0 - \frac{5}{2}p_1 + 2p_2 - \frac{1}{2}p_3\right)x^2 \\ & + \left(-\frac{1}{2}p_0 + \frac{1}{2}p_2\right)x + p_1 \end{aligned} \quad (21)$$

### C. Mean Squared Error

Let  $s_n[x]$  and  $\hat{s}_n[x]$  denote the original equation and estimation of the polynomial interpolation, hence the error can be calculated using mean squared error using (22).

$$mse = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (s_n[x] - \hat{s}_n[x])^2 \quad (22)$$

### III. RESULT AND DISCUSSION

The microcontroller used in this experiment is ATMEGA328P which is used in the Arduino Uno development board as shown in Figure 2. Its specification is shown in Table 1. With these low features, it is better to implement an interpolation method with low complexity while maintaining quality. Hence, the approach offered in this experiment can meet the requirement.

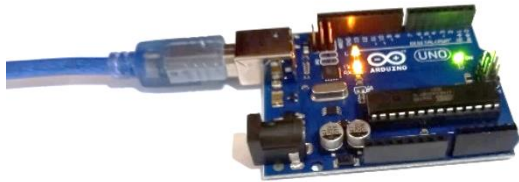


Figure 2. Arduino Uno development board

Table 1. ATMEGA328P specifications

Type	Value
CPU	8-bit AVR
Speed	1 MIPS for 1 MHz
RAM	2 Kbytes SRAM
EEPROM	1 Kbytes
Type	Value

#### A. Linear Interpolation

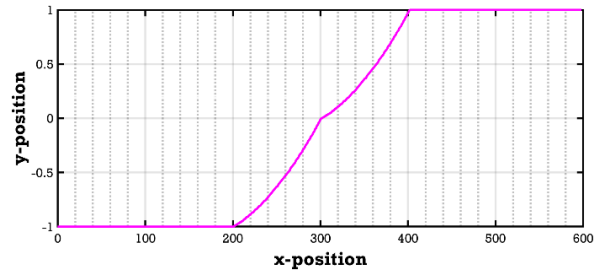
The interpolation of consecutive points that represent robot position  $(x, y)$  using the estimation method is shown in Figure 3(a). These values are read by MATLAB via serial communication (*port com:6*) right after the calculation is finished. Curve plots using *serial plot* which is available in Arduino IDE can't provide high-definition figures for better visual. Hence, we make another program to read and display the curve in another programming language. In figure 3(b), the curve calculated using original interpolation with the same  $(x, y)$  is plotted using MATLAB as a comparison. As can be observed that they have similar tendencies, but the estimated curve has exhibited few errors. There is a discontinuity that happens on  $(x, y) = (300, 0)$  which is caused by the *sign* changes in the *y*-direction. It will not happen in the real-world coordinates as their value will be always positive.

#### B. Cubic Interpolation

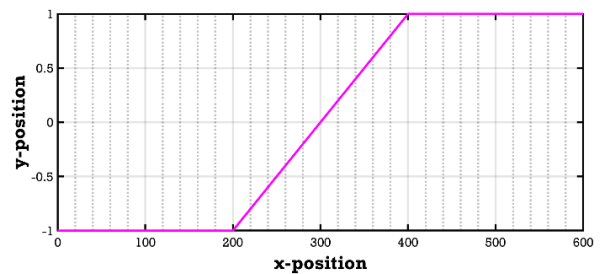
The cubic interpolation over the mobile robot's path is shown in Figure 4. Like linear interpolation, the cubic estimation also produces a similar curve compared with the original cubic interpolation but with some errors depicting discrepancies between the estimated and original cubic. The curve from the estimated cubic has 2 peaks because they are rolling down faster than the original. That is why they yielded errors between interpolated points.

#### C. Mean Squared Error

The error between estimated and original interpolation is also measured in this experiment. It can be shown that the interpolation error for estimated linear and cubic interpolation is around 0.7789 and 0.7365, respectively. The smaller error that cubic has indicated that this estimation is better in performance compared to estimate linear. Hence, the estimated cubic approach that we used can be potentially useful in a real-world implementation.

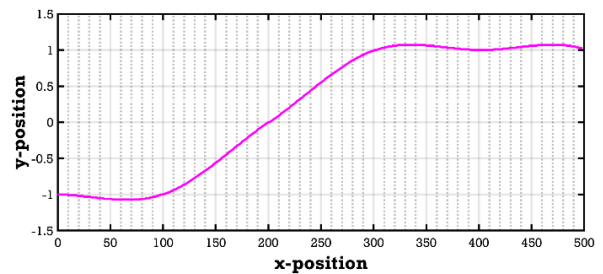


(a)

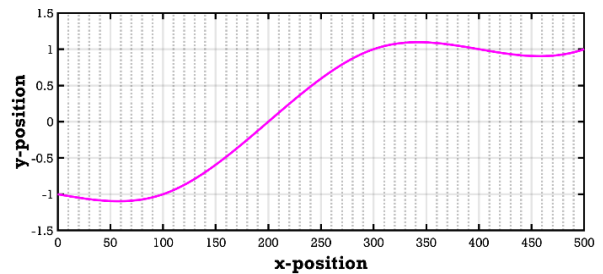


(b)

Figure 3. Path smoothing by (a) estimated linear interpolation, (b) original linear interpolation



(a)



(b)

Figure 4. Path smoothing by (a) estimated cubic interpolation, (b) original cubic interpolation

#### D. Execution Time

The execution time is measured by using *millis()* which is a built-in function in Arduino IDE. When measured, the linear interpolation takes around 0.809 seconds to finish one estimation and 0.836 seconds for cubic interpolation. The time difference between both methods is slightly low but cubic interpolation can give a smooth curve than linear interpolation with lower errors. Both methods executed the iteration in less than one second which is very promising.

#### IV. CONCLUSION

The polynomial interpolations for the mobile robot's path smoothing have been implemented in the Arduino Uno board. The execution time for linear and cubic interpolation is around 0.809 sec and 0.836 sec, consecutively. They are still under 1 second which is probably acceptable for a mobile robot to plan its smooth path. The curve yielded from the estimations is similar to the original equation of the polynomial. Their MSE are 0.7789 and 0.7365, respectively, which indicates that the estimated formula can be very promising to be used in a real-world implementation.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This is part of the main research sponsored by the Department of Electrical Engineering and Informatics and Vocational College of Universitas Gadjah Mada under a *competitive scheme*.

#### REFERENCES

- [1] N. Correll *et al.*, "Analysis and observations from the first amazon picking challenge," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 15, no. 1, pp. 172–188, 2016.
- [2] A. A. Ravankar, Y. Hoshino, A. Ravankar, L. Jixin, T. Emaru, and Y. Kobayashi, "Algorithms and a framework for indoor robot mapping in a noisy environment using clustering in spatial and hough domains," *Int J Adv Robot Syst*, vol. 12, no. 3, p. 27, 2015.
- [3] A. Ravankar, A. A. Ravankar, Y. Kobayashi, Y. Hoshino, and C.-C. Peng, "Path smoothing techniques in robot navigation: State-of-the-art, current and future challenges," *Sensors*, vol. 18, no. 9, p. 3170, 2018.
- [4] E. Waring, "Vii. problems concerning interpolations," *Philos Trans R Soc Lond*, no. 69, pp. 59–67, 1779.

# Rancang Bangun Pemantauan Kadar Gas Metana pada Pengolahan Sampah Organik Berbasis IoT Menggunakan *Microcontroller* ESP32

Salma Osa Novantri<sup>1,\*</sup>, Unan Yusmaniar Oktiawati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; salmaosa01@gmail.com

\*Korespondensi: unan\_yusmaniar@ugm.ac.id

**Abstract** –*The accumulation of waste, especially organic trash, can cause respiratory distress. It also can even cause explosions. The explosion was caused by organic trash containing methane gas with certain levels reacting with free air. To create a clean and healthy environment from trash needs, every household should be further handles them, specifically with utilizing organic trash as a basic fertilizer. This tool is intended to help problems caused by the onset of methane gas in the process of processing organic trash. It can detect methane gas concentrations using MQ-4 sensors in ppm units and supported by DHT-22 sensors to detect air temperature and humidity in dust bin. The process of monitoring and processing data is conducted by ESP32 microcontroller connected to a website through internet in accordance with the principles of IoT (internet of things) through the media website.*

**Keywords:** *organic trash, methane gas level, monitoring, MQ-4, IoT*

Intisari–Penumpukan sampah khususnya sampah organik dapat menyebabkan gangguan pernapasan bahkan dapat menimbulkan ledakan. Ledakan tersebut disebabkan karena sampah organik mengandung gas metana dengan kadar tertentu bereaksi dengan udara bebas. Dalam rangka menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat dari sampah perlu ditindak lanjuti dengan penanganan sampah secara mandiri di setiap rumah tangga yaitu dengan memanfaatkan sampah organik sebagai pupuk dasar. Alat ini dimaksudkan untuk membantu permasalahan yang disebabkan oleh timbulnya gas metana pada proses pengolahan sampah organik. Alat ini dapat mendeteksi konsentrasi gas metana menggunakan sensor MQ-4 dalam satuan ppm dan didukung dengan sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban udara dalam tong sampah. Proses pemantauan dan pengolahan data didukung oleh *microcontroller* ESP32 dengan jaringan internet sesuai dengan prinsip IoT (*internet of things*) melalui *media website*.

**Kata kunci:** *sampah organik, kadar gas metana, monitoring, MQ-4, IoT*

## I. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman, laju pertumbuhan penduduk semakin meningkat diikuti dengan pembangunan dalam berbagai sektor guna memenuhi kebutuhan manusia yang semakin kompleks. Pemenuhan kebutuhan tersebut tidak jauh dari peningkatan jumlah sampah yang bersumber dari sisa produksi dan konsumsi makhluk hidup. Sampah dapat berasal dari bahan anorganik maupun organik. Sampah anorganik merupakan sampah yang sulit untuk diuraikan oleh alam dan sukar untuk membusuk. Sedangkan sampah organik merupakan sampah yang dapat diurai secara alami tanpa proses daur ulang. Namun, masih ada pihak yang memiliki persepsi bahwa sampah yang mudah terurai dianggap tidak berbahaya. Padahal dengan meningkatnya jumlah sampah, khususnya sampah organik yang dibiarkan menggunung tanpa ada pengawasan khusus, akan menjadi bom waktu yang berimbas balik kepada manusia maupun lingkungan. Tercatat di Hari Peduli Sampah Nasional 2018, ada 631,37 ton sampah organik yang dikelola [1].

Berbagai wujud sampah organik seperti ampas makanan, rumput, daun-daunan, dan lain-lain, secara umum dimanfaatkan masyarakat untuk dijadikan pupuk dasar karena dianggap tidak berbahaya. Akan tetapi, jika tidak diproses dengan benar dapat membahayakan lingkungan. Terdapat dua jenis proses penguraian unsur organik, yaitu aerobik dan anaerobik, di mana keberadaan oksigen dalam proses penguraiannya yang menjadi pembeda. Penguraian anaerobik memiliki mikroorganisme pengurai, yaitu Metanogen. Mikroorganisme ini akan memproses penguraian yang lebih lambat dan menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>). Gas metana ini dapat menyerap panas lebih besar daripada karbon dioksida

(CO<sub>2</sub>) dan merupakan salah satu bagian dari gas rumah kaca yang berbahaya. Gas metana mempunyai sifat yang mudah terbakar dan jika bereaksi dengan udara dengan konsentrasi tertentu akan menyebabkan gangguan pernapasan maupun menimbulkan ledakan. Dalam proses pengolahan sampah organik dibutuhkan pengawasan khusus. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk membantu permasalahan yang disebabkan oleh timbulnya gas metana pada proses pengolahan sampah organik dengan perancangan prototipe alat *Monitoring* Kadar Gas Metana Pada Pengolahan Sampah Organik Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan *Microcontroller* ESP32. Alat ini bekerja dengan mendeteksi konsentrasi gas metana, suhu, dan kelembaban secara otomatis, di mana data akan diproses oleh *microcontroller* ESP32. Proses pemantauan dapat dilakukan melalui jaringan internet sesuai dengan prinsip IoT melalui *media website*.

## II. DASAR TEORI

### A. Sampah

Sampah merupakan ampas bahan yang telah diambil bagian utamanya karena sudah melewati proses pengolahan atau sudah tidak bermanfaat. Menurut sifatnya, sampah dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu sampah B3, sampah organik, dan sampah anorganik [2].

Untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat dari sampah perlu ada penanganan sampah yang melibatkan peran serta masyarakat. Pengomposan merupakan salah satu teknik pengelolaan untuk sampah organik yang dimaksudkan untuk mengurangi dan mengubah komposisi sampah menjadi produk yang berguna.

### B. Gas Metana (CH<sub>4</sub>)

Gas metana merupakan senyawa paling sederhana dari hidrokarbon. Gas metana tidak berwarna, tidak berbau, dan mudah terbakar di udara pada konsentrasi gas antara 5 s.d. 15% [3]. Gas metana dapat menimbulkan pemanasan global dan merupakan salah satu gas rumah kaca yang lebih besar dibandingkan dengan CO<sub>2</sub>. Hal ini dikarenakan sifat gas metana tidak dapat diserap oleh klorofil tumbuh-tumbuhan sehingga keadaannya di atmosfer lebih stabil dibandingkan dengan CO<sub>2</sub> yang dapat terserap oleh tanaman melalui proses fotosintesis. Emisi gas metana bersumber dari alam seperti lahan basah dan proses fermentasi oleh bakteri, atau karena ada pengaruh aktivitas manusia atau antropogenik dari peternakan, sektor pertanian, limbah domestik rumah tangga, dan tempat pemrosesan sampah.

### C. Internet of Things (IoT)

*Internet of things* merupakan suatu konsep menghubungkan sebuah perangkat fisik dengan pengguna tanpa berinteraksi secara langsung tapi melalui jaringan internet. IoT memungkinkan terjadinya pengiriman data, komunikasi, ataupun pengendalian jarak jauh secara *real-time* melalui sebuah perangkat yang tersambung ke jaringan internet.

*Website* digunakan sebagai media untuk *monitoring* pengolahan sampah organik. Dalam melayani permintaan akses dari *website* dapat menggunakan *web server*. *Web server* ialah penyedia layanan data yang berperan sebagai penerima akses dari HTTPS (*hypertext transfer protocol secure*) atau HTTP (*hypertext transfer protocol*) yang dikirimkan oleh *user* melalui web browser dan sebagai pengirim data dalam bentuk tampilan *website* dan secara normal akan berbentuk dokumen HTML (*hypertext markup language*).

### D. ESP32

ESP32 merupakan salah satu *microcontroller* yang dikenalkan oleh Espressif System. ESP32 ini memiliki fitur hemat daya termasuk *fine resolution clock gating*, *dynamic power scalling*, dan *multiple power modes*, sehingga konsumsi daya yang dibutuhkan rendah. Pada ESP32 sudah tertanam mikroprosesor Xdual-core 32 bit dilengkapi dengan modul Wi-Fi dalam *chip* sehingga dapat mendukung sistem aplikasi IoT serta dilengkapi dengan kemampuan Bluetooth *low energy* [4].

### E. Sensor MQ-4

Sensor MQ-4 merupakan semikonduktor yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas yang mudah terbakar seperti gas metana (CH<sub>4</sub>). Sensor MQ-4 memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap gas metana pada area deteksi yang luas dengan konsentrasi 200 s.d. 10.000 ppm (*part per million*).

Dalam menggunakan sensor ini, disarankan untuk melakukan *preheat time* atau pemanasan sensor dengan cara memberikan suplai tegangan kepada sensor selama  $\pm 24$  jam. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kesalahan pembacaan sensor. Spesifikasi sensor gas MQ-4 ditunjukkan pada Tabel 1 [5].

Tabel 1. Spesifikasi Sensor Gas MQ-4 [5]

Parameter	Spesifikasi
<i>Circuit voltage</i> (VC)	5 V $\pm$ 0,1 (AC or DC)
<i>Heating voltage</i> (VH)	5 V $\pm$ 0,1 (AC or DC)
<i>Load resistance</i> (RL)	20 K $\Omega$
<i>Standard detecting condition</i>	Temp: 20°C $\pm$ 2°C Vc: 5 V $\pm$ 0,1 Humidity: 65% $\pm$ 5% Vh: 5 V $\pm$ 0,1
<i>Preheat time</i>	Over 24 hour

### F. Sensor DHT-22

Sensor DHT-22 merupakan sensor yang ditujukan untuk mendeteksi suhu dan kelembaban. Sensor ini memiliki *output* berbentuk sinyal digital melalui konversi dan perhitungan yang dilakukan oleh *microcontroller*. Untuk pengondisian tegangan yang masuk ke dalam sensor agar nilai yang terukur dapat terbaca, memerlukan bantuan dari resistor. Modul sensor DHT-22 mempunyai empat buah *pinout*, yaitu *pin VCC*, *pin Data*, *pin NC* (tidak digunakan), dan *pin GND* [6].

## III. PERANCANGAN ALAT

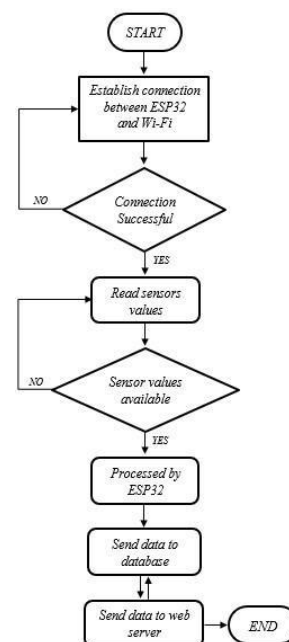
### A. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

*Flowchart* kerja sistem perangkat lunak secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.

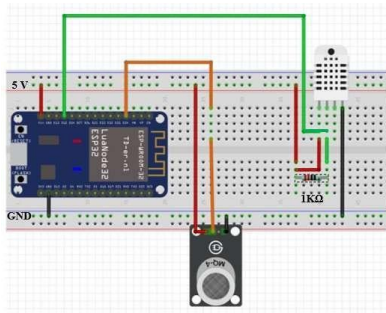
### B. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

1) *Rancangan Elektronis*: Berdasarkan Gambar 2, rancangan elektronis meliputi

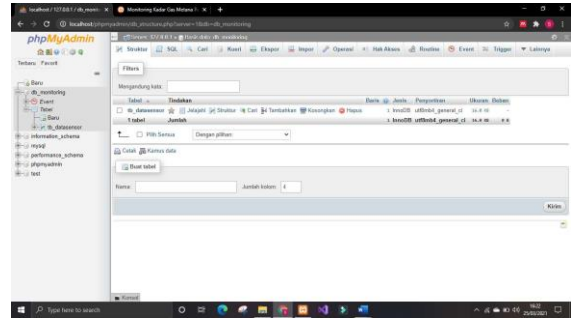
- Catu Daya menggunakan adaptor dengan tegangan *output* 5 VDC dan arus *output* sebesar 1 A
- *Microcontroller* ESP32 WROOM-32 DEVKITV1 untuk mengakses sensor gas MQ-4 serta sensor suhu dan kelembaban DHT-22 menggunakan pin GPIO.



Gambar 1. *Flowchart* kerja sistem secara keseluruhan



Gambar 2. Rancangan elektronik



Gambar 5. Tampilan database

- Sensor MQ-4 dengan pembacaan data melalui pin AO yang dihubungkan dengan pin GPIO 34 ESP32
- Sensor DHT-22 dengan pembacaan serial data melalui pin Data Out yang dihubungkan dengan pin GPIO 12 dari ESP32.

2) *Rancangan Mekanik*: Rancangan mekanik didesain agar mempermudah pemantauan dan pengecekan alat ketika *troubleshooting*. Selain itu, rancangan mekanik juga meliputi pembuatan rangka yang berfungsi sebagai tempat atau penyangga komponen pendukung seperti pada Gambar 3.

C. *Penyusunan Media IoT*

Penyusunan konfigurasi *website* menggunakan perangkat lunak Visual Studio dengan menjalankan *script* PHP dengan bantuan *software* XAMPP yang didukung program Apache dan MySQL. Program Apache merupakan aplikasi *web server* yang digunakan untuk membangun *website* kepada *user* digunakan untuk membangun *website* kepada *user* merupakan aplikasi *database server* yang digunakan mengelola *database*.



Gambar 3. Rancangan mekanik

Jenis	Suhu(°C)	Suhu(°F)	Kelembaban(%)	Kadar Gas Metana(ppm)	Status	Voltage
2021-02-20 00:19:00.0000	26.6	81.88	78.9	319.99	Monitor as frequently	5.41
2021-02-20 00:19:00.0000	26.6	81.88	71.4	348.89	Monitor as frequently	5.54
2021-02-20 00:20:00.0000	26.5	81.3	78.8	338.8	Monitor as frequently	5.48
2021-02-20 00:20:00.0000	26.5	81.3	78.8	348.13	Monitor as frequently	5.43
2021-02-20 00:21:00.0000	26.6	81.88	71.4	231.83	Monitor as frequently	5.49

Gambar 4. Tampilan website

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian alat dilakukan selama proses fermentasi sampah organik yang akan dimanfaatkan sebagai pupuk dasar. Proses pengolahan sampah organik terbagi menjadi dua teknik fermentasi yaitu teknik dekomposisi aerobik tanpa bantuan aktivator ataupun cairan molase dan teknik dekomposisi anaerobik dengan bantuan aktivator EM4 dan cairan molase. EM4 merupakan akronim dari *Effective Microorganisms 4* yang dikhususkan untuk tanaman dan mengandungi bakteri fermentasi dari genus *Lactobacillus sp.* dan *Saccharomyces sp.* yang mampu memfermentasi bahan organik dengan cepat. Sedangkan cairan molase atau *molasses* atau tetes tebu merupakan campuran gula dan air yang dimanfaatkan sebagai tambahan nutrisi pupuk. Sampah organik yang sudah dicacah terlebih dahulu dicampurkan dengan bantuan aktivator dan cairan molase dengan perbandingan 1:1:50 (EM4:molase:air) dan dibuat campuran dengan konsentrasi air 30 s.d. 40%. Proses fermentasi sampah organik untuk dijadikan pupuk dasar membutuhkan waktu selama 27 s.d. 28 hari atau sekitar empat minggu.

Pengujian alat selama proses fermentasi dan pengolahan sampah organik dikelompokkan menjadi 5 sampel dengan bahan dasar dan teknik fermentasi yang berbeda serta dengan ada atau tidak adanya penambahan bahan aktivator dan molase. Secara spesifik sampel pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

A. *Pengujian Adaptor*

Pengujian adaptor dilakukan dengan variasi beban sampel ditambah dengan udara bersih dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 2. Sampel pengujian

Nama	Bahan Dasar	Teknik	Bantuan Aktivator dan Molase
Sampel 1	Kulit buah naga dan buah pepaya	Anaerobik	Ada
Sampel 2	Kulit edamame	Anaerobik	Ada
Sampel 3	Kulit pisang	Anaerobik	Ada
Sampel 4	Kulit pisang	Aerobik	Tidak ada
Sampel 5	Kulit edamame	Aerobik	Tidak ada



Tabel 3. Pengujian *power supply*

Pengujian	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Udara Bersih	4,92	0,184	0,905
Sampel 1	5,07	0,182	0,923
Sampel 2	4,88	0,183	0,893
Sampel 3	5,07	0,182	0,923
Sampel 4	5,03	0,181	0,910
Sampel 5	4,99	0,183	0,913
Udara Bersih	4,92	0,184	0,905

Prototipe alat ini menggunakan *power supply* 5 V menyesuaikan dengan tegangan kerja dari sensor yang digunakan. Dalam pengujian ini didapatkan hasil pengukuran yang baik, di mana nilai tegangan memiliki besaran yang bervariasi sesuai dengan beban yang terpasang. Dengan tegangan yang terukur berkisar antara 4,88 s.d. 5,07 V tersebut, dapat digunakan untuk menyuplai sensor gas MQ-4 dan sensor DHT-22.

**B. Pengujian Sampel Pupuk Dasar**

Berdasarkan pengujian kelima sampel setelah proses fermentasi selama 27 s.d. 28 hari, didapatkan hasil akhir bahwa semua sampel dapat digunakan untuk pupuk dasar di mana suhu udara pada tong sampah berkisar antara 29,61 s.d. 31,34°C dengan konsentrasi gas metana tidak melebihi batas aman untuk kesehatan yaitu  $\leq 1000$  ppm dan masih dalam batas aman untuk tidak mudah terbakar yaitu  $\leq 600$  ppm. Hasil pengukuran yang didapatkan seperti pada Tabel 4.

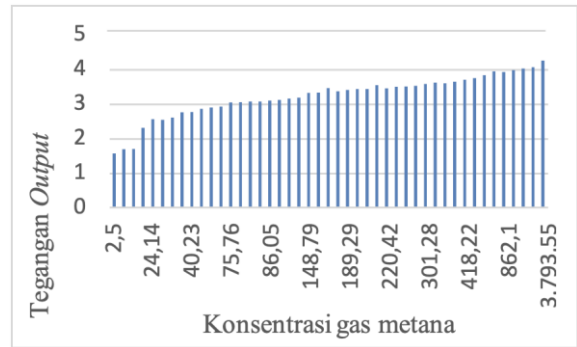
Dari pengujian seluruh sampel selama proses fermentasi sampah organik didapatkan hasil seperti pada Gambar 6. Dapat diketahui bahwa perbandingan antara tegangan *output* berbanding lurus dengan konsentrasi gas metana yang terdeteksi. Di mana nilai tegangan *output* minimum yang terdeteksi adalah 1,57 V dengan konsentrasi gas 2,5 ppm. Sedangkan nilai tegangan *output* maksimum yang terdeteksi adalah 4,26 V dengan konsentrasi gas 3793,55 ppm.

**C. Pengujian Komunikasi Data**

1) *Komunikasi database dengan website*: Komunikasi data antara *database* dengan *website* untuk semua sampel berjalan secara *real-time* dengan waktu penampilan data tidak lebih dari satu detik. Data yang ditampilkan antara *database* dan *website* memiliki nilai yang sesuai.

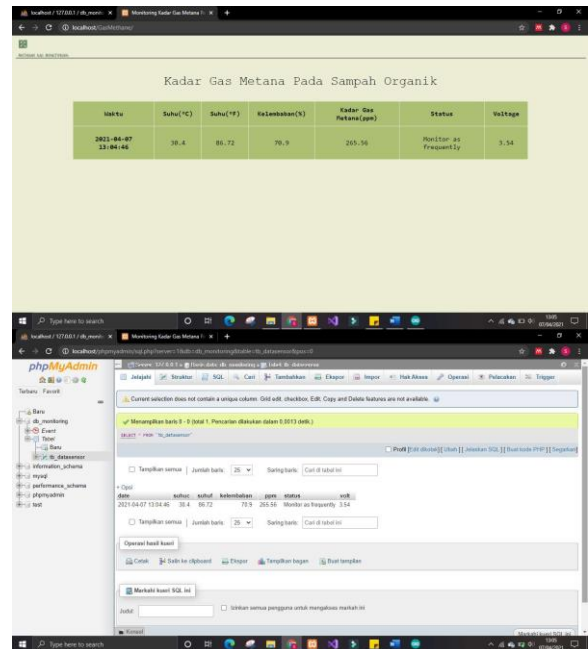
Tabel 4. Pengujian sampel pupuk dasar

Sampel	Suhu (°C)	Kelembapan	V <sub>out</sub> Terbaca	ppm
Sampel 1	29,56	75,3	3,45	220,42
Sampel 2	31,86	78,96	3,12	91,27
Sampel 3	30,48	77,94	1,70	3,36
Sampel 4	30,6	78,82	3,05	77,37
Sampel 5	31,3	69,12	3,07	81,15

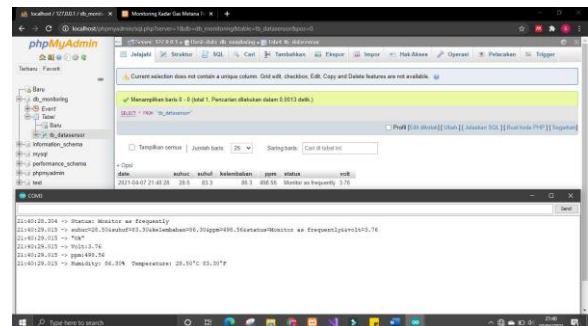


Gambar 6. Perbandingan tegangan *output* dengan konsentrasi gas metana

2) *Komunikasi database dengan microcontroller*: Komunikasi antara *database* dan *microcontroller* untuk semua sampel dapat berjalan dengan baik di mana *microcontroller* mengirimkan data pembacaan dari sensor MQ-4 dan DHT-22 ke *database*. Diketahui bahwa *database* dapat menyimpan data pembacaan dengan baik.



Gambar 7. Pengujian komunikasi *database* dengan *website* pada sampel 1



Gambar 8. Pengujian komunikasi *database* dengan *microcontroller* pada sampel 2

## V. SIMPULAN

Setelah melakukan perancangan, penyusunan, pengujian, dan pembahasan, dari penelitian ini dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Prototipe alat *Monitoring* Kadar Gas Metana Pada Pengolahan Sampah Organik Berbasis IoT Menggunakan *Microcontroller* ESP32 berhasil diaplikasikan secara langsung pada proses pengolahan sampah organik untuk dijadikan pupuk dasar dan proses *monitoring* pengolahan sampah berhasil dilakukan melalui jaringan internet dengan media *website*.
2. Prototipe alat memiliki proteksi keamanan melalui indikator yang ditampilkan pada *website* yaitu:
  - a. *Normal condition* jika konsentrasi gas metana  $\leq 50$  ppm
  - b. *Monitoring as frequently* jika  $50 \text{ ppm} < \text{konsentrasi gas metana} \leq 600 \text{ ppm}$
  - c. *Alert* jika konsentrasi gas metana  $> 600 \text{ ppm}$
3. Tegangan yang terukur pada *power supply* dengan variasi beban dapat digunakan untuk menyuplai sensor gas MQ-4 dan sensor DHT-22 berkisar antara 4,88 s.d. 5,07 V.
4. Konsentrasi gas metana yang dihasilkan setelah proses fermentasi masih dalam batas aman agar tidak mudah terbakar dengan nilai rata-rata  $\leq 600 \text{ ppm}$ .
5. Konsentrasi gas metana yang dihasilkan selama proses fermentasi masih dalam batas aman untuk kesehatan dengan nilai rata-rata  $\leq 1000 \text{ ppm}$  sesuai New Jersey Department of Health [7] dan Guidance Document on Management of Methane gas Adjacent to Landfills [8].
6. Komunikasi data keseluruhan berjalan secara *real-time* dengan waktu penampilan data  $\leq 1$  detik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Alshehri and G. Muhammad, "A Comprehensive Survey of the Internet of Things (IoT) and AI-Based Smart Healthcare," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 3660–3678, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3047960.
- [2] A. Triantafyllou, D. C. Tsouros, P. Sarigiannidis, and S. Bibi, "An Architecture model for Smart Farming," in *2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, May 2019, pp. 385–392. doi: 10.1109/DCOSS.2019.00081.
- [3] Z. N. Mohammad, F. Farha, A. O. M. Abuassba, S. Yang, and F. Zhou, "Access Control and Authorization in Smart Homes: A Survey," in *Tsinghua Science and Technology*, Dec. 2021, vol. 26, no. 6, pp. 906–917. doi: 10.26599/TST.2021.9010001.
- [4] V. Seoane, C. Garcia-Rubio, F. Almenares, and C. Campo, "Performance evaluation of CoAP and MQTT with security support for IoT environments," *Computer Networks*, vol. 197, p. 108338, 2021, doi: 10.1016/j.comnet.2021.108338.
- [5] L. Dürkop, B. Czybik, and J. Jasperneite, "Performance evaluation of M2M protocols over cellular networks in a lab environment," in *2015 18th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks*, Feb. 2015, pp. 70–75. doi: 10.1109/ICIN.2015.7073809.
- [6] B. M. Susanto, E. S. J. Atmadji, and W. L. Brenkman, "Implementasi Mqtt Protocol Pada Smart Home Security Berbasis Web," *Jurnal Informatika Polinema*, vol. 4, no. 3, pp. 201–205, May 2018, doi: 10.33795/jip.v4i3.207.
- [7] A. Zainudin, I. Anisah, and M. M. Gulo, "Implementasi Fog Computing Pada Aplikasi Smart Home Berbasis Internet of Things," *CESS (Journal of Computer Engineering System and Science)*, vol. 6, no. 1, pp. 127–132, 2021, doi: 10.24114/cess.v6i1.20658.
- [8] F. Alfiah, B. Rahman, and Imelda, "Control system prototype smart home IoT based with MQTT method using Google Asisstant," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, vol. 4, no. 2, pp. 303–310, 2020, doi: 10.29207/resti.v4i2.1721.
- [9] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review," *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 164–173, 2015, doi: 10.4236/jcc.2015.35021.
- [10] E. Navarro, N. Costa, and A. Pereira, "A Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming," *Sensors*, vol. 20, no. 15, p. 4231, Jul. 2020, doi: 10.3390/s20154231.
- [11] I. Harjanto, "IoT Gateway Menggunakan Protokol MQTT pada Perangkat Kendali Berbasis Modbus-RTU," *Jurnal Ilmiah Teknosains*, vol. 6, no. 1, pp. 12–19, 2020, doi: 10.26877/jitek.v6i1.5957.
- [12] A. Velinov, A. Mileva, S. Wendzel, and W. Mazurczyk, "Covert Channels in the MQTT-Based Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 161899–161915, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2951425.
- [13] E. Longo, A. E. C. Redondi, M. Cesana, A. Arcia-Moret, and P. Manzoni, "MQTT-ST: a Spanning Tree Protocol for Distributed MQTT Brokers," in *ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Jun. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICC40277.2020.9149046.
- [14] P. Hosseinioun, M. Kheirabadi, S. R. Kamel Tabbakh, and R. Ghaemi, "A new energy-aware tasks scheduling approach in fog computing using hybrid meta-heuristic algorithm," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 143, pp. 88–96, 2020, doi: 10.1016/j.jpdc.2020.04.008.
- [15] P. Habibi, M. Farhoudi, S. Kazemian, S. Khorsandi, and A. Leon-Garcia, "Fog Computing: A Comprehensive Architectural Survey," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 69105–69133, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983253.
- [16] J. E. Luzuriaga, J. C. Cano, C. Calafate, P. Manzoni, M. Perez, and P. Boronat, "Handling mobility in IoT applications using the MQTT protocol," in *2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, Sep. 2015, pp. 245–250. doi: 10.1109/ITeChA.2015.7317403.
- [17] S. Biju and N. M. Shekhar, "Security approach on MQTT based smart home," in *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, Sep. 2018, pp. 1106–1114. doi: 10.1109/ICPCSI.2017.8391883.
- [18] D. Nuridhuha, M. Hannats, H. Ichsan, and R. Maulana, "Sistem Monitoring Lingkungan Rumah Cerdas berbasis Fog Computing dan nRF24101," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 2, pp. 622–631, 2020.
- [19] R. Parlita, T. A. Nisaa, S. M. Ningrum, and B. A. Haque, "Studi Literatur Kekurangan dan Kelebihan Pengujian Black Box," *Teknomatika*, vol. 10, no. 2, pp. 131–140, Oct. 2020.

# Pendeteksi *Flashover* dan Aplikasi Android pada TPSS LRT Jabodebek Berbasis *Computer Vision* dan Android Studio

Nerissa Diana Resty<sup>1</sup>, Galuh Triyanto<sup>1</sup>, Isnan Nur Rifai<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; nerissadr99@gmail.com, galuhtriyanto9@gmail.com

\*Korespondensi: isnan.nur@ugm.ac.id

**Abstract** – The traffic jam in Jakarta and the cities around it, namely Bogor, Depok, and Bekasi, became the government's background in developing the Jabodebek light rail transit (LRT) project. In Jabodebek LRT construction, there is a TPSS which is short for Traction Power Substation, often known as a Traction substation. The Traction Substation is an electric power source for electric railroad trains, including the Jabodebek LRT. Inside the Traction station, there is a 20 kV Cubicle which is a power cable compartment. Some disturbances often occur in this 20 kV cubicle, one of which is the flashover. If the flashover remains, this is disturbing and detrimental to many people, including Jabodebek LRT passengers. Flashover can be caused by air humidity so that water vapor is attached to the power cable isolator. So this research was conducted as a preventative measure for the damage to cubicles due to flashover. Besides creating a system to detect flashovers, an Android application is also made to display the results of flashover detection. Raspberry Pi as the main controller of the flashover detection system, using the Hough Circle Transformation and Python programming language, as for the application using the Java programming language based on Android Studio. The data analysis method used is the Confusion Matrix. Based on the experimental results, the system works well to detect the flashover, with an average accuracy of the system reaching 80.18%. The distance, lighting factors, and barrier media affect the detection results.

**Keywords** – Jabodebek LRT, flashover, Hough Circle, android application

**Intisari** – Kemacetan yang terjadi di Jakarta beserta kota-kota di sekitarnya yakni Bogor, Depok, dan Bekasi menjadi latar belakang pemerintah dalam membangun proyek *light rail transit* (LRT) Jabodebek. Pada pembangunan LRT Jabodebek ini terdapat TPSS atau yang sering dikenal dengan istilah Gardu Traksi. Gardu Traksi merupakan sumber daya listrik untuk mengoperasikan kereta rel listrik termasuk LRT Jabodebek. Di dalam Gardu Traksi terdapat *cubicle* 20 kV yang di dalamnya terdapat kompartemen kabel daya. Beberapa gangguan sering terjadi pada *cubicle* 20 kV ini, salah satunya gangguan berupa *flashover*. Hal ini cukup mengganggu dan merugikan banyak orang termasuk penumpang LRT Jabodebek apabila adanya *flashover* ini terus dibiarkan. *Flashover* dapat disebabkan adanya kelembaban udara sehingga uap air melekat pada isolator kabel daya. Sehingga penelitian ini dilakukan sebagai langkah pencegahan terjadinya kerusakan *cubicle* akibat dari *flashover*. Selain membuat sistem untuk mendeteksi *flashover* dibuat juga aplikasi android untuk menampilkan hasil deteksi *flashover*. Raspberry Pi sebagai pengendali utama sistem pendeteksi *flashover*, dengan menggunakan Transformasi Hough Circle dan pemrograman bahasa Python, adapun untuk aplikasinya menggunakan bahasa pemrograman Java dengan basis Android Studio. Metode analisa data yang digunakan adalah *confusion matrix*. Hasil dari penelitian ini adalah sistem atau alat pendeteksi *flashover* dapat bekerja dengan baik dan sesuai fungsi, diperoleh rata-rata akurasi sistem yang mencapai 80,18%. Di mana jarak, faktor pencahayaan, serta medium penghalang berpengaruh terhadap hasil deteksi. Selain itu telah dibuat aplikasi guna menampilkan hasil deteksi *flashover*, aplikasi ini dapat bekerja dengan baik pula.

**Kata kunci** – LRT Jabodebek, *flashover*, Hough Circle, aplikasi android

## I. PENDAHULUAN

Kemacetan merupakan salah satu permasalahan yang terjadi di kota-kota besar, seperti Jakarta, Bogor, Depok, dan Bekasi. Faktor yang menyebabkan terjadinya kemacetan di antaranya adalah perbandingan jumlah kendaraan dengan ruas jalan tidak seimbang, kecelakaan serta pelanggaran lalu lintas yang kerap terjadi [1], parkir liar, dan penggunaan transportasi umum yang kurang maksimal. Pemerintah membangun *light rail transit* (LRT) Jabodebek untuk wilayah Jakarta Bogor Depok dan Bekasi untuk mengurangi kepadatan serta mengurai kemacetan jalan pada Tol Jakarta-Cikampek, serta Jalan Tol Jagorawi.

Pada LRT, terdapat *medium voltage switchgear* yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan sisi sumber tenaga listrik dengan sisi beban maupun dengan peralatan listrik lain. Perangkat ini diletakkan pada *cubicle* 20kV yang terdapat di tiap-tiap TPSS (*traction power substation*) atau Gardu Traksi. Sedangkan pada suatu jaringan transmisi sering terjadi hal-hal yang dapat

mengganggu kinerja dari *medium voltage switchgear* atau suatu kondisi abnormal yang terjadi pada *switchgear* sebagai akibat dari gangguan seperti ketidakseimbangan beban [2].

Berbagai penelitian telah dilakukan terkait gangguan pada *switchgear* dan *power supply* seperti *voltage monitoring* dengan ThingSpeak [3], penjadwalan berdasarkan respons beban [4]. Gangguan beruntun yang sering terjadi pada *medium voltage switchgear* adalah adanya tegangan lebih akibat pemutusan trafo tak berbeban yang dapat mengakibatkan *flashover* di suatu tempat yang akhirnya berakibat hubungan singkat (*short circuit current*). Peristiwa *flashover* juga bisa disebabkan karena kelembaban udara pada *cubicle* 20 kV, sehingga menimbulkan uap air yang dapat melekat pada isolator kabel daya. Pendeteksi *flashover* telah dikembangkan menggunakan *computer vision* Raspberry Pi [5][6], tetapi belum diaplikasikan. Adanya *flashover* dapat menyebabkan kerusakan pada kabel daya serta kerusakan peralatan listrik lainnya termasuk *switchgear*. Perangkat *switchgear* dapat memutuskan aliran

listrik apabila terdapat gangguan, terputusnya aliran listrik pada TPSS berdampak buruk pada keberlangsungan perjalanan LRT pada rel kereta api, serta berdampak pada keselamatan banyak orang.

Berdasarkan latar belakang di atas, guna mengurangi serta menghindari adanya kerusakan *cubicle* 20 kV pada TPSS maka dibuat Sistem Pendeteksi *Flashover* Pada TPSS Proyek *Light Rail Transit* (LRT) Jabodebek Berbasis Raspberry Pi dan Android Studio.

## II. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

### A. Perancangan Sistem

Tahap ini terbagi menjadi dua bagian, yakni perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras yakni dengan menghubungkan bahan-bahan yang digunakan sehingga bisa digunakan untuk menjalankan sistem pengontrolan, sedangkan perancangan perangkat lunak yakni dengan membuat program OpenCV dengan transformasi Hough Circle menggunakan *software* IDLE Python 3, serta membuat program pada *software* Android Studio untuk membangun sebuah aplikasi. Gambar 1 menunjukkan secara keseluruhan sistem. Diagram blok menjelaskan tentang sistem kerja secara umum dari sistem pendeteksi *flashover*, dengan menggunakan transformasi Hough Circle maka apabila ada suatu cahaya atau kilatan yang terjadi di sekitar kabel daya akan dikenali sebagai citra yang dapat ditangkap oleh Pi Camera yang kemudian digunakan untuk pengolahan citra (*image processing*) untuk memanipulasi gambar tersebut agar setiap terdapat perubahan cahaya atau api yang terdapat di sekitar kabel daya bisa dianalogikan sedang terjadi *flashover*. Setiap terdeteksi adanya cahaya maka akan ditampilkan koordinat lingkaran dan label “flashover” pada LCD TFT. Koordinat lingkaran tersebut digunakan untuk mengetahui posisi terjadinya cahaya (*flashover*) tersebut. Setelah itu hasil tangkapan layar dikirim ke Google Drive kemudian dapat

diakses melalui aplikasi “Flashoid” yang telah dibuat di Android Studio.

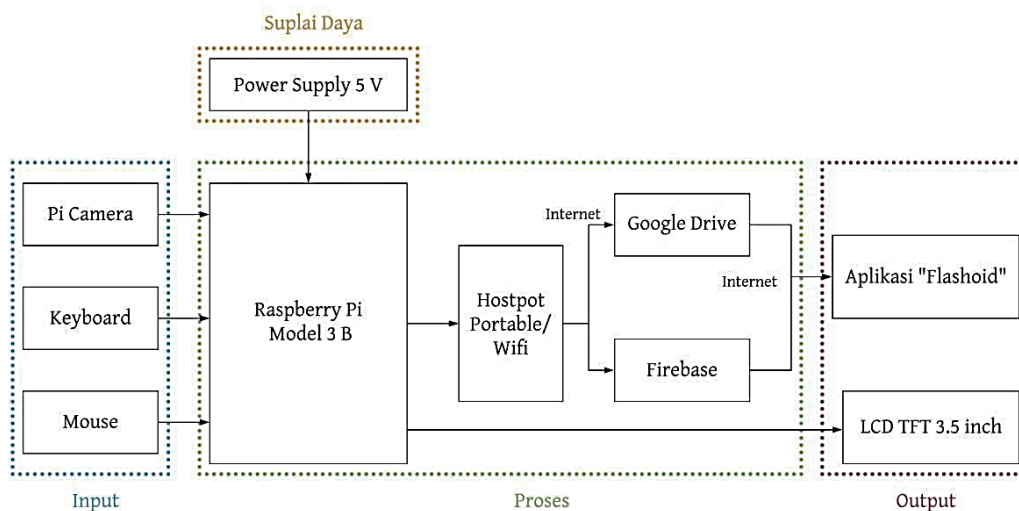
### B. Perancangan Program Open CV

Gambar 2 menunjukkan rancangan sistem yang terdiri dari diagram alir program, perancangan perangkat keras, dan desain kemasan alat. Diagram alir program menggambarkan tentang proses program OpenCV dari inialisasi hingga dapat mendeteksi *flashover* dengan Transformasi Hough Circle. Yang pertama adalah *import library* yang dibutuhkan salah satunya adalah *library* OpenCV. Kemudian melakukan inialisasi Pi Camera, yang berfungsi untuk menampilkan citra selanjutnya melakukan konversi dari mode RGB (*red green blue*) ke mode *grayscale* atau hitam putih. Tujuannya adalah untuk memudahkan dalam membaca tingkat kecerahan pada citra.

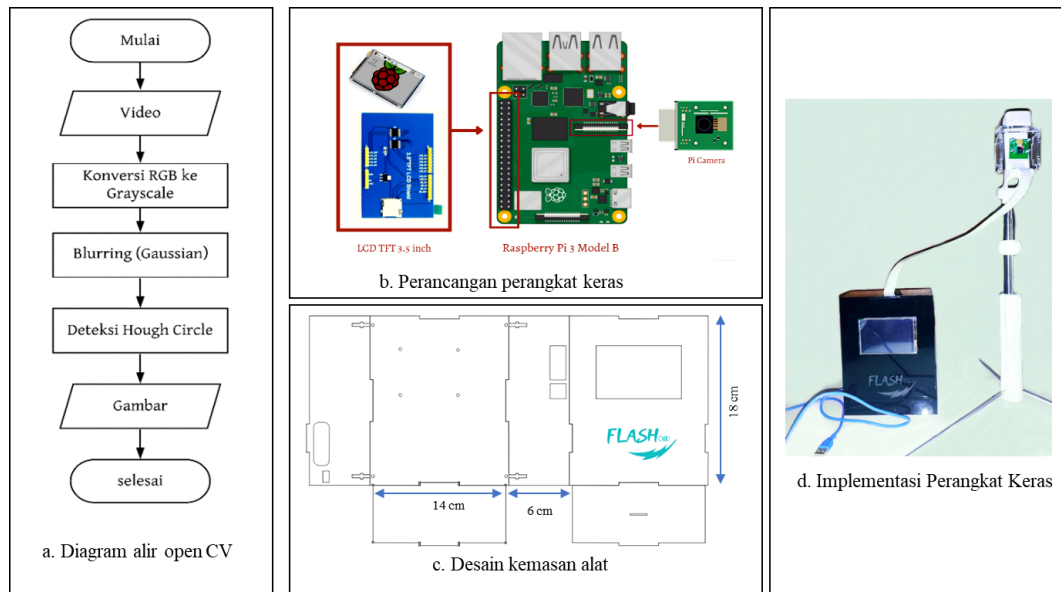
Karena pada deteksi *flashover* ini mengasumsikan *flashover* sebagai sekumpulan cahaya, sedangkan pada mode *grayscale* atau hitam putih OpenCV akan lebih mudah mendeteksi karena hanya terdapat dua warna yakni hitam dan putih. Adapun warna putih merupakan warna dominan pada suatu cahaya. Pada hal ini warna putih yang dominan tersebut diasumsikan sebagai loncatan api atau listrik yang disebut *flashover*. Kemudian adanya *blurring* yakni Gaussian dimaksudkan untuk menghilangkan *noise* pada citra. Proses selanjutnya yakni mendeteksi adanya *flashover* dengan objek melingkar. Karena *flashover* mempunyai warna putih dengan tingkat kecerahan paling tinggi dibanding area di sekitarnya. Kemudian apabila *flashover* sudah terdeteksi maka akan menampilkan koordinat lingkaran serta label bertuliskan “flashover”.

### C. Perancangan Perangkat Keras

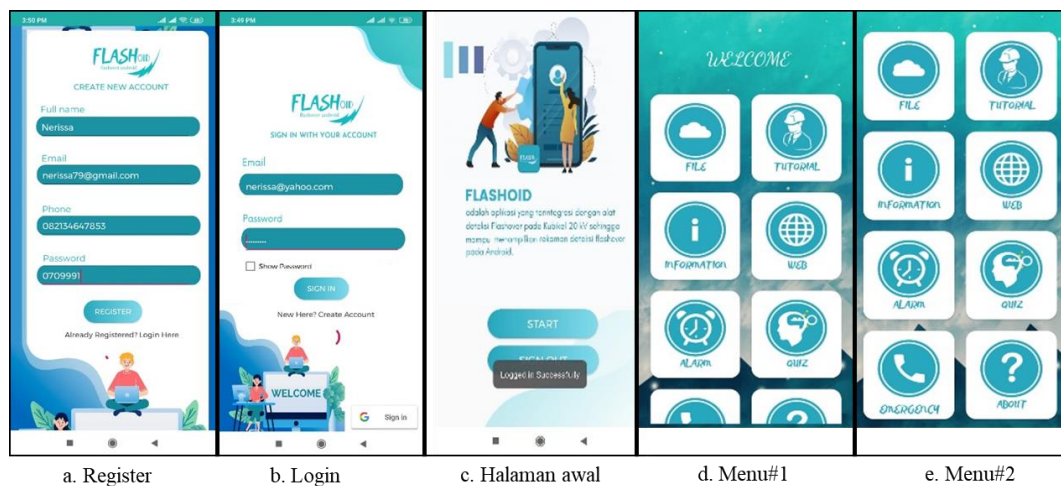
Gambar 2(b) menunjukkan perancangan perangkat keras yang terdiri dari perancangan mekanis dan pemasangan LCD 3,5 inci dengan pin GPIO ke *shield* Raspberry Pi, serta pemasangan Pi Camera. Sehingga pada akhirnya, baik



Gambar 1. Blok diagram sistem



Gambar 2. Rancangan Sistem



Gambar 3. Desain aplikasi

elektronis maupun mekanis akan menjadi satu kesatuan alat pendeteksi *flashover* pada TPSS LRT Jabodebek. Gambar 2(c) menunjukkan perancangan desain kemasan alat guna melindungi rangkaian elektronis seperti Raspberry Pi dan Pi Camera. Setelah dilakukan perancangan perangkat keras yang berupa perancangan mekanis serta peletakan komponen pada Raspberry. Gambar 2(d) menunjukkan alat pendeteksi *flashover* yang siap digunakan.

Terdapat 2 boks yakni *box* besar berisi Raspberry dan boks kecil berisi Pi Camera. Perangkat boks besar yang berisi *microprocessor* berfungsi sebagai pendeteksi adanya *flashover*, boks ini tidak hanya berisi Raspberry Pi, tetapi juga LCD 3,5 inci. LCD ini berfungsi untuk menampilkan layar hasil deteksi serta tampilan dari *operating system*, atau bisa juga disebut *mini PC*. Dengan menyambungkan pada catu daya 5 V dengan mikro USB, *port* USB untuk menghubungkan dengan mouse dan *keyboard* terletak di sebelah kanan boks. Dengan begitu, boks besar digunakan

sebagai pembungkus atau pelindung mini PC. Kemudian boks kecil yang terletak pada penyangga tripod merupakan pelindung Pi Camera, yang berfungsi untuk mengambil gambar hasil deteksi *flashover* dan sebagai sensor cahaya.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian Aplikasi

Gambar 3 menunjukkan desain aplikasi yang terdiri dari halaman *register*, *login*, halaman awal, menu#1, dan menu#2. Halaman *register* berfungsi untuk membuat akun baru bagi pengguna. Ketika calon pengguna sudah pernah membuat akun pada halaman *register* ini, pengguna tinggal memasukkan ulang *email* dan *password* di halaman *login*. Kata “Login Here” apabila ditekan maka akan membawa pengguna ke halaman *login*. Halaman *login* dapat dilakukan dengan catatan bahwa pengguna sudah pernah membuat akun sebelumnya, ataupun memiliki akun Google, diilustrasikan pada Gambar 3(b).

Indikasi metode *login* berhasil pada aplikasi “Flashoid” ditunjukkan ketika pengguna tiba di halaman awal atau di halaman “Main Activity”. Apabila *login* atau registrasi gagal hal ini disebabkan oleh *password* maupun email yang dimasukkan salah, selain itu tidak adanya akses internet juga menjadi salah satu faktor pengguna gagal *login*. Ketika sudah selesai membuat akun, maka pengguna akan otomatis masuk ke aplikasi, *password* yang dibuat harus lebih dari 6 karakter. Apabila sudah memiliki alamat email (terhubung dengan Google) yang sama maka tidak bisa digunakan untuk mendaftar akun. Alamat email yang masuk ke *firebase* akan disimpan sebagai alamat Google (dengan autentikasi Google) dan bukan dengan metode autentikasi dengan email dan *password*. Sehingga alamat email yang digunakan harus berbeda dan belum terdaftar pada alamat *email* Google.

Gambar 4 menunjukkan halaman “File” dan hasil deteksi dari penggunaan aplikasi. Halaman “File” merupakan halaman di mana pengguna dapat mengetahui rekaman hasil deteksi *flashover*. Pada halaman ini ketika pengguna menekan tombol “Lihat Daftar Rekaman” akan dibawa ke penyimpanan pada Google Drive. Gambar-gambar tersebut masih berasal dari proses manual dan bukan proses otomatisasi dari sistem pendeteksi *flashover*. Proses ini dilakukan secara manual dengan menyimpan gambar hasil deteksi *flashover* ke memori penyimpanan Raspberry Pi, kemudian mengunggah gambar tersebut ke Google Drive.

**B. Pengujian Sistem**

Sebelum melakukan pengujian sistem, terlebih dahulu dilakukan pengujian *kernel* pada *filter*. Pada sistem ini digunakan filter Gaussian dan diperoleh ukuran *kernel* 5x5 dengan standar deviasi nol, karena pada ukuran ini respons sistem lebih baik dibandingkan dengan ukuran *kernel* lain. Sehingga hasil deteksi sistem menjadi lebih akurat dan presisi. Ukuran inilah yang nantinya akan menjadi parameter dalam pengujian berikutnya. Berikut merupakan hasil pengujian dengan ukuran *kernel* 5x5. Pengujian dilakukan menjadi 3 bagian yakni pengujian berdasarkan jarak, pengujian berdasarkan gelap/ terang ruangan, dan pengujian berdasarkan ada tidaknya medium penghalang. Di mana jarak pada masing-masing pengujian ada tiga yakni 100 cm, 230 cm dan 540 cm, serta dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali pada masing-masing pengujian.

1) *Pengujian berdasarkan jarak*: Pengujian hasil deteksi *flashover* berdasarkan jarak adalah untuk mengetahui pada jarak maksimal berapa sistem mampu mendeteksi adanya *flashover* dan bagaimana respons sistem yang ditunjukkan. Pada pengujian ini terdapat tiga jarak yang berbeda yakni 100 cm, 230 cm, dan 540 cm. Adapun cahaya yang digunakan adalah cahaya *flash* HP/*flashlight* tanpa penghalang dan dalam keadaan gelap.

2) *Pengujian berdasarkan terang/gelap ruangan*: Pengujian kali ini untuk mengetahui hasil deteksi *flashover* berdasarkan gelap tidaknya ruangan. Dilakukan tiga pengujian dengan tiga variasi jarak yakni 100 cm, 240 cm

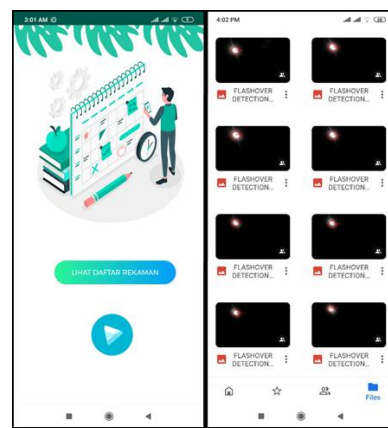
dan 530 cm. Fungsinya adalah untuk membandingkan dengan hasil pendeteksian *flashover* pada keadaan gelap dimulai dari jarak terdekat yakni 100 cm dalam keadaan terang (lampu ruangan dinyalakan), dan berikut adalah hasil data yang didapatkan.

3) *Pengujian berdasarkan medium penghalang*: Pengujian kali ini untuk mengetahui hasil deteksi *flashover* apabila terdapat medium penghalang di depannya. Adapun medium penghalang tersebut adalah kertas yang digulung menjadi kecil dan cahaya diletakkan di belakang kertas tersebut, serta selembar kertas biasa yang diletakkan di depan cahaya. Pengujian dengan medium penghalang ini dilakukan sebanyak enam kali meliputi tiga kali pengujian dengan kertas digulung kemudian 3 kali pengujian dengan selembar kertas biasa. Jarak yang digunakan dalam pengujian adalah 100 cm, 240 cm, dan 530 cm.

**C. Analisis Data**

Metode analisa data yang digunakan adalah *confusion matrix*. Dari data yang diperoleh akan dikelompokkan terlebih dahulu mana yang termasuk *true positive*, *false positive*, *true negative*, dan *false negative*. Pada Confusion Matrix, terdapat 4 (empat) istilah sebagai representasi hasil proses klasifikasi di antaranya adalah sebagai berikut:

- True Positives* : Jumlah *flashover* benar terdeteksi
- False Positives* : Jumlah *flashover* terdeteksi, namun sebenarnya tidak terdeteksi
- False Negatives* : Jumlah *flashover* tak terdeteksi, namun sebenarnya terdeteksi
- True Negatives* : Benar-benar tidak ada *flashover* (tidak ada objek).

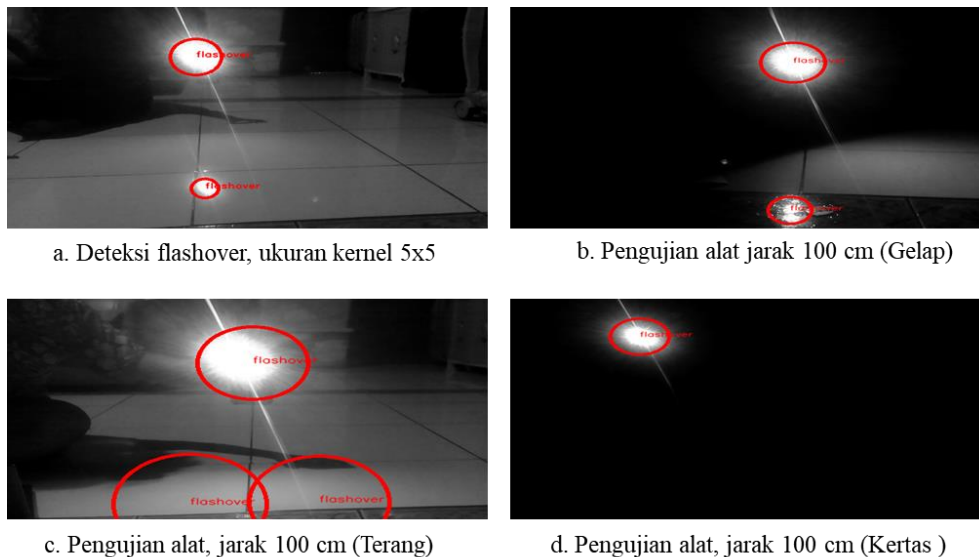


a. Halaman file      b. Hasil deteksi

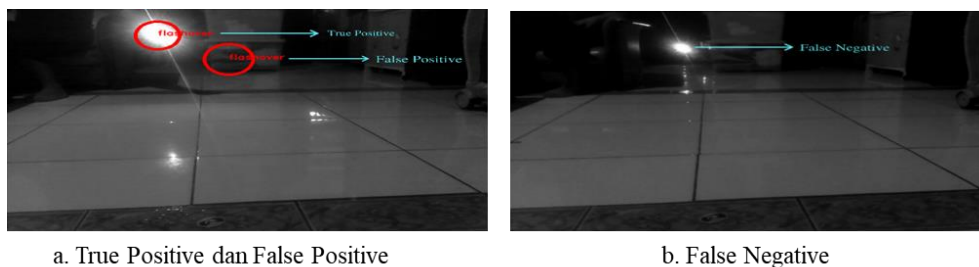
Gambar 4. Halaman *file* dan hasil deteksi

Tabel 1. *Confusion matrix* dengan jarak 100 cm (gelap)

		Nilai Sebenarnya	
		<i>True</i>	<i>False</i>
Nilai Prediksi	<i>True</i>	10	6
	<i>False</i>	0	0



Gambar 5. Pengujian sistem



Gambar 6. Klasifikasi pengujian

Gambar 6 menunjukkan klasifikasi pengujian sebagai acuan dalam menentukan objek. Berdasarkan klasifikasi tersebut, kemudian dilakukan analisa dari hasil pengambilan data yang telah dilakukan. Metode *confusion matrix* akan diaplikasikan pada setiap percobaan. contohnya, pada pengambilan data berdasarkan jarak (tiga kali percobaan jarak yang berbeda dan masing-masing percobaan dilakukan 10 kali pengulangan) dan selanjutnya tabel *confusion matrix* dibuat. Berikut merupakan tabel *confusion matrix* dari satu hasil data pada jarak 100 cm dan dalam keadaan gelap, sekaligus sebagai sampel perhitungan nilai akurasi dan presisi untuk seluruh kriteria pengujian.

Dari tabel di atas jumlah *flashover* benar yang terdeteksi ada 10 dan terdapat enam objek lain yang terdeteksi sebagai *flashover* (*false positive*) dari total lingkaran sebanyak 16 lingkaran. Dengan menggunakan nilai pada tabel *confusion matrix* tersebut dapat dibuat persamaan untuk mencari nilai akurasi dan presisi. Adapun nilai akurasi dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (1)$$

$$\text{Akurasi} = \frac{10 + 0}{10 + 6 + 0} = \frac{10}{16} \quad (2)$$

$$\text{Akurasi} = 0,625 \times 100\% = 62,5\% \quad (3)$$

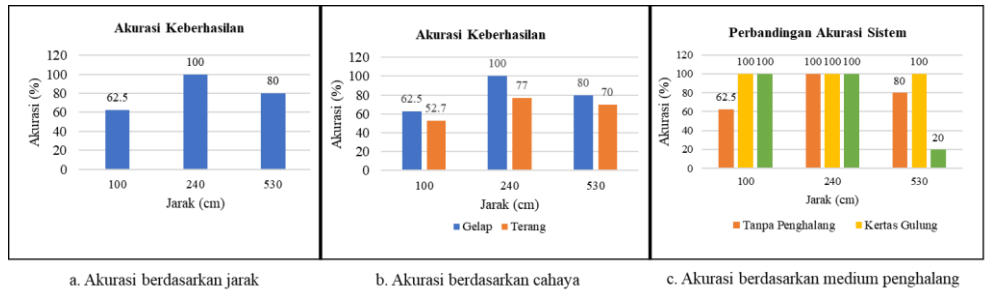
Sedangkan nilai presisi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

$$\text{Presisi} = \frac{10}{10 + 16} = \frac{10}{26} \quad (5)$$

$$\text{Presisi} = 0,385 \times 100\% = 38,5\% \quad (6)$$

Gambar 7 menunjukkan hasil akurasi pengujian sistem yang terdiri dari akurasi berdasarkan jarak, akurasi berdasarkan cahaya, dan akurasi berdasarkan medium penghalang. Berdasarkan Gambar 7(a) diperoleh analisa yakni jarak penempatan Pi Camera dengan objek yang dideteksi mempengaruhi hasil akurasi keberhasilan dalam mendeteksi adanya *flashover*. Hasil akurasi tertinggi pada jarak tengah 240 cm, dan paling rendah pada jarak terdekat yakni 100 cm hal ini dikarenakan cahaya yang digunakan terlalu besar (berupa *flashlight*) sehingga apabila Pi Camera diletakkan terlalu dekat dengan objek yang dideteksi maka pantulan dari cahaya itu sendiri akan diidentifikasi sebagai *flashover*. Dengan kata lain kemungkinan terdeteksi lingkaran palsu menjadi lebih besar dibandingkan dengan jarak tengah dan jarak terjauh. Namun hal ini akan berbeda pula hasilnya apabila simulator yang digunakan memiliki intensitas cahaya yang lebih rendah, atau lebih tinggi contohnya: api dari nyala lilin, dsb.



Gambar 7. Hasil akurasi pengujian

Berdasarkan Gambar 7(b), diperoleh analisis bahwa gelap atau tidaknya suatu ruang berpengaruh terhadap sistem. Persentase akurasi sistem dalam mendeteksi adanya *flashover* pada keadaan gelap lebih tinggi jika dibandingkan pada keadaan terang. Apabila pada keadaan terang, intensitas cahaya ruang akan semakin besar pula. Hal ini menyebabkan Hough Circle sulit mendeteksi *flashover* yang sebenarnya, sehingga pada keadaan terang semakin banyak terdeteksi lingkaran palsu. Sehingga alat atau sistem ini dapat bekerja secara optimal apabila digunakan pada ruang gelap.

Berdasarkan Gambar 7(c), dapat diperoleh analisa yakni ada tidaknya medium penghalang berpengaruh terhadap respons sistem serta hasil yang diperoleh. Cahaya dari *flashover* akan menyebar ke segala arah apabila tidak ada penghalang di depannya, sehingga kemungkinan untuk mengalami pantulan lebih besar. Cahaya atau simulator *flashover* yang digunakan pada pengujian cukup dekat dengan lantai (pada pengujian jarak 100 cm), adapun lantai tersebut memiliki permukaan yang halus dan mengkilap maka cahaya yang dipantulkan akan sejajar.

Citra yang dihasilkan pun menunjukkan pada jarak dekat kerap kali terdeteksi lingkaran palsu, hal ini ditunjukkan dari grafik bahwa presentasi akurasi sistem pada jarak dekat (sebelum diberikan medium penghalang) menunjukkan angka paling rendah jika dibandingkan dua percobaan lainnya pada jarak 240 cm dan 530 cm. Dan persentase tertinggi ditunjukkan pada jarak tengah yakni 240 cm, selain karena ukuran pengaburan citra hal ini juga disebabkan karena cahaya tidak terlalu dekat dengan Pi Camera, sehingga pantulan yang dihasilkan cukup kecil dan sistem tidak mendeteksi pantulan tersebut menjadi sebuah cahaya (*flashover*).

Namun ketika diberikan medium penghalang, citra yang dihasilkan berbeda pula. Dilihat dari grafik di atas, persentase akurasi sistem meningkat menjadi 100 % pada jarak dekat 100 cm. Ketika cahaya diberikan medium penghalang yang pertama (kertas gulung) pada jarak terjauh sekalipun cahaya tetap terdeteksi, pada grafik ditunjukkan ketika diberi medium ini hasil akurasi sistem pada ketiga jarak menunjukkan persentase yang sama yakni 100 %.

Jika awalnya sumber cahaya (*flashover*) belum dilewatkan kertas yang digulung maka cahaya tersebut tidak terpolarisasi, namun setelah dilewatkan kertas yang digulung cahayanya menjadi terpolarisasi linier. Sedangkan pada percobaan dengan medium penghalang berupa selembur

kertas, hasil pada jarak dekat dan jarak tengah menunjukkan akurasi keberhasilan yakni 100 %, namun pada jarak terjauh presentasi menurun cukup jauh menjadi 20 %.

Selain karena jaraknya yang terlalu jauh, dan ukuran pengaburan citra hal ini disebabkan intensitas cahaya dari *flashover*/cahaya di belakang medium berkurang karena cahayanya diserap oleh kertas. Hal ini merupakan polarisasi absorpsi selektif/diserap. Sehingga sistem pada jarak ini kesulitan dalam mendeteksi lingkaran. Berdasarkan beberapa hal yang telah dikemukakan, sistem dapat dikatakan bekerja meski tetap memiliki kemungkinan terjadi kesalahan. Sehingga penulis melakukan rekapitulasi yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2 merincikan penyebab kesalahan dari total 120 pengujian dan diperoleh hasil sistem ini memiliki nilai keakuratan sebesar 80,18% dan dari total 120 kali pengujian terdapat kesalahan (terdeteksi lingkaran palsu) sebanyak 28 kali atau 23% dari berbagai kondisi yang berbeda, namun sebenarnya alat ini memang dirancang untuk ditempatkan di ruang gelap. Kesalahan paling banyak terjadi apabila cahaya ditempatkan pada jarak yang terlalu dekat dan terlalu jauh, sehingga penting adanya pengaturan tata letak sistem.

Tabel 2. Hasil pengujian sistem

Jarak	Kondisi	Hasil Pengujian			Akurasi
		Benar	Salah		
			FP	FN	
100	Gelap	10	6	0	62,5
	Terang	10	9	0	52.7
	Penghalang 1	10	0	0	100
	Penghalang 2	10	0	0	100
240	Gelap	10	0	0	100
	Terang	10	0	0	77
	Penghalang 1	10	0	0	100
	Penghalang 2	10	0	0	100
530 cm	Gelap	8	2	0	80
	Terang	10	0	3	70
	Penghalang 1	10	0	0	100
	Penghalang 2	2	0	8	20
<b>Rata-rata Akurasi</b>					<b>80,18</b>
Keterangan: FP = <i>Flashover</i> terdeteksi ketika seharusnya tidak terdeteksi FN = <i>Flashover</i> tidak terdeteksi ketika seharusnya terdeteksi					



#### IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil serta analisis yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik untuk mendeteksi *flashover*, karena *flashover* dianalogikan sebagai kumpulan cahaya, sehingga sistem sudah dapat bekerja sesuai fungsi. Aplikasi untuk menampilkan daftar rekaman *flashover* sudah bekerja dengan baik pula dan sesuai dengan yang diharapkan, termasuk fitur-fitur yang ada dapat berjalan dengan lancar. Rata-rata akurasi sistem mencapai 80,18% dari total 120 kali percobaan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Triyadi and F. Utamingrum, "Pengembangan Sistem Rekognisi Rambu Kecepatan Menggunakan Circle Hough Transform dan Convolutional Neural Network Berbasis Raspberry Pi," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 1, pp. 56-64, 2020.
- [2] R. Khomarudin and L. Subekti, "Kapasitas 500 Kva Di Ppsdm Migas Cepu," vol. 1, no. 2, pp. 28-33, 2020,," *J. List. Instrumentasi dan Elektron. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 6-9, 2020, doi: [10.22146/juliet.v1i2.59560](https://doi.org/10.22146/juliet.v1i2.59560).
- [3] Y. W. Lukman Prihasworo, Dhanis Woro Fittrin, Unan Yusmaniar Oktiawati, Hidayat Nur Isnianto, "Rancang Bangun Smart DC Current and Voltage Monitoring Dengan Thingspeak Pada Simulator PLN Laboratorium Teknik Tenaga Listrik UGM," *J. List. Instrumentasi dan Elektron. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 39-48, 2020.
- [4] C. F. Nugraha and L. Subekti, "Optimisasi Penjadwalan Pembangkit pada Microgrid dengan Mempertimbangkan Respons Beban," *J. List. Instrumentasi dan Elektron. Terap.*, vol. 3, no. 1, pp. 20-24, 2022, doi: [10.22146/juliet.v3i1.74669](https://doi.org/10.22146/juliet.v3i1.74669).
- [5] G. Triyanto., Rancang Bangun Alat Pendeteksi Flashover Kabel Power Pada Kubikel 20 kV Gardu Induk Berbasis Computer Vision Raspberry Pi, *Tugas Akhir*, Program Studi D3 Teknologi Instrumentasi, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2019.
- [6] N.D. Resty, "Rancang Bangun Alat pendeteksi *Flashover* dan Aplikasi Android pada TPSS Proyek Light Rail Transit (LRT) Jabodetabek Berbasis Raspberry Android Studio," *Tugas Akhir*, Program Studi D3 Teknologi Instrumentasi, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2020.
- [7] A.Y. Putra, H. Srihendayana, and N.Tjahjamoonsih, "Monitoring Kamera Pengintai Jarak Jauh Terintegrasi dengan Google Drive Berbasis Raspberry Pi Via Internet," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura*, vol.2, no.1, 2015.
- [8] N. Wiyanti and T. Martiana, "Hubungan Intensitas Penerangan dengan Kelelahan Mata Pada Pengrajin Batik Tulis," *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, vol. 9, no. 2, pp.1 48, 2015.
- [9] J. Flusser, S. Farokhi, C. Hoschl, T. Suk, B. Zitova, and M. Pedone, "Recognition of Images Degraded by Gaussian Blur," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 25, no. 2, pp. 790-806, 2016.
- [10] D. Krisrenanto, M. Rivai, and F. Budiman, "Identifikasi Jumlah dan Tingkat Aktivitas Orang Berbasis Pengolahan Citra Menggunakan Raspberry Pi," *Jurnal Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [11] F.Dannes, M. Rivai, and Tasripan, "Pelacak Cahaya Matahari Berbasis Citra pada panel Surya menggunakan single Board Computer LattePanda," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 319-324, 2018.
- [12] S. Prayogo, "Sistem Keamanan Rumah dengan Metode Background Substraction Menggunakan Sensor Proximity dan Kamera yang Dikontrol oleh Arduino ProMini, Raspberry Pi dan Android," Skripsi, Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2018.

# Perancangan Sistem Instrumentasi dan Kontrol Berbasis Super PLC F2424 serta Antarmuka LabVIEW

Geston Bakti Muntoha<sup>1,\*</sup>, Ida Erna Wati<sup>1</sup>, Muhammad Septian Wijaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Universitas Pawayatan Daha; ida.erna@gmail.com, mseptianwijaya1997@gmail.com

\*Korespondensi: gestonbakti@yahoo.co.id

**Abstract** – PLC-based control is widely used in modern industry because it is able to work automatically controlling actuators for certain functions such as controlling thread rods with actuators connected to THE PLC is a stepper motor. Controlling a stepper motor is different from controlling a conventional DC motor because a stepper motor has different characteristics from a conventional DC motor. To control the stepper motor, controllers such as microcontrollers and PLC (programmable logic controller) are needed because the basis of the control of the stepper motor is how to provide digital pulses to each phase of the stepper motor. This study aims to be a reference for industries in this case that use PLC devices in automatic control processes so that Super PLC F2424 can be another option to facilitate work and with a cheaper price reference can save expenses. The design of the F2424 Super PLC-based instrumentation and control system and LabVIEW interface was carried out using hardware consisting of Super PLC F2424, hybrid stepper motor type 23H276-42-4A(B), M542H type motor driver, with RS232 to USB communication cable and automatic control through the LabVIEW interface. Based on the test results of the control system, the test time results for advanced testing averaged 98.287 s with a time error of 2.333% as well as in the test time results for backward testing an average of 98.271 s with a time error of 2.366%.

**Keywords** – PLC, control, instrumentation, motor, interface

**Intisari** – Kendali berbasis PLC banyak digunakan pada industri modern karena mampu bekerja secara otomatis mengendalikan aktuator untuk fungsi tertentu seperti mengendalikan batang ulir dengan aktuator yang tersambung dengan PLC adalah motor *stepper*. Mengendalikan motor *stepper* berbeda dengan seperti mengendalikan motor DC konvensional karena motor *stepper* memiliki karakteristik berbeda dengan motor DC konvensional. Untuk mengendalikan motor *stepper* diperlukan *controller* seperti *microcontroller* dan PLC (*programmable logic controller*) karena basis kendali motor *stepper* adalah bagaimana memberikan pulsa-pulsa digital ke tiap fase pada motor *stepper*. Penelitian ini bertujuan agar dapat menjadi referensi untuk industri dalam hal ini yang menggunakan perangkat PLC pada proses kendali otomatis sehingga Super PLC F2424 dapat menjadi pilihan lain guna mempermudah pekerjaan dan dengan referensi harga yang lebih murah dapat menghemat pengeluaran. Perancangan sistem instrumentasi dan kontrol berbasis Super PLC F2424 serta antarmuka LabVIEW dilakukan dengan menggunakan *hardware* yang terdiri dari Super PLC F2424, motor *stepper hybrid* tipe 23H276-42-4A(B), *driver* motor tipe M542H, dengan kabel komunikasi RS232 to USB serta kendali otomatis melalui antarmuka LabVIEW. Berdasarkan hasil pengujian sistem kendali tersebut didapatkan hasil waktu uji untuk pengujian maju rata-rata sebesar 98,287 s dengan *error* waktu sebesar 2,333% juga pada hasil waktu uji untuk pengujian mundur rata-rata sebesar 98,271 s dengan *error* waktu sebesar 2,366%.

**Kata kunci** – PLC, kendali, instrumentasi, motor, antarmuka

## I. PENDAHULUAN

Sistem operasional pada industri modern seperti saat ini membutuhkan perangkat-perangkat yang tidak memerlukan kendali manual dan operator yang harus mengoperasikan sistem tersebut dari jarak dekat atau dalam artian mengoperasikan secara langsung di lokasi proses industri berlangsung tetapi cukup dikendalikan atau dioperasikan melalui jarak jauh menggunakan sistem kendali modern berbasis perangkat teknologi terkini seperti berbasis PLC (*programmable logic controller*). Kendali berbasis PLC banyak digunakan pada industri modern karena mampu bekerja secara otomatis mengendalikan aktuator untuk fungsi tertentu seperti mengendalikan batang ulir dengan aktuator yang tersambung dengan PLC adalah motor *stepper*. Mengendalikan motor *stepper* berbeda dengan seperti mengendalikan motor DC konvensional karena motor *stepper* memiliki karakteristik berbeda dengan motor DC konvensional. Untuk mengendalikan motor *stepper* diperlukan *controller* seperti *microcontroller* dan PLC karena basis kendali motor *stepper* adalah bagaimana memberikan pulsa-pulsa digital ke tiap fase pada motor *stepper*. Motor *stepper* adalah jenis aktuator/penggerak

spesial, motor *stepper* menerjemahkan instruksi-instruksi *digital* yang disimpan pada *controller* untuk menghasilkan gerak putar yang presisi, sehingga sangat cocok untuk diterapkan pada sistem elektro mekanik. Super PLC F2424 adalah keluaran pertama dari versi PLC baru F-Series yang masih jarang digunakan di dunia industri, padahal PLC ini tergolong murah dibandingkan dengan jenis atau merek PLC yang umum digunakan dalam dunia industri dan mampu terhubung dengan berbagai perangkat kendali seperti motor *stepper* dan aplikasi antarmuka berbasis LabVIEW. Penelitian ini bertujuan agar dapat menjadi referensi untuk industri dalam hal ini yang menggunakan perangkat PLC pada proses kendali otomatis sehingga Super PLC F2424 dapat menjadi pilihan lain guna mempermudah pekerjaan dan dengan referensi harga yang lebih murah dapat menghemat pengeluaran.

## II. DASAR TEORI

### A. Super PLC F2424

*Programmable logic controller* merupakan sistem *microcontroller* dengan perangkat lunak dan keras yang

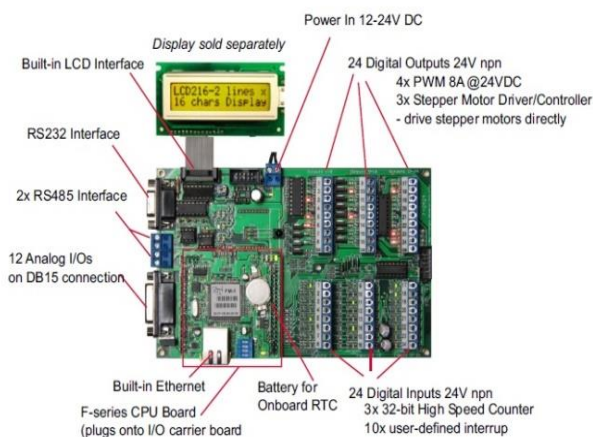
diadaptasi untuk keperluan aplikasi dalam dunia industri. PLC F2424 adalah keluaran pertama dari versi PLC baru F-Series yang dilengkapi *port ethernet* yang dapat dihubungkan langsung ke *router* jaringan, *switch*, atau *hub* untuk akses ke LAN atau internet. *Port ethernet* mendukung Fserver (untuk pemrograman jauh atau *monitoring*) dan Modbus/TCP server (untuk akses oleh perangkat pihak ketiga) dengan hingga enam koneksi secara bersamaan. Program pengguna juga bisa dengan mudah terhubung ke PLC yang lain atau Modbus perangkat *slave*/TCP melalui internet, *email* data yang nyata untuk setiap alamat *email*, atau menghubungkan ke *internet time server* untuk mendapatkan informasi nyata yang paling akurat.

*Port ethernet* juga mendukung "Web Services", yang memungkinkan perusahaan perangkat lunak, seperti *database* program atau Ms. Excel, untuk memasukkan informasi dari beberapa PLC seketika. Unit F2424 dasar terdiri dari delapan *analog input* (12-bit, 0-5 VDC), empat *analog output* (10-bit, 0-5 VDC), 24 *digital input*, dan 24 *digital output*, serta 12 *output digital* (5-16).

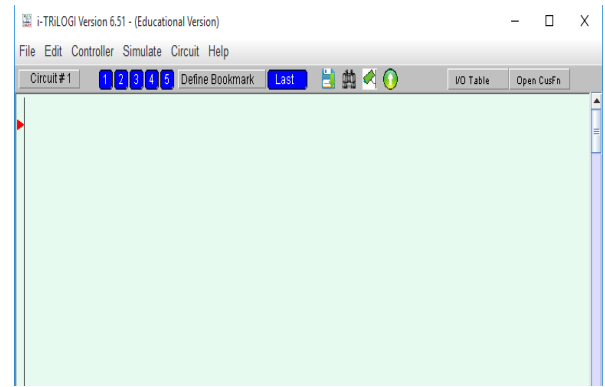
Super PLC F2424 mempunyai 24 *digital input*, 24 *digital output* dan 12 *input* atau *output* (I/O) yang terdiri dari delapan *input analog* (12-bit, 0-5 VDC) dan empat *output analog* (10-bit, 0-5 VDC). Untuk dapat bekerja, tipe ini membutuhkan *power supply* sebesar 12 s.d. 24 V dengan arus kurang dari 100 mA. Untuk media komunikasi Super PLC ini mempunyai satu *port RS232* dan dua *port RS485* mendukung protokol Modbus ASCII/RTU. Untuk modelnya dapat dilihat seperti pada Gambar 1.

### B. Software i-TRiLOGI

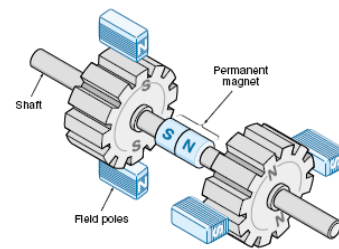
i-TRiLOGI merupakan sebuah *software* dari Super PLC yang digunakan untuk memprogram Super PLC keluaran perusahaan Super PLC. Terdapat dua buah bahasa program yaitu diagram *ladder* dan bahasa TBASIC. Diagram *ladder* merupakan pemrograman yang terdiri dari dua garis vertikal yang mewakili rel semacam *wiring* dan disusun garis-garis horizontal yang kemudian disebut dengan *rung* (anak tangga). *Rung (network)* tersebut terdiri dari kontak yang dapat berlogika *open* atau *close*. Kontak *open* akan memutus arus, sedangkan kontak *close* memungkinkan untuk



Gambar 1. Tampilan Super PLC F2424



Gambar 2. Tampilan *software* i-Trilogy



Gambar 3. Ilustrasi operasi internal dari motor *stepper hybrid* [5]

mengalirkan arus ke elemen berikutnya. Kontak sederhana adalah saklar ON/OFF yang memerlukan tenaga dari luar (misalnya tangan manusia) untuk mengaktifkannya. *Limit switch* merupakan saklar kecil yang ditempatkan di lokasi tertentu, sehingga bila perangkat mekanis bergerak ke arah saklar, maka kontak akan tertutup dan bila perangkat mekanis bergerak menjauh, kontak akan terbuka. Adapun tampilan i-TRiLOGI seperti pada Gambar 2.

1) *Motor Stepper Hybrid*: Motor *stepper hybrid* menggabungkan kelebihan/fitur motor *stepper magnet* permanen dan motor *stepper variable reluctance* (VR) dan ini yang paling banyak digunakan saat ini. Rotor bergigi, yang membolehkan sudut step yang sangat kecil (1,80 tipikal), dan mempunyai suatu magnet permanen yang memberikan *detent torque* yang kecil bahkan ketika catu daya dimatikan.

Internal dari motor *hybrid* yang dapat dianggap lebih rumit dari motor magnet permanen biasa/sederhana. Rotor terdiri dari dua roda bergigi dengan suatu magnet di antaranya satu roda termagnetisasi secara sempurna menjadi utara dan yang lainnya sempurna menjadi selatan. Untuk setiap step, dua gigi berlawanan pada roda utara ditarik menuju dua kutub medan selatan, dan dua gigi berlawanan pada roda selatan ditarik menuju dua kutub medan utara. Kumputan atau pengawatan internal lebih rumit dari motor magnet permanen atau motor VR, tetapi untuk ke dunia luar motor ini sederhana dan mudah untuk dikontrol.

Teori operasi motor *hybrid* mirip dengan motor VR di mana rotor dan stator mempunyai jumlah gigi yang berbeda dan untuk setiap *step*, gigi yang mendapat energi terdekat yang akan ditarik untuk disejajarkan. Namun, prinsip-prinsip magnetik diperlukan, pada satu waktu kapan saja, setengah

kutub-kutub menjadi utara dan setengah lainnya menjadi selatan. Untuk mempertahankan keseimbangan magnetik (*magnetic balance*), setiap kutub harus dapat melakukan *switching* polaritas supaya dapat memberikan kutub yang tepat pada waktu yang tepat. Hal ini diselesaikan dengan satu cara dari dua cara: Untuk motor bipolar, tegangan yang digunakan harus dibalik oleh rangkaian *driver* (seperti pada motor *stepper* magnet permanen dua fase). Pada sisi lain, motor *unipolar* mempunyai dua kumparan terpisah arah berlawanan pada setiap kutub medan (disebut *bipolar winding*), dan juga setiap kutub dapat menjadi utara atau selatan. Karena itu motor *stepper hybrid unipolar* tidak memerlukan rangkaian pembalik polaritas [1].

2) *LabVIEW*: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench atau yang disingkat *LabVIEW* merupakan sebuah *software* yang diproduksi oleh National Instrument. Program *LabVIEW* disebut dengan Virtual Instrument (VI) karena beberapa tampilan dan operasi pada program *LabVIEW* menyerupai suatu instrumen, seperti osiloskop atau multimeter. Setiap VI menggunakan fungsi-fungsi yang memanipulasi *input* dan *user interface* atau sumber lain dan menampilkan informasi tersebut atau memindahkan informasi tersebut ke *file* atau komputer lain.

### III. METODOLOGI

Tahapan metode penelitian ini secara garis besar terbagi menjadi dua yaitu: 1) Metode perancangan *hardware* menggunakan metode perancangan sesuai skema kendali motor *stepper* berbasis Super PLC F2424 yang disertai *driver* khusus motor *stepper*. 2) Metode perancangan *software* terdiri dari *ladder* Super PLC F2424 menggunakan *software* i-Trilogi dan antarmuka menggunakan *software* *LabVIEW*. Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk perancangan antara lain:

- Komputer yang telah memiliki *software* i-Trilogi dan *Labview*
- Modul Super PLCF2424
- *Stopwatch*
- DC *power supply* 24 V
- Potensiometer *bipolar* 50 kΩ
- Kabel RS232
- Kabel RS232 to USB
- Motor *stepper hybrid*



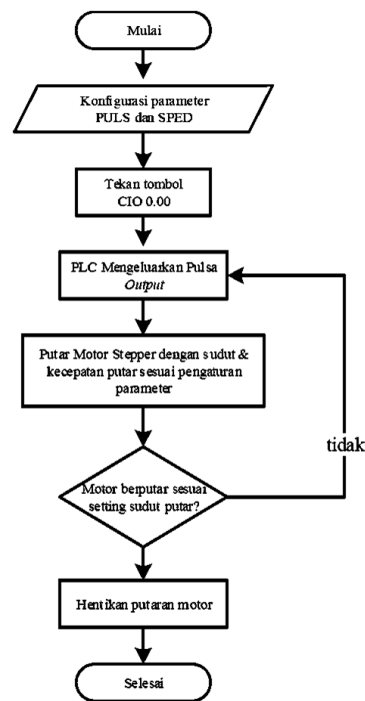
Gambar 4. Tampilan *software* *LabVIEW*

- *Driver stepper motor*
- *Push button*

Diagram blok skema perancangan ditunjukkan pada Gambar 5. Secara umum ditampilkan komponen sistem instrumentasi dan kontrol berbasis Super PLC F2424 untuk mengendalikan motor *stepper hybrid* secara otomatis dari Super PLC F2424 yang memberikan *output* ke *driver* untuk kemudian dilanjutkan ke motor *stepper*. *Ladder* dirancang menggunakan *software* i-Trilogi untuk menentukan parameter kendali pada Super PLC F2424 dan kendali otomatis dapat dilakukan dengan antarmuka *LabVIEW*.



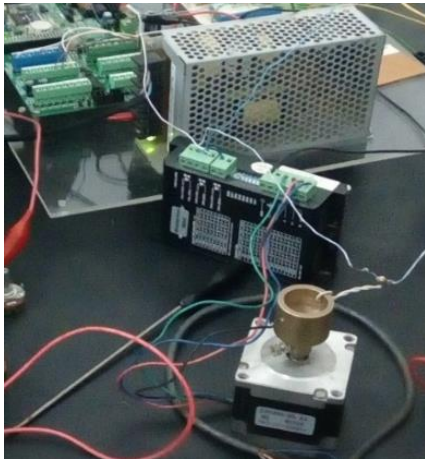
Gambar 5. Diagram Blok Perancangan



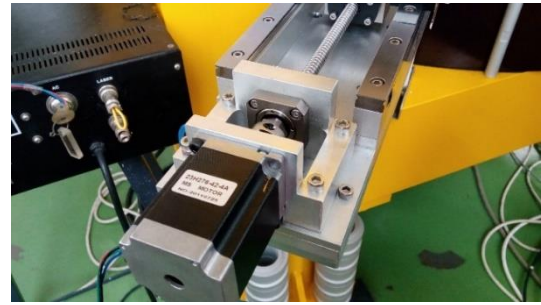
Gambar 6. *Flowchart* sistem kendali

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan *hardware* sistem instrumentasi dan kontrol berbasis Super PLC F2424 ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil perancangan tersebut merupakan susunan *hardware* sistem kontrol sebelum dipasang pada batang ulir kendali. Susunan *hardware* terdiri dari Super PLC F2424 yang memperoleh sumber masukan 24 V DC dari DC *power supply*, dengan *driver* motor yang digunakan yaitu *driver* khusus motor *stepper hybrid* tipe M542H yang memperoleh masukan 5 V DC dari hasil penurunan tegangan menggunakan potensiometer dari *power supply* 24V DC.



Gambar 7. Susunan rangkaian *hardware*

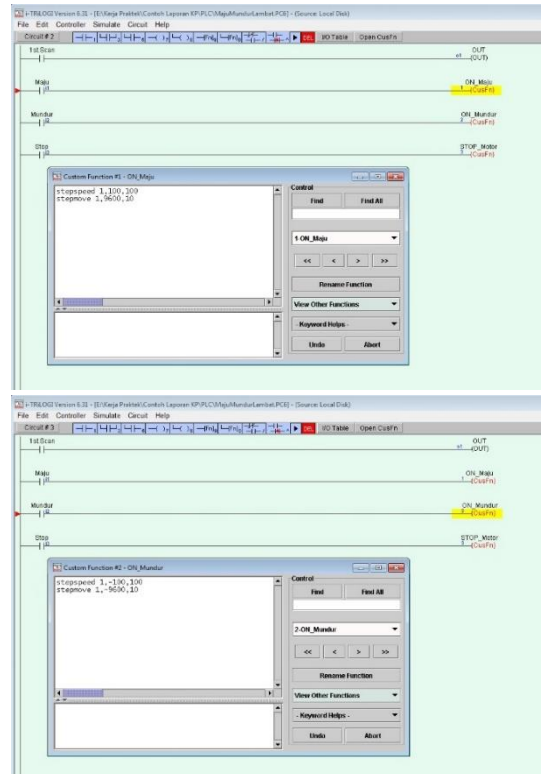


Gambar 8. Rangkaian uji kendali

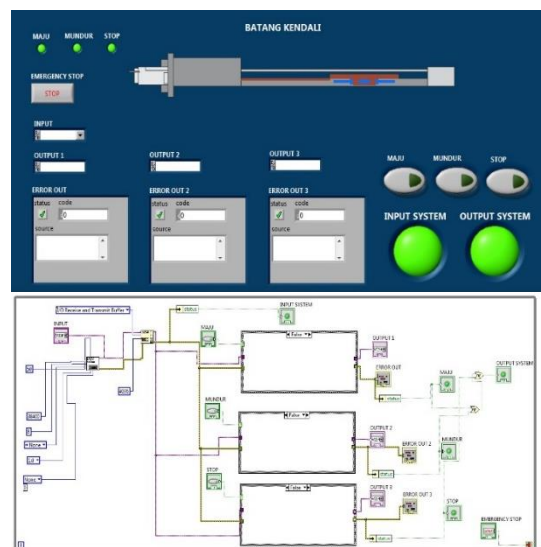
Pada Gambar 8 ditunjukkan rangkaian uji kendali yang merupakan susunan *hardware* sistem kontrol ketika diuji pada batang ulir kendali. Pengujian dilakukan dengan memasang motor *stepper* pada batang ulir kemudian motor *stepper* akan memutar batang ulir tersebut maju dan mundur dengan parameter kendali putar motor yang diatur pada Super PLC F2424 seperti Gambar 9 yang pengoperasiannya dikendalikan melalui antarmuka LabVIEW seperti pada Gambar 10.

Pada Gambar 9 ditunjukkan *ladder* pada aplikasi i-Trilogi dengan perintah yaitu maju dan mundur dengan fitur di dalam aplikasi i-Trilogi di mana pengguna mampu menentukan parameter kendali pada motor yaitu dengan jumlah pulsa yang diberikan ke motor sebesar 9600 pulsa untuk putaran gerak maju dan -9600 pulsa untuk putaran gerak mundur dengan parameter kendali kecepatan motor sebesar 100 pps (*pulse per second*) untuk putaran gerak maju dan -100 pps untuk putaran gerak mundur.

Pada Gambar 10 ditunjukkan tampilan antarmuka pada aplikasi LabVIEW dengan fungsi dan fitur yaitu pengguna dapat memilih *input hardware* yang tersambung dengan antarmuka tersebut dan akan terbaca COM 3, apabila koneksi berhasil maka indikator akan berwarna hijau dan apabila koneksi gagal maka indikator akan berwarna merah dan pada kolom *error out* akan terbaca koneksi *error*. Apabila keseluruhan koneksi pada *input* tidak bermasalah maka indikator *input system* akan berwarna hijau dan apabila bermasalah akan berwarna merah. Begitu pula dengan keseluruhan koneksi pada *output* tidak bermasalah maka indikator *output system* akan berwarna hijau dan apabila bermasalah akan berwarna merah. Tombol kendali maju akan mengirimkan perintah ke Super PLC F2424 untuk menjalankan fungsi *push button 1* yaitu mengirimkan pulsa sebesar 9600 pulsa dengan kecepatan 100 pps. Tombol kendali mundur akan mengirimkan perintah ke Super PLC F2424 untuk menjalankan fungsi *push button 2* yaitu mengirim pulsa sebesar 9600 pulsa dengan kecepatan 100 pps dengan fungsi putaran sebaliknya. Tombol kendali stop akan mengirimkan perintah ke Super PLC F2424 untuk menjalankan fungsi *push button 3* yaitu untuk menghentikan putaran motor dengan fungsi stop pada *ladder*.



Gambar 9. Hasil *ladder* Super PLC F2424 pada *software* i-Trilogi



Gambar 10. Hasil tampilan antarmuka kendali pada LabVIEW

Hasil pengujian sistem kendali yang dipasangkan pada batang kendali dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil pengujian sistem kendali tersebut didapatkan hasil waktu uji seperti pada Tabel 1 untuk pengujian maju, di mana jumlah pulsa diberikan sebesar 9600 pulsa dan *pulse rate* sebesar 100 pps maka secara teoritis waktu untuk motor melakukan fungsi sebesar 96 s akan tetapi sesuai pengujian sebanyak 10 kali dihasilkan nilai waktu uji rata-rata sebesar 98,287 s dengan waktu uji terbesar sebesar 98,380. Pada Tabel 2 dapat dilihat untuk pengujian mundur, di mana jumlah pulsa diberikan sebesar 9600 pulsa dan *pulse rate* sebesar 100 pps maka secara teoritis waktu untuk motor melakukan fungsi sebesar 96 s akan tetapi sesuai pengujian sebanyak sepuluh kali dihasilkan nilai waktu uji rata-rata sebesar 98,271 s dengan waktu uji terbesar sebesar 98,340 s.

Setelah mengetahui nilai waktu uji, maka dapat ditentukan *error* waktu pada pengujian sistem untuk pengujian maju di mana *error* rata-rata sebesar 2,333% dan *error* waktu pada pengujian sistem untuk pengujian mundur dengan *error* rata-rata sebesar 2,366%.

Tabel 1. Data hasil waktu uji pengujian maju

Jumlah Pulsa Diberikan ( <i>pulse</i> )	Waktu Teoritis (s)	Waktu Uji (s)	Error (%)
9600	96	98,36	2,458
9600	96	98,36	2,399
9600	96	98,23	2,270
9600	96	98,23	2,270
9600	96	98,21	2,250
9600	96	98,35	2,389
9600	96	98,33	2,370
9600	96	98,38	2,419
9600	96	98,2	2,240
9600	96	98,22	2,260
<b>Rata-rata</b>		<b>98,287</b>	<b>2,333</b>

Tabel 2. Data hasil waktu uji pengujian mundur

Jumlah Pulsa Diberikan ( <i>pulse</i> )	Waktu Teoritis (s)	Waktu Uji (s)	Error (%)
9600	96	98,34	2,438
9600	96	98,30	2,396
9600	96	98,32	2,417
9600	96	98,23	2,323
9600	96	98,21	2,302
9600	96	98,2	2,292
9600	96	98,35	2,448
9600	96	98,23	2,323
9600	96	98,27	2,365
9600	96	98,26	2,354
<b>Rata-rata</b>		<b>98,271</b>	<b>2,366</b>

## V. SIMPULAN

Perancangan sistem instrumentasi dan kontrol berbasis Super PLC F2424 serta antarmuka LabVIEW dilakukan dengan menggunakan *hardware* yang terdiri dari Super PLC F2424, motor *stepper hybrid* tipe 23H276-42-4A(B), *driver* motor tipe M542H, dengan kabel komunikasi RS232 to USB serta kendali otomatis melalui antarmuka berbasis LabVIEW. Berdasarkan hasil pengujian sistem kendali tersebut didapatkan hasil waktu uji untuk pengujian maju rata-rata sebesar 98,287 s dengan *error* waktu sebesar 2,333%. Pada hasil waktu uji untuk pengujian mundur rata-rata sebesar 98,271 s dengan *error* waktu sebesar 2,366%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Syafarudin, Irwan; Anto, "Rancang Bangun Saklar Pemindah Otomatis Berpenggerak Motor Stepper Variable Reluctance Dengan Pengendali Mikrokontroler ATmega8535 Firman," Jom FTEKNIK, vol. 4, no. 2, pp. 9–15, 2017.
- [2] F. A. Silaban, S. Budiayanto, and W. K. Raharja, "Stepper motor movement design based on FPGA," Int. J. Electr. Comput. Eng., vol. 10, no. 1, pp. 151–159, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i1.pp151-159.
- [3] F. Muliawati and R. Wahyudi, "Penerapan Plc Mitsubishi Fx 2N - Series Sebagai Pengganti Seltime-1000 Untuk Kontrol Timer Proses Produksi Ban Pada Mesin Tire Curing Press," J. Tek. Elektro dan Sains Univ. Ibn Khaldun Bogor, vol. 1, no. 1, pp. 14–21, 2014.
- [4] Muntoha, G. B. "Analisis Potensi Penerapan PLTS Pada Kantor Unit Metrologi Legal Dinas Perindustrian Dan Perdagangan Kabupaten Tulungagung. Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan, vol 3, no. 1. 2022.
- [5] Rifa'i, Muhamad et al. Scaling data PLC sebagai pengontrol motor stepper penggerak ulir extruder. JURNAL ELTEK, [S.l.], vol. 19, no. 2, pp. 80-87, Oct. 2021.
- [6] S. G. Zain, "Prototipe Antena Tracker Menggunakan Motor Stepper Nema 23 sebagai Aktuator 2 Axis," Pros. Semin. Nas. LP2M UNM, pp. 907–913, 2019.
- [7] Syahrul. "Motor Stepper: Teknologi, Metoda Dan Rangkaian Kontrol". Majalah Ilmiah UNIKOM Vol.6, No. 2. 2014.
- [8] T. Suryana, "Desain Modifikasi Screw Extruder Untuk Meningkatkan Outflow Yang Optimal Dan Meninimalkan Cacat Produk Pada Plastik," Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin, vol. 9, no. 1, pp. 19–27, 2019.
- [9] Wibowo, B. C., and Nugraha, F. "Kendali Kecepatan Motor Stepper menggunakan metode start – stop berbasis plc". Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, vol. 10, no. 3, 2021.
- [10] Y. Imamulhak, I. Tullah, P. Studi, T. Elektronika, K. Padang, and S. Barat, "Aplikasi Plc Omron Cj1M Cpu11 Sebagai Kontrol," vol. 5, no. 2, pp. 3–8, 2019.
- [11] Y. Lv, C. Xu, H. Guo, and Y. Liu, "Research on Sliding Mode Control of Two-phase Hybrid Stepper Motor Based on New PI Current Algorithm," J. Phys. Conf. Ser., vol. 1449, no. 1, 2020.
- [12] Z. Alvin, U. Latifa, R. Rahmadewi, and R. Hidayat, "SIMULASI ROOM COOLING AUTOMATION MENGGUNAKAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)", TESLA, vol. 24, no. 1, pp. 25–35, Apr. 2022.

## Acknowledgment

We sincerely thank the experts and colleagues who have committed to reviewing the Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan Volume 3 No. 2 of 2022. The experts and colleagues who have contributed to the journal are listed below.

<b>Name</b>	<b>Affiliation</b>
Brahmantya Aji Pramudita, S.Si., M.Eng.	Universitas Telkom
Esa Apriaskar, S.T., M.T.	Universitas Negeri Semarang
Fakih Irsyadi, S.T., M.T.	Universitas Gadjah Mada
Imroatul Hudati, S.T., M.T.	Universitas Gadjah Mada
Pinto Anugrah, S.T., M.Eng.	Universitas Andalas
Rendra Dwi Firmansyah, S.Si., M.Eng.	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Wahri Sunanda, S.T., M.Eng.	Universitas Bangka Belitung