

# Implementasi Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Berbasis IoT (ESP32-Blynk) *pada Indoor Wall Climbing*

<sup>1\*</sup>Narwikant Indroasyoko, <sup>2</sup>Hendy Rudiansyah, <sup>3</sup>Muhamad Fauzi, <sup>4</sup>Ike Yuni Wulandari  
<sup>1,2,3</sup> Politeknik Manufaktur Bandung, <sup>4</sup> Fakultas Teknik Universitas Nurtanio  
Bandung, Indonesia

asyoko@polman-bandung.ac.id

## \*Penulis Korespondensi

Diajukan : 27/11/2025

Diterima : 24/12/2025

Dipublikasi : 01/01/2026

## ABSTRAK

Pertumbuhan fasilitas *indoor wall climbing* di Indonesia mendorong kebutuhan sistem penggerak yang lebih aman, fleksibel, dan mudah dikendalikan. Pada umumnya, pengaturan kecepatan motor induksi pada fasilitas tersebut masih dilakukan secara manual melalui panel inverter, sehingga kurang responsif dan tidak praktis. Penelitian ini merancang dan membangun sistem kendali kecepatan motor induksi satu fasa berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT) menggunakan aplikasi Blynk. Sistem menggabungkan dua mode kendali, yaitu kendali manual melalui potensiometer dan push button, serta kendali jarak jauh melalui aplikasi IoT. Metode perancangan menggunakan pendekatan VDI 2206 yang mencakup analisis kebutuhan, desain sistem mekanik, elektrik, dan perangkat lunak, integrasi komponen, serta verifikasi dan validasi. Sinyal kecepatan motor dihasilkan melalui DAC MCP4725 yang mengonversi output digital ESP32 menjadi tegangan analog 0–5 V sebagai referensi frekuensi inverter Yuanshin V9. Pengujian dilakukan untuk melihat hubungan antara potensiometer, tegangan DAC, frekuensi inverter, dan kecepatan putaran dinding. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan kendali kecepatan yang linier, stabil, dan responsif pada rentang 0–50 Hz. Perbandingan antara input manual dan IoT menunjukkan performa yang konsisten dengan deviasi sangat kecil. Tombol start/stop fisik dan virtual juga bekerja dengan baik tanpa keterlambatan yang signifikan. Sistem ini terbukti meningkatkan fleksibilitas kontrol, kemudahan operasi, dan keamanan penggunaan pada fasilitas *indoor wall climbing*.

**Kata Kunci:** ESP32, *Indoor wall climbing*, *Internet of Things*, IoT, Inverter

## I. PENDAHULUAN

*Indoor wall climbing* berkembang pesat di Indonesia sebagai alternatif olahraga yang menawarkan keamanan, aksesibilitas, dan fleksibilitas desain lintasan. Pada fasilitas tersebut, sistem penggerak mekanis memiliki peranan penting dalam mengatur pergerakan dinding atau papan panjat, terutama yang mengandalkan motor induksi satu fasa sebagai aktuator utama. Namun, pengaturan kecepatan motor yang umum digunakan masih dilakukan secara manual melalui panel inverter. Cara ini kurang responsif, tidak praktis, dan dapat menimbulkan keterlambatan dalam menyesuaikan kecepatan ketika operator berada jauh dari panel. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya rancangan sistem kendali yang lebih fleksibel dan mampu memberikan respons cepat. Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan peluang besar untuk meningkatkan efektivitas pengendalian motor melalui konektivitas nirkabel dan kemampuan monitoring jarak jauh (Wulandari et al., 2021; Abraham et al., 2017). Mikrokontroler ESP32 menjadi salah satu platform yang banyak digunakan karena mendukung Wi-Fi bawaan, pemrosesan data yang cepat, serta kompatibilitas dengan aplikasi kontrol seperti Blynk. Melalui integrasi

ESP32 dan aplikasi Blynk, sistem kendali motor dapat dioperasikan dari smartpone, sekaligus mempertahankan fungsi kendali manual melalui potensiometer dan tombol fisik. Pendekatan hybrid ini tidak hanya menambah fleksibilitas pengoperasian, tetapi juga memperkuat aspek keselamatan pengguna wall climbing, terutama ketika dibutuhkan pengaturan kecepatan secara cepat dan presisi. Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini mengimplementasikan sistem kendali kecepatan motor induksi berbasis IoT menggunakan ESP32 dan DAC MCP4725 sebagai penghasil sinyal analog 0–5 V untuk mengatur frekuensi inverter pada rentang 0–50 Hz. Sistem ini dirancang untuk menghasilkan kontrol yang lebih praktis, responsif, dan aman sesuai kebutuhan fasilitas *indoor wall climbing* modern.

## II. STUDI LITERATUR

### Penelitian Terdahulu

#### Konsep *Internet of Things* (IoT)

*Internet of Things* (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan perangkat fisik melalui jaringan internet sehingga dapat saling bertukar data dan berkomunikasi secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung. Penerapan IoT dalam berbagai bidang seperti otomasi rumah, industri, dan pendidikan memberikan keuntungan berupa peningkatan efisiensi, kontrol jarak jauh, dan integrasi sistem secara real-time (Kotha & Gupta, 2018; Cvitić et al., 2023). *Internet of Things* (IoT) berpotensi besar dalam sistem kendali karena memudahkan pemantauan serta pengendalian peralatan dari lokasi yang berbeda dengan cara yang fleksibel dan responsif. Integrasi mikrokontroler dengan teknologi IoT menghasilkan sistem kendali yang cerdas dan adaptif sesuai dengan kebutuhan pengguna. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk memanfaatkan mikrokontroler ESP32 yang memungkinkan pengaturan kecepatan motor pada aplikasi kendali motor untuk sistem wall climbing melalui jaringan nirkabel yang dapat diakses menggunakan antarmuka aplikasi seperti Blynk, sehingga memberikan kemudahan dan efisiensi kontrol secara real-time.

#### Mikrokontroler ESP - 32

Mikrokontroler ESP32 adalah perangkat mikrokomputer tertanam yang dikembangkan oleh Espressif Systems, dilengkapi dengan prosesor ganda, modul Wi-Fi dan Bluetooth, serta dukungan antarmuka input/output yang luas seperti ADC, PWM, SPI, dan I2C. ESP32 sering dipilih dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT) karena kemampuannya melakukan pemrosesan lokal (on-board), mengendalikan berbagai sensor dan aktuator, serta mampu berkomunikasi secara nirkabel untuk kontrol dan pemantauan jarak jauh. Arsitektur dual core dan konsumsi daya yang relatif rendah membuat ESP32 cocok untuk sistem yang memerlukan operasi realtime dan efisiensi energi. Dalam aplikasi kendali motor atau otomasi, ESP32 dapat menerima masukan analog atau digital, kemudian menghasilkan sinyal digital atau analog (melalui modul DAC apabila tersedia) untuk mengontrol perangkat seperti motor, relay, atau inverter. Gambar 1 di bawah ini merupakan contoh dari ESP32 yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 1. Board ESP32

Di Indonesia, ESP32 sudah banyak diterapkan dalam berbagai prototipe sistem IoT maupun otomasi praktis. Sebagai contoh, penelitian “Pengembangan Prototipe Sistem Pengendalian Daya Listrik berbasis IoT ESP32 pada Smart Home System” menggunakan ESP32 untuk kontrol peralatan rumah dan monitoring daya listrik dengan antarmuka aplikasi Blynk. Demikian juga studi “Perancangan Prototype Monitoring dan Akuisi Data Pengujian Noise Trafo Berbasis ESP32” yang memanfaatkan

mikrokontroler ini untuk pemantauan kualitas suara (noise) trafo secara real-time (Siradjuddin et al., 2024). Keunggulan seperti kemampuan konektivitas, kemudahan pemrograman, dan dukungan komunitas membuat ESP32 menjadi pilihan utama dalam penelitian aplikatif sistem embedded dan IoT.

### DAC – MCP4725

MCP4725 adalah modul Digital-to-Analog Converter (DAC) 12-bit satu saluran yang dirancang oleh Microchip, dengan kemampuan menghasilkan tegangan analog dari sinyal digital melalui antarmuka I<sup>2</sup>C. Modul ini juga dilengkapi EEPROM non-volatile, sehingga nilai output yang diatur dapat disimpan dan dikembalikan setelah perangkat mengalami pemadaman daya, tanpa perlu dikonfigurasi ulang (Microchip, data sheet MCP4725) Microchip +1. Output tegangan dari MCP4725 bersifat rail-to-rail, artinya tegangan keluaran dapat menyentuh tegangan suplai (VDD) dan ground, serta memiliki resolusi 12-bit, yang memungkinkan hingga 4096 tingkatan tegangan berbeda dalam rentang inputnya Kursus Fisika Illinois +2 Microchip +2 . Waktu penyelesaian (settling time) modul ini cukup cepat, yaitu sekitar 6  $\mu$ s, yang menjadikannya cocok untuk aplikasi di mana perubahan tegangan output harus responsif terhadap sinyal kontrol (MCP4725 data sheet) Microchip. Gambar 2 merupakan contoh modul MCP4725.



Gambar 2. Modul MCP4725

MCP4725 adalah modul Digital-to-Analog Converter (DAC) 12-bit satu saluran yang dirancang oleh Microchip, dengan kemampuan menghasilkan tegangan analog dari sinyal digital melalui antarmuka I<sup>2</sup>C. Modul ini juga dilengkapi EEPROM non-volatile, sehingga nilai output yang diatur dapat disimpan dan dikembalikan setelah perangkat mengalami pemadaman daya, tanpa perlu dikonfigurasi ulang. Output tegangan dari MCP4725 bersifat rail-to-rail, artinya tegangan keluaran dapat menyentuh tegangan suplai (VDD) dan ground, serta memiliki resolusi 12-bit, yang memungkinkan hingga 4096 tingkatan tegangan berbeda dalam rentang inputnya Kursus Fisika Illinois +2 Microchip +2 . Waktu penyelesaian (settling time) modul ini cukup cepat, yaitu sekitar 6  $\mu$ s, yang menjadikannya cocok untuk aplikasi di mana perubahan tegangan output harus responsif terhadap sinyal kontrol (MCP4725 data sheet) Microchip. Gambar dibawah ini merupakan contoh modul MCP4725.

### Inverter Yunshin V9

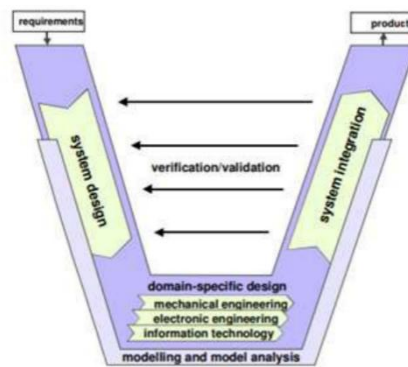
Inverter Yuanshin V9 merupakan perangkat pengendali kecepatan motor listrik (*Variable Frequency Drive*) yang bekerja dengan mengubah tegangan dan frekuensi suplai AC untuk mengatur putaran motor. Secara fungsional, rangkaian V9 terdiri dari tahap rectifier yang menyearahkan tegangan sumber menjadi DC, diikuti DC bus dengan kapasitor penyangga, lalu tahap inverter yang membangkitkan kembali tegangan AC berfrekuensi variabel menggunakan teknik switching semikonduktor. Perubahan frekuensi inilah yang menentukan kecepatan sinkron motor induksi, semakin rendah frekuensi keluaran maka semakin rendah kecepatan putaran, dan sebaliknya atau pengendalian vektor untuk menjaga torsi dan kestabilan arus saat operasi pada rentang frekuensi rendah hingga tinggi. Fitur praktis V9 yang tercantum pada manual memuat pengaturan parameter otomatis, torque boost, proteksi arus lebih, dan antarmuka komunikasi untuk integrasi dengan sistem pengendali.

Dari sisi kendali dan performa, V9 dapat beroperasi dalam mode open-loop untuk aplikasi umum atau mode pengendalian lebih presisi untuk torsi dan respons dinamis yang lebih baik, algoritme PWM yang digunakan meminimalkan distorsi gelombang keluaran sehingga meningkatkan efisiensi pemakaian energi pada beban variabel. Pemilihan metode

pengendalian dan penyetelan parameter berdampak langsung pada stabilitas kecepatan dan efisiensi energi. Hal ini selaras dengan kajian-kajian terkini yang menunjukkan VFD menghemat energi jika di-tuning dengan benar pada aplikasi pompa, fan, atau mesin industri lainnya. Implementasi proteksi dan limitasi arus pada V9 juga mencegah trip berulang dan memperpanjang umur motor serta perangkat, sesuai praktik terbaik penggunaan VFD pada instalasi industri (Kudělka et al., 2021).

### III. METODE

Penelitian ini menggunakan perancangan sistem mekatronika yang menekankan pada pendekatan sistematis dan interdisipliner untuk menghubungkan aspek mekanik, elektronik, dan teknologi informasi dalam satu siklus terintegrasi (Gausemeier & Moehringer, 2003). Selain itu, model berbentuk “V” dalam VDI 2206 yang memperlihatkan alur spesifikasi di sisi kiri dan verifikasi/validasi di sisi kanan membantu menyusun aktivitas rekayasa dalam suatu kerangka kerja yang dapat diterapkan baik pada proyek klasik maupun agile (Graessler & Hentze, 2020). Pemilihan VDI 2206 dalam penelitian ini memungkinkan pengembangan sistem kendali motor berbasis IoT secara holistik, mulai dari analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, hingga verifikasi dan validasi sistem.



Gambar 3. Bentuk V Model dari VDI 2206

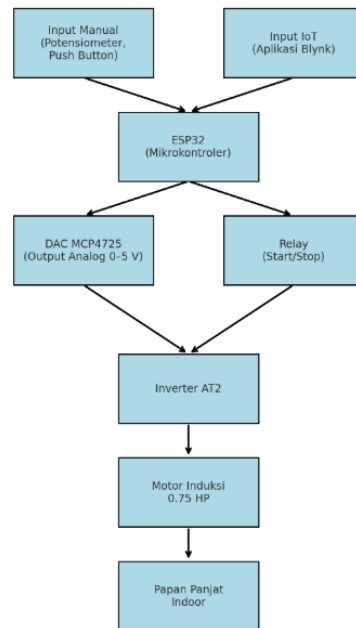
Model yang memiliki bentuk v tersebut menjelaskan perancangan desain mekatronika secara spesifik.

- Requirements
- System Design
- Domain-specific design
- System Integration (Integrasi Sistem)
- Verification and Validation (Verifikasi dan Validasi)
- Product (Produk Akhir)

#### Diagram Blok Sistem

Gambaran umum hubungan antar komponen sistem ditunjukkan pada Gambar 4. Input sistem terdiri dari dua sumber, yaitu input manual melalui potensiometer dan push button, serta input IoT melalui aplikasi Blynk. Kedua jenis input tersebut diolah oleh mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kendali sistem.

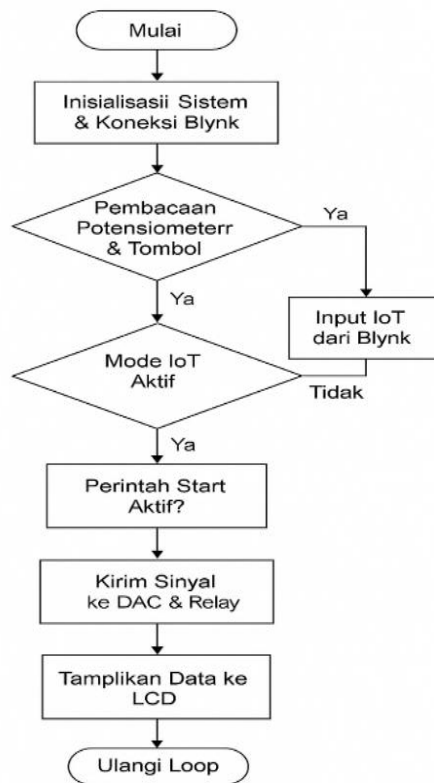
Diagram Blok Sistem Kendali Kecepatan Motor Indoor Wall Climbing



Gambar 4. Diagram Blok Sistem Kendali Indoor Wall Climbing

Diagram Alir Perangkat Lunak

Diagram Alir Perangkat Lunak



Gambar 5. Diagram alir perangkat lunak

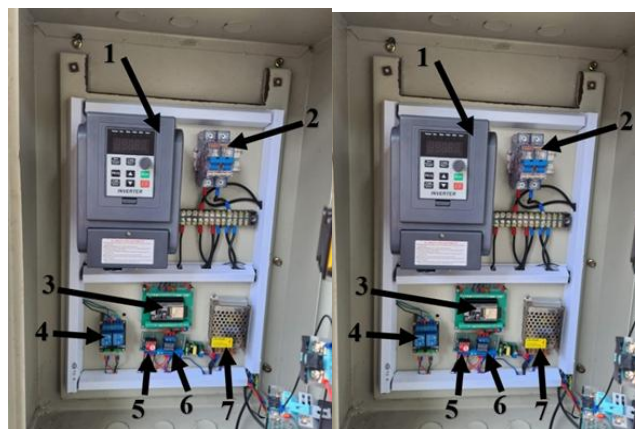
Secara umum, alur kerja sistem digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 5, yang menunjukkan proses kerja sistem dari awal hingga akhir secara berulang (*looping*). Pada tahap awal, sistem melakukan inisialisasi terhadap seluruh komponen, seperti pengaturan pin input/output, komunikasi I2C, dan koneksi ke server Blynk. Setelah sistem terhubung, ESP32 akan membaca nilai input dari potensiometer, tombol Start/Stop, dan data dari aplikasi Blynk. Selanjutnya, sistem melakukan pemilihan mode operasi berdasarkan sumber input yang terakhir aktif. Jika pengguna mengatur kecepatan melalui aplikasi, maka sistem beralih ke mode IoT. Namun, jika potensiometer digunakan, sistem secara otomatis beralih ke mode manual. Dalam kedua mode tersebut, ESP32 akan memeriksa status perintah Start dan Stop. Jika perintah Start aktif dan kondisi Stop tidak ditekan, maka sistem mengirimkan sinyal analog melalui DAC MCP4725 untuk mengatur frekuensi inverter, serta mengaktifkan relay sebagai sinyal Run. Jika Stop aktif, sistem akan memutus sinyal Run dan mengirimkan perintah berhenti ke inverter. Seluruh status operasi, termasuk kecepatan, tegangan keluaran DAC, serta mode yang sedang aktif, akan ditampilkan secara real-time pada LCD I2C. Proses ini berlangsung terus-menerus dalam bentuk *looping*, sehingga sistem dapat merespons setiap perubahan input secara cepat dan dinamis.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Implementasi Hardware & Software

Tahap ini adalah tahap realisasi dari seluruh rancangan sistem yang telah dibuat pada tahap perancangan, baik dari sisi mekanik maupun elektrik. Pada tahap ini, setiap komponen disusun dan dirangkai menjadi satu kesatuan sistem yang berfungsi secara utuh sesuai dengan tujuan penelitian. Implementasi dilakukan untuk memastikan bahwa rancangan dapat bekerja dengan baik di kondisi nyata yang dapat dilihat pada Gambar 6, serta memungkinkan proses pengujian dan analisis selanjutnya.

Sistem ini terdiri atas dua bagian utama, yaitu bagian mekanik dan bagian elektrik. Bagian mekanik berfungsi sebagai struktur fisik yang menahan dan menggerakkan beban berupa papan panjang indoor, sedangkan bagian elektrik berfungsi sebagai sistem kendali dan penggerak utama yang mengatur kecepatan motor menggunakan sinyal dari mikrokontroler ESP32. Pada implementasi ini, seluruh komponen elektrik ditempatkan di dalam panel kontrol utama. Panel ini menjadi pusat kendali bagi sistem, baik untuk pengoperasian manual menggunakan tombol fisik maupun otomatis melalui aplikasi IoT (Blynk).



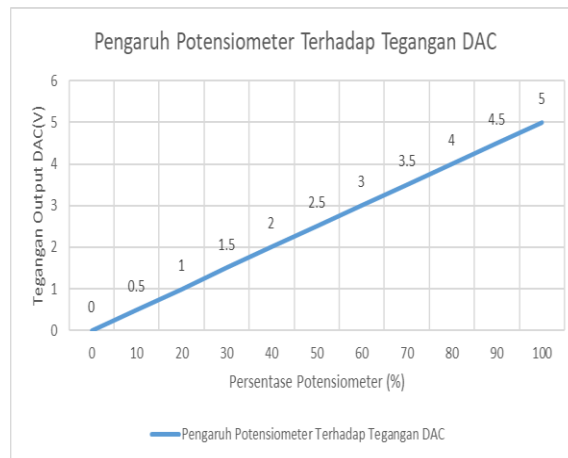
Gambar 6. Implementasi Hardware Sistem Kendali Elektrik

##### Pengaruh Potensiometer Terhadap Tegangan Output DAC MCP4725

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara perubahan nilai input dari potensiometer dengan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh modul DAC MCP4725. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1 dan divisualisasikan dalam Gambar 7.

Tabel 1. Pengaruh Potensiometer Terhadap Tegangan DAC

No	Persentase Potensiometer (%)	Tegangan Output DAC (V)
1	0	0
2	10	0.5
3	20	1
4	30	1.5
5	40	2
6	50	2.5
7	60	3
8	70	3.5
9	80	4
10	90	4.5
11	100	5



Gambar 7. Pengaruh potensiometer terhadap output

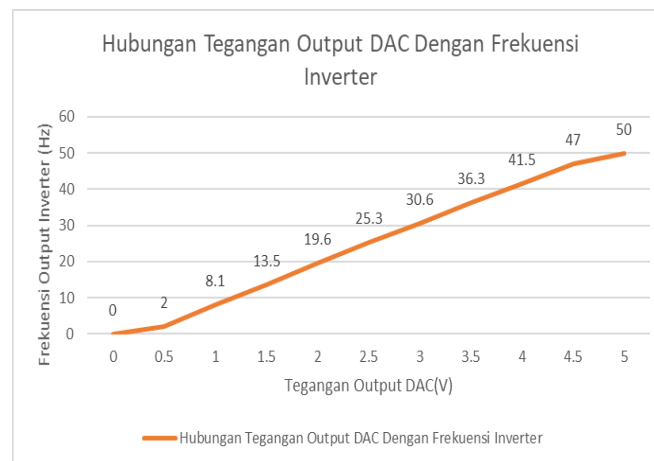
Dari grafik di Gambar 7 terlihat bahwa tegangan keluaran DAC meningkat secara linier terhadap kenaikan persentase putaran potensiometer. Ketika potensiometer berada pada posisi 0%, tegangan keluaran bernilai 0 V, dan meningkat secara bertahap hingga mencapai 5 V pada posisi 100%. Pola hubungan ini menunjukkan bahwa sistem konversi sinyal analog pada DAC bekerja dengan baik, di mana setiap perubahan kecil pada input potensiometer diterjemahkan secara proporsional menjadi perubahan tegangan keluaran. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa respon DAC MCP4725 terhadap potensiometer bersifat linier dan stabil, sehingga layak digunakan sebagai penghasil sinyal kendali untuk inverter.

**Hubungan Tegangan Output DAC Terhadap Frekuensi Inverter**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara besar tegangan keluaran dari DAC MCP4725 terhadap frekuensi keluaran inverter SHZK AT2. Tegangan yang dihasilkan DAC merupakan sinyal referensi yang menentukan nilai frekuensi kerja inverter, sehingga perubahan kecil pada tegangan akan memengaruhi kecepatan putaran motor induksi. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2 dan divisualisasikan dalam grafik berikut.

Tabel 2. Hubungan Tegangan Output DAC Dengan Frekuensi Inverter

No	Tegangan DAC (V)	Frekuensi Output Inverter (Hz)
1	0.0	0
2	0.5	2
3	1.0	8.1
4	1.5	13.5
5	2.0	19.6
6	2.5	25.3
7	3.0	30.6
8	3.5	36.3
9	4.0	41.5
10	4.5	47.0
11	5.0	50



Gambar 8. Pengaruh tegangan output terhadap frekuensi inverter

Dari grafik di Gambar 8 terlihat bahwa peningkatan tegangan output DAC menghasilkan kenaikan frekuensi inverter yang bersifat hampir linier. Pada tegangan 0 V, inverter tidak menghasilkan frekuensi (motor berhenti), dan saat tegangan mencapai 5 V, frekuensi keluaran mencapai nilai maksimum yaitu 50 Hz. Kenaikan frekuensi ini menunjukkan bahwa inverter merespons sinyal analog dari DAC secara proporsional, di mana setiap kenaikan 1 V pada tegangan referensi menghasilkan peningkatan frekuensi sekitar 10 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi antara ESP32, DAC MCP4725, dan inverter berjalan dengan baik dan stabil tanpa adanya gangguan tegangan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sinyal keluaran DAC mampu mengatur frekuensi inverter secara efektif dan akurat, yang berarti sistem sesuai untuk digunakan sebagai kendali kecepatan motor induksi berbasis IoT.

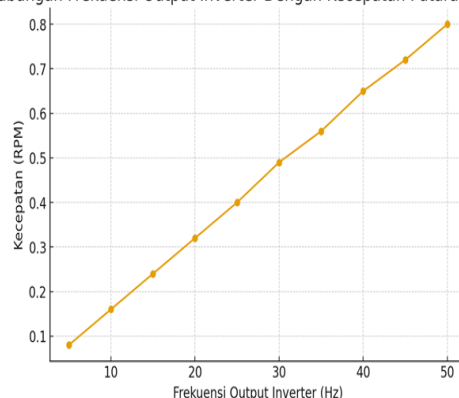
#### Hubungan Frekuensi Inverter Terhadap Kecepatan Putaran Dinding

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara frekuensi output inverter terhadap kecepatan putaran dinding pada sistem *indoor wall climbing*. Frekuensi inverter merupakan variabel utama yang mengatur kecepatan putaran motor induksi, sehingga perubahan frekuensi secara langsung memengaruhi kecepatan rotasi mekanis dinding. Untuk memperoleh data yang akurat, pengukuran dilakukan dengan cara mencatat waktu yang dibutuhkan dinding untuk melakukan satu putaran penuh pada setiap nilai frekuensi yang diberikan. Dari nilai waktu putaran tersebut kemudian dihitung kecepatan dalam satuan revolutions per minute (RPM). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem inverter dan motor bekerja secara linier serta mampu merespons perubahan frekuensi dengan stabil sesuai kebutuhan sistem kendali berbasis IoT.

Tabel 3. Hubungan Frekuensi Inverter Terhadap Kecepatan Putaran Dinding

No	Frekuensi Output Inverter (Hz)	Waktu Untuk Satu Putaran (s)	Kecepatan (RPM)
1	50	75	0.80
2	45	83	0.72
3	40	92	0.65
4	35	107	0.56
5	30	123	0.49
6	25	150	0.40
7	20	188	0.32
8	15	254	0.24
9	10	380	0.16
10	5	735	0.08

Hubungan Frekuensi Output Inverter Dengan Kecepatan Putaran Dinding



Gambar 9. Hubungan output inverter terhadap kecepatan putaran

Berdasarkan data pada Tabel 3, terlihat bahwa perubahan frekuensi inverter memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan putaran dinding. Pada frekuensi tertinggi, yaitu 50 Hz, dinding mampu menyelesaikan satu putaran dalam waktu 75 detik dengan kecepatan sebesar 0,80 RPM. Sementara itu, ketika frekuensi diturunkan hingga 5 Hz, waktu satu putaran meningkat drastis menjadi 735 detik dengan kecepatan hanya 0,08 RPM. Perbedaan yang cukup besar ini menunjukkan adanya hubungan linier antara frekuensi dan kecepatan putaran dinding: semakin tinggi frekuensi yang diberikan, maka semakin cepat pula dinding berputar.

Hubungan linier ini sesuai dengan karakteristik motor induksi satu fasa dapat dilihat pada Gambar 9, dimana kecepatan sinkron motor berbanding lurus dengan frekuensi suplai yang diberikan inverter. Artinya, setiap kenaikan frekuensi akan meningkatkan medan putar motor sehingga menghasilkan putaran mekanis yang lebih tinggi. Dari hasil pengujian, motor menunjukkan respons yang stabil pada seluruh rentang frekuensi (5–50 Hz) tanpa adanya lonjakan atau penurunan kecepatan yang tidak wajar. Hal ini membuktikan bahwa inverter Yuanshin V9 mampu mengonversi sinyal referensi analog dari DAC MCP4725 dengan akurat dan konsisten.

Selain itu, nilai RPM yang dihasilkan juga menunjukkan bahwa sistem dinding panjang bekerja dalam kondisi aman untuk digunakan. Pada frekuensi tinggi sekalipun, kecepatan dinding masih berada dalam batas yang dapat dikendalikan dan tidak menimbulkan resiko gerakan berbahaya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa frekuensi inverter memiliki pengaruh langsung terhadap kecepatan putaran dinding, dan sistem kendali yang dirancang telah mampu memberikan kontrol kecepatan yang akurat, stabil, dan responsif sesuai dengan perubahan nilai frekuensi yang diterapkan.

### Perbandingan Input Potensiometer dan IoT (Blynk)

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan akurasi sinyal tegangan yang dihasilkan dari dua metode input pengaturan kecepatan, yaitu input manual menggunakan potensiometer dan input berbasis *Internet of Things* (IoT) melalui aplikasi Blynk. Kedua metode tersebut sama-sama menghasilkan nilai tegangan referensi melalui DAC MCP4725 yang kemudian digunakan oleh inverter untuk mengatur frekuensi motor. Oleh karena itu, kesesuaian nilai tegangan antara potensiometer dan IoT menjadi hal yang sangat penting agar sistem kontrol dapat beroperasi secara konsisten baik ketika dijalankan secara manual maupun melalui kendali jarak jauh. Tabel 4 memperlihatkan pengujian dilakukan dengan membandingkan *tegangan* output DAC pada setiap nilai setpoint, kemudian menghitung selisih tegangan untuk menilai tingkat akurasi masing-masing metode.

Tabel 4. Perbandingan Input Potensiometer Dengan IoT

No	Setpoint (%)	Tegangan DAC Potensiometer (V)	Tegangan DAC IoT (V)	Selisih (V)
1	0	0.027	0.025	0.002
2	10	0.502	0.501	0.001
3	20	1.03	1.001	0.029
4	30	1.503	1.507	- 0.004
5	40	2.008	2.006	0.002
6	50	2.516	2.509	0.007
7	60	3.009	3.009	0
8	70	3.518	3.511	0.007
9	80	4.013	4.013	0
10	90	4.566	4.513	0.053
11	100	4.998	4.998	0

Berdasarkan data pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai tegangan DAC yang dihasilkan oleh potensiometer dan IoT menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi pada setiap nilai setpoint. Selisih tegangan pada seluruh pengujian berada pada rentang 0.000–0.053 volt, yang merupakan nilai sangat kecil dan tidak signifikan terhadap kinerja sistem inverter dalam menghasilkan frekuensi motor. Selisih terbesar terjadi pada setpoint 90%, yaitu sebesar 0.053 V, namun nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi DAC MCP4725 yang memiliki resolusi 12-bit dengan ketelitian sekitar 1–2 mV per langkah.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa baik input potensiometer maupun input IoT mampu memberikan sinyal referensi yang stabil dan konsisten. Hal ini membuktikan bahwa integrasi antara ESP32, DAC, potensiometer, dan aplikasi Blynk telah berfungsi dengan baik. Tidak terdapat anomali yang menandakan distorsi sinyal, drift tegangan, atau ketidakstabilan pembacaan pada salah satu metode input. Pada beberapa setpoint, seperti 60%, 80%, dan 100%, nilai tegangan potensiometer dan IoT bahkan identik, menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan output yang presisi pada kondisi tertentu.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kendali manual melalui potensiometer dan kendali jarak jauh melalui IoT memiliki performa yang setara dalam menghasilkan tegangan referensi untuk inverter. Hal ini memberikan fleksibilitas sistem dalam operasional *indoor wall climbing*, karena pengguna dapat memilih mode kontrol yang paling sesuai tanpa khawatir akan terjadinya perbedaan signifikan dalam respons kecepatan motor. Hasil ini juga mendukung keberhasilan perancangan sistem kendali hybrid (manual dan IoT) yang stabil, akurat, dan dapat diandalkan.

### Pengaturan Frekuensi Output Inverter Secara Linier Berdasarkan Input Sistem

Pengaturan frekuensi inverter secara linier merupakan aspek penting untuk memastikan kecepatan motor induksi dapat mengikuti perintah pengguna dengan stabil dan presisi. Dalam penelitian ini, mekanisme linearitas dicapai melalui integrasi antara mikrokontroler ESP32,

modul DAC MCP4725, dan inverter SHZK AT2.

Pada mekanisme konversi input menjadi tegangan referensi, didapatkan input kecepatan berasal dari potensiometer (mode manual) atau aplikasi Blynk (mode IoT). ESP32 membaca input tersebut dan mengubahnya menjadi nilai digital yang kemudian dikonversi oleh DAC MCP4725 menjadi tegangan analog 0–5 V. Hasil pengujian pada Tabel IV.1 menunjukkan bahwa output DAC memiliki hubungan linier dengan posisi potensiometer, misalnya 50% menghasilkan 2.5 V dan 100% menghasilkan 5 V. Hal ini memastikan sinyal referensi yang bersih dan stabil sebelum masuk ke inverter.

Sementara itu, Pemetaan Tegangan DAC ke Frekuensi Inverter memetakan tegangan 0–5 V menjadi frekuensi 0–50 Hz dengan rasio  $1 \text{ V} = 10 \text{ Hz}$  menggunakan Inverter SHZK AT2. Data pada Tabel IV.2 menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 volt pada input DAC menghasilkan kenaikan 10 Hz pada frekuensi keluaran inverter, sehingga hubungan keduanya bersifat sangat linier. Linearitas ini penting untuk mencegah perubahan mendadak pada kecepatan motor yang dapat membahayakan pengguna wall climbing.

Untuk validasi linearitas melalui pengujian, membuktikan bahwa frekuensi inverter yang berubah secara linier juga menghasilkan perubahan kecepatan putaran dinding yang linier. Dengan demikian, seluruh rantai: Input pengguna → Tegangan DAC → Frekuensi inverter → Kecepatan motor terbukti bekerja secara linier dan konsisten. Hubungan linier ini sesuai dengan teori dasar motor induksi, di mana kecepatan putaran berbanding lurus dengan frekuensi suplai. Selama inverter menghasilkan frekuensi yang akurat, motor akan memberikan putaran yang stabil dan proporsional.

## V. KESIMPULAN

Integrasi kontrol manual berupa potensiometer dan tombol Start/Stop berhasil dilakukan melalui ESP32. Potensiometer mampu memberikan input analog yang stabil sebagai pengatur kecepatan, sedangkan tombol fisik memberikan kendali start/stop yang responsif sehingga sistem dapat dioperasikan secara aman pada mode manual. Selain itu, integrasi IoT melalui aplikasi Blynk berhasil berfungsi sebagai kendali jarak jauh, memungkinkan pengaturan kecepatan dan start/stop secara real-time. Sistem dapat berpindah otomatis dari mode manual ke mode IoT ketika menerima perintah dari aplikasi, sehingga fleksibilitas dan kemudahan penggunaan meningkat. Sistem juga berhasil mengatur frekuensi output inverter secara linier sesuai input. Tegangan analog 0–5 V dari DAC MCP4725 terbukti menghasilkan frekuensi 0–50 Hz secara proporsional, sehingga kecepatan motor induksi dan putaran dinding wall climbing meningkat secara halus dan konsisten tanpa lonjakan. Pengembangan selanjutnya dapat mengimplementasikan efisiensi kontrol untuk optimasi energi dan manajemen daya.

## VI. REFERENSI

- Abraham, S., Beard, J., & Manijacob, R. (2017, October). Remote environmental monitoring using Internet of Things (IoT). In *2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Cvitić, I., Peraković, D., Periša, M., Jevremović, A., & Shalaginov, A. (2023). An overview of smart home iot trends and related cybersecurity challenges. *Mobile Networks and Applications*, 28(4), 1334-1348.
- Gausemeier, J., & Moehringer, S. (2003). New guideline vdi 2206-a flexible procedure model for the design of mechatronic systems. In *DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm*.
- Graessler, I., & Hentze, J. (2020). The new V-Model of VDI 2206 and its validation. *at-Automatisierungstechnik*, 68(5), 312-324.
- Kotha, H. D., & Gupta, V. M. (2018). IoT application: a survey. *Int. J. Eng. Technol*, 7(2.7), 891-896

- 
- Kudělka, J., Fryč, J., Slaný, V., Rouš, R., Raj, A., & Martínek, R. (2021). Parameters setting of Frequency Converter PI regulation to ensure the vacuum of the milking process. *PLoS one*, *16*(7), e0253427.
- Siradjuddin, I., Permatasari, D. A., Wahono, W. T., & Albastomi, A. Y. (2024). Perancangan Prototype Monitoring dan Akuisi Data Pengujian Noise Trafo Berbasis ESP32. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, *11*(3), 196-200.
- Wulandari, I. Y., Silalahi, L. M., Indroasyoko, N., Ema, E., & Muhtar, M. (2021). Studi literatur review: Integrasi kurikulum pembelajaran cerdas biosensor menggunakan teknologi internet of things. *Jurnal Tiarsie*, *18*(3), 97-102.