



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**SISTEM KONTROL DAN MONITORING *SHAKING TABLE*
BERDASARKAN PERCEPATAN GEMPA BERBASIS *LABVIEW***

SKRIPSI

Adil Mustaghfir
2103431024
**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL

INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2025



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**SISTEM KONTROL DAN MONITORING *SHAKING TABLE*
BERDASARKAN PERCEPATAN GEMPA BERBASIS *LABVIEW***

Sub Judul:

**Implementasi Sistem Kendali PID pada *Shaking table* untuk Simulasi
Gempa Berbasis Mikrokontroler dan *LabVIEW*.**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana
terapan**

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Adil Mustaghfir

2103431024

PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL

INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2025



HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Adil Mustaghfir

NIM : 2103431024

Tanda Tangan : 

Tanggal : 21 Juni 2025

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI**

Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Adil Mustaghfir
NIM : 2103431024
Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Sistem Kontrol dan Monitoring Shaking table
berdasarkan Percepatan Gempa Bumi Berbasis
LabVIEW

Telah diuji oleh tim penguji dalam sidang tugas akhir pada hari Rabu, 25 Juni 2025
dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing : Hariyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 199101282020121008

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 4 Juli 2025

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T.

NIP 197803312003122002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas selesainya skripsi ini yang dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Terapan Politeknik. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal mulainya penyusunan skripsi sampai akhir sangatlah sulit untuk menyelesaikan skripsi, dengan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr., Murie Dwiyaniti, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta;
2. Sulis Setiowati, S.T., M.T., selaku kepala program studi Instrumentasi dan Kontrol Industri;
3. Hariyanto, S.Pd., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini hingga selesai;
4. Fatih Rizqi Santoso selaku teman satu kelompok selama penelitian yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan berupa moral dan material;
6. Sahabat dan rekan-rekan IKI21 yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan semua pihak yang terlibat dan membantu penulis sampai menyelesaikan skripsi. Semoga laporan ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 19 Juni 2025

Adil Mustaghfir

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Implementasi Sistem Kendali PID pada *Shaking table* untuk Simulasi Gempa
Berbasis Mikrokontroler dan *LabVIEW*.

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang paling rentan terhadap aktivitas seismik, sehingga dibutuhkan sistem pengujian yang andal untuk mengevaluasi performa struktur bangunan terhadap beban gempa. Penelitian ini mengembangkan dan merealisasikan sistem *Shaking table* satu sumbu yang dikendalikan menggunakan metode kontrol *Proportional-Integral-Derivative (PID)* berbasis mikrokontroler *ESP32*. Platform *LabVIEW* digunakan sebagai antarmuka utama untuk monitoring dan pengolahan data secara waktu nyata. Sistem ini mampu mereplikasi profil percepatan gempa dengan mengubah sinyal masukan menjadi gerakan fisik menggunakan motor DC yang dikendalikan melalui driver *BTS7960*. Umpan balik diberikan oleh sensor akselerometer *ADXL345* yang secara kontinu membaca percepatan keluaran, serta sensor ultrasonik tambahan digunakan untuk mengamati perpindahan struktur model uji. Model matematis sistem diperoleh melalui pengujian *open-loop* dan identifikasi sistem menggunakan *MATLAB*, yang menunjukkan bahwa sistem bersifat stabil namun relatif lambat, dengan waktu naik (*rise time*) sebesar 54,5 detik dan waktu mantap (*settling time*) sebesar 96 detik. Pengujian *closed-loop* dilakukan menggunakan metode *trial and error* untuk menentukan parameter *PID* yang optimal. Berdasarkan hasil pengujian terhadap dua dataset gempa nyata, konfigurasi terbaik diperoleh pada parameter $K_c = 8$, $T_i = 1$, dan $T_d = 3$, yang menghasilkan performa terbaik dengan *error steady-state* di bawah 0,0005 dan *Root Mean Square Error (RMSE)* di bawah 0,075. Secara keseluruhan, sistem ini efektif untuk mensimulasikan gerakan gempa secara realistis dan cocok digunakan untuk studi eksperimental berskala kecil di bidang teknik struktur dan mitigasi bencana.

Kata kunci: *ADXL345, ESP32, LabVIEW, PID, Shaking table.*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

*Implementation of a PID Control System on a Shaking table for Earthquake
Simulation Based on Microcontroller and LabVIEW*

ABSTRACT

Indonesia is one of the most seismically active countries, requiring a reliable testing system to evaluate the structural performance of buildings under earthquake loads. This study develops and implements a single-axis shaking table system controlled using a Proportional-Integral-Derivative (PID) method based on the ESP32 microcontroller. LabVIEW serves as the main interface for real-time monitoring and data processing. The system replicates earthquake acceleration profiles by converting input signals into physical motion using a DC motor driven by a BTS7960 module. Feedback is provided by the ADXL345 accelerometer for continuous acceleration readings, and an additional ultrasonic sensor is used to monitor structural displacement of the test model. The system's mathematical model was obtained through open-loop testing and system identification using MATLAB, showing that the system is stable but relatively slow, with a rise time of 54.5 seconds and a settling time of 96 seconds. Closed-loop testing was conducted using trial-and-error PID tuning on two real earthquake datasets. The best performance was achieved with parameters $K_c = 8$, $T_i = 1$, and $T_d = 3$, resulting in a steady-state error below 0.0005 and a Root Mean Square Error (RMSE) below 0.075. Overall, the developed system effectively simulates earthquake motions and is well-suited for small-scale experimental studies in structural engineering and disaster mitigation.

Keywords: ADXL345, ESP32, LabVIEW, PID, Shaking table.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Luaran	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 State of The Art.....	4
2.2 Shaking table	5
2.3 Linear Guide	6
2.4 Percepatan gempa bumi	7
2.5 Sistem Kontrol Proporsional Integral Derivative (PID).....	8
2.6 LabVIEW.....	9
2.7 Modul Motor driver BTS7960	10
2.8 Deformasi.....	11
2.9 Akselerometer ADXL345	12
2.10 Sensor Ultrasonic	13
2.11 ESP32.....	15
2.12 Motor DC	15
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....	17
3.1 Perancangan Sistem	17
3.1.1 Deskripsi Sistem	17
3.1.2 Cara Kerja Alat.....	19
3.1.3 Spesifikasi Sistem	20
3.1.4 Blok Diagram Sistem	23
3.1.5 Diagram Sub-Sistem Kontrol.....	24
3.1.6 Cara Kerja Sub-Sistem Kontrol	25
3.2 Realisasi Alat.....	26
3.2.1 Realisasi Hardware.....	26
3.2.2 Realisasi Perangkat lunak	29
BAB IV PEMBAHASAN.....	38
4.1 Pengujian Respon Sistem Open Loop Untuk Mencari Model Matematika	38
4.1.1 Deskripsi Pengujian	38
4.1.2 Daftar Peralatan Pengujian.....	39
4.1.3 Prosedur Pengujian	40

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.4	Data Hasil Pengujian.....	40
4.1.5	Analisa Transfer function Hasil Pengujian	41
4.2	Pengujian Kontrol PID dengan Metode Tuning Trial and <i>Error</i>	46
4.2.1	Deskripsi Pengujian	46
4.2.2	Daftar Peralatan Pengujian.....	46
4.2.3	Prosedur Pengujian	47
4.2.4	Data Hasil Pengujian.....	48
4.2.5	Analisis Data Pengujian Perbandingan antar Nilai Parameter PID	
	54	
BAB V PENUTUP		58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....		59
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		62
LAMPIRAN.....		63



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel State of The Art.....	4
Tabel 2. 2 Tabel spesifikasi linear guide	7
Tabel 2. 3 Tabel pinout sensor ADXL345	13
Tabel 2. 4 Tabel spesifikasi pinout sensor ultrasonic maxbotix MB1010.....	14
Tabel 3. 1 Tabel spesifikasi bahan fisik.....	20
Tabel 3. 2 Tabel perangkat keras	21
Tabel 3. 3 Tabel spesifikasi Perangkat lunak	23
Tabel 4. 1 Tabel peralatan pengujian.....	39
Tabel 4. 2 Tabel data hasil pengujian 8Hz	40
Tabel 4. 3 Tabel parameter respon sistem dengan domain waktu.....	42
Tabel 4. 4 Tabel parameter respon sistem dengan domain frekuensi.....	43
Tabel 4. 5 Tabel peralatan pengujian.....	46
Tabel 4. 6 Tabel hubungan parameter PID terhadap parameter domain waktu	48
Tabel 4. 7 Tabel parameter hasil pengujian PID $K_c=6$, $T_i=1$, dan $T_d=5$ data pertama	55
Tabel 4. 8 Tabel parameter hasil pengujian PID $K_c=6$, $T_i=1$, dan $T_d=5$ data kedua	55
Tabel 4. 9 Tabel parameter hasil pengujian PID $K_c=6.5$, $T_i=1$, dan $T_d=5$ data pertama.....	56
Tabel 4. 10 Tabel parameter hasil pengujian PID $K_c=6.5$, $T_i=1$, dan $T_d=5$ data kedua	56
Tabel 4. 11 Tabel parameter hasil pengujian PID $K_c=8$, $T_i=1$, dan $T_d=3$ data pertama.....	57
Tabel 4. 12 Tabel parameter hasil pengujian PID $K_c=8$, $T_i=1$, dan $T_d=3$ data kedua	57

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Linear guide.....	7
Gambar 2. 2 Pinout sensor ADXL345	12
Gambar 2. 3 Pinout sensor ultrasonic Maxbotix MB1010.....	14
Gambar 3. 1 Flowchart cara kerja sistem.....	19
Gambar 3. 2 Blok diagram sistem.....	23
Gambar 3. 3 Blok diagram sub-sistem.....	24
Gambar 3. 4 Flowchart cara kerja sub-sistem.....	25
Gambar 3. 5 Desain 3D alat Shaking table	27
Gambar 3. 6 Desain tata letak alat Shaking table.....	27
Gambar 3. 7 Wiring diagram alat Shaking table.....	28
Gambar 3. 8 Program inisiasi pin, library, dan variabel.....	29
Gambar 3. 9 Program fungsi setup.....	30
Gambar 3. 10 Program fungsi loop.....	31
Gambar 3. 11 Program fungsi readSerialNonBlocking	31
Gambar 3. 12 Program fungsi processData.....	32
Gambar 3. 13 Program fungsi updateMotor dan fungsi sendSensorData.....	33
Gambar 3. 14 Tampilan Front Panel pada LabVIEW	34
Gambar 3. 15 Blok diagram komunikasi serial dengan Visa	35
Gambar 3. 16 Blok diagram read data dari ESP32	35
Gambar 3. 17 Blok diagram write data ke ESP32	36
Gambar 3. 18 Blok diagram untuk membuka file gempa dalam kondisi “true” ...	36
Gambar 3. 19 Blok diagram untuk membuka file gempa dalam kondisi “false” .	37
Gambar 3. 20 Blok diagram untuk read data gempa.....	37
Gambar 4. 1 Grafik respon sistem open-loop dengan domain waktu.....	42
Gambar 4. 2 Grafik Respon sistem dengan domain frekuensi.....	43
Gambar 4. 3 Pole-Zero map transfer function open-loop	44
Gambar 4. 4 Pole-Zero map transfer function open-loop (Zoom In).....	45
Gambar 4. 5 Grafik cuplik $K_c = 6$, $T_i = 1$, $T_d = 5$ data pertama pada labview ...	48
Gambar 4. 6 Grafik cuplik pengujian $K_c=6$, $T_i=1$, dan $T_d=5$ pada excel data pertama.....	49
Gambar 4. 7 Grafik cuplik $K_c = 6$, $T_i = 1$, $T_d = 5$ data kedua pada labview	49
Gambar 4. 8 Grafik cuplik pengujian $K_c=6$, $T_i=1$, dan $T_d=5$ pada excel data kedua	49
Gambar 4. 9 Grafik cuplik $K_c = 6.5$, $T_i = 1$, $T_d = 5$ data pertama pada labview .	50
Gambar 4. 10 Grafik cuplik pengujian $K_c=6.5$, $T_i=1$, dan $T_d=5$ pada excel data pertama.....	51
Gambar 4. 11 Grafik cuplik $K_c = 6.5$, $T_i = 1$, $T_d = 5$ data kedua pada labview ...	51
Gambar 4. 12 Grafik cuplik pengujian $K_c=6.5$, $T_i=1$, dan $T_d=5$ pada excel data kedua	52
Gambar 4. 13 Grafik cuplik $K_c = 8$, $T_i = 1$, $T_d = 3$ data pertama pada labview ..	52
Gambar 4. 14 Grafik cuplik pengujian $K_c=8$, $T_i=1$, dan $T_d=3$ pada excel data pertama.....	53
Gambar 4. 15 Grafik cuplik $K_c = 8$, $T_i = 1$, $T_d = 3$ data kedua pada labview	53
Gambar 4. 16 Grafik cuplik pengujian $K_c=8$, $T_i=1$, dan $T_d=3$ pada excel data kedua	54



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Kriteria zero-pole map	63
Lampiran 2 Keseluruhan data pada pengujian sistem	63
Lampiran 3 Dokumentasi pengujian alat.....	69
Lampiran 4 Script matlab	70
Lampiran 5 Full Program Arduino IDE	74



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang paling rawan terhadap bencana alam, terutama gempa bumi. Hal ini disebabkan oleh posisi geografisnya yang terletak pada jalur Cincin Api Pasifik, dimana terdapat banyak aktivitas vulkanik dan pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara, Lempeng Eurasia yang bergerak ke selatan, dan Lempeng Pasifik yang bergerak ke barat (Hall, 2002). Interaksi lempeng-lempeng ini menghasilkan zona subduksi aktif yang sering memicu gempa bumi dengan magnitudo yang signifikan.

Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Indonesia mencatat lebih dari 7.000 gempa bumi setiap tahun, dengan beberapa di antaranya memiliki kekuatan yang merusak infrastruktur dan menyebabkan korban jiwa (Larasati, 2024). Gempa bumi Aceh tahun 2004, dengan magnitudo 9,1, merupakan salah satu bencana paling dahsyat dalam sejarah modern, menewaskan lebih dari 230.000 orang dan menyebabkan kerugian ekonomi yang mencapai miliaran dolar AS (*Indonesians Mark 2 Decades since the Tsunami That Killed 230,000*, 2024). Peristiwa serupa juga terjadi pada gempa Yogyakarta tahun 2006, gempa Lombok tahun 2018, dan gempa Palu tahun 2018, yang menimbulkan kerusakan parah pada bangunan serta infrastruktur publik (Tisnadibrata, 2018).

Dampak yang dihasilkan dari gempa bumi ini tidak hanya meliputi kerugian materiil, tetapi juga berpengaruh terhadap psikologis masyarakat yang terdampak serta stabilitas ekonomi daerah tersebut. Oleh karena itu, upaya mitigasi risiko gempa bumi menjadi hal yang sangat penting, terutama di bidang konstruksi dan infrastruktur. Salah satu strategi mitigasi adalah pengembangan teknologi yang dapat menguji ketahanan struktur bangunan terhadap gempa bumi, seperti penggunaan alat *Shaking table*.

Shaking table merupakan alat yang dirancang untuk mensimulasikan gerakan tanah akibat gempa. Alat ini digunakan untuk menguji performa struktur bangunan atau komponen lainnya dalam menghadapi beban dinamis. Dengan memanfaatkan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

data gempa yang telah direkam, *Shaking table* mampu mereplikasi gerakan tanah secara realistis, sehingga peneliti dapat menganalisis respons struktur seperti deformasi, retak, hingga kemungkinan keruntuhan (Chopra, 1995).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang sebelumnya maka dapat dirumuskan beberapa masalah pada penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang dan membuat sistem yang dapat membuat *Shaking table* bergerak sesuai dengan percepatan gempa bumi?
2. Bagaimana karakteristik respon *Shaking table* terhadap variasi frekuensi gelombang gempa bumi?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, terbentuk tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Merancang dan membuat sistem yang dapat membuat *Shaking table* bergerak sesuai dengan percepatan gempa bumi
2. Memahami karakteristik respon *Shaking table* terhadap variasi frekuensi gelombang gempa bumi

1.4 Luaran

Luaran dari penelitian sebagai skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Laporan Skripsi
2. Publikasi draft Artikel Ilmiah

1.5 Batasan Masalah

Dalam penyusunan penelitian ini, terdapat batasan masalah agar pembahasan lebih fokus dan terarah. Batasan tersebut yaitu:

1. Sistem *shaking table* hanya bergerak dalam satu axis secara horizontal menggunakan linear guide.
2. Kontrol yang digunakan merupakan kontrol PID dengan menggunakan metode trial and error.

3. Sensor yang digunakan adalah ADXL345 yang hanya mendeteksi percepatan dalam satuan (m/s^2) bukan mendeteksi posisi atau kecepatan.
4. Data gempa yang digunakan hanya dua data yang didapatkan dari aplikasi Seismomatch untuk proses tuning PID dan performa sistem.
5. Model matematis sistem diperoleh hanya melalui identifikasi sistem menggunakan *matlab* secara *open-loop* dengan data yang didapatkan melalui *LabVIEW*.
6. Proses trial and error hanya dilakukan berdasarkan dua data gempa yang telah dipilih, sehingga parameter PID yang diperoleh tidak dijamin optimal untuk semua variasi profil gempa.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem Shaking Table berhasil dirancang dan dibuat dengan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor percepatan ADXL345, dan perangkat lunak *LabVIEW*. Sistem ini mampu menggerakkan *Shaking Table* sesuai dengan masukkan percepatan gempa bumi yang diberikan,
2. Konfigurasi PID dengan parameter $K_c = 8$, $T_i = 1$, dan $T_d = 3$ memberikan performa terbaik dalam pengujian dibanding dengan konfigurasi PID yang lain, ditunjukkan oleh nilai *steady-state error* di bawah 0,0005 dan RMSE di bawah 0,075.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada alat *Shaking table* menggunakan masukkan percepatan gempa, terdapat beberapa saran yaitu:

1. Dalam pengujian alat terlihat bahwa penggunaan sensor ADXL345 ini kurang sensitif dalam pembacaan nilai akselerasi dibawah 0.01 m/s^2 . Perlu dilakukannya kalibrasi terhadap sensor dengan perangkat yang mendeteksi akselerasi dengan rentang pengukuran yang lebih sensitif atau dengan menggunakan sensor akselerasi dengan rentang pengukuran yang lebih sensitif.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Analisis Deformasi Struktur Bangunan*. (2023). Teknik Sipil Universitas Medan Area. <https://sipil.uma.ac.id/analisis-deformasi-struktur-bangunan/>
- Anthoinete P.Y.Waroh. (2014). Analisa dan simulasi sistem pengendali motor dc. *Jurnal Ilmiah Sains*, 14(2), 80.
- Astrom, K. J., & Hägglund, T. (2006). Advanced PID control. *IEEE Control Systems*, 26(1), 98–101. <https://doi.org/10.1109/MCS.2006.1580160>
- Badan Standardisasi Nasional (b). (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. *Sni 1726:2019*, 8, 254.
- Boore, D. M., Joyner, W. B., & Fumal, T. E. (1997). Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work. *Seismological Research Letters*, 68(1), 128–153. <https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.128>
- Buang, M. (2023). Pemodelan Dan Pengendalian Motor Dc Type Dripproof-Separately Ventylated Dengan Tegangan Jangkar. *Insta Adpertisi Journal*, 3(1), 12–24. <https://doi.org/10.62728/jnsta.v3i1.390>
- Chopra, A. K. (1995). Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering. In *Choice Reviews Online* (Vol. 33, Issue 02). <https://doi.org/10.5860/choice.33-0948>
- Devices, A. (2022). *ADXL345 (Rev. G)*. 1–36.
- ESP32 Series. (n.d.). In *Espressif*.
- Ferdinando, H. (2019). Desain PID Controller Dengan Software MatLab. *Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro*, 1–8.
- Gergič, B., & Hercog, D. (2024). An Effective Concept for Teaching LabVIEW Programming to Engineering Students. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/app14188506>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hadiputranto, R. (2007). Pemilihan Linear Motion Guide Aksis Y Untuk Vertikal Machining Center. *Transmisi, III*, 317–325.

Hall, R. (2002). Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer-based reconstructions, model and animations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(4), 353–431. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(01\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(01)00069-4)

Horiuchi, T., Ohsaki, M., Kurata, M., Ramirez, J. A., Yamashita, T., & Kajiwar, K. (2022). Contributions of E-Defense Shaking Table to Earthquake Engineering and its Future. *Journal of Disaster Research*, 17(6), 985–999. <https://doi.org/10.20965/jdr.2022.p0985>

Indonesians mark 2 decades since the tsunami that killed 230,000. (2024). Voice of America English News. <https://www.voanews.com/a/indonesians-mark-2-decades-since-the-tsunami-that-killed-230-000/7909411.html>

Larasati, S. D. (2024). *Ini jumlah rata-rata banyaknya gempa di Indonesia dalam setahun.* Republika. <https://www.antarane.ws.com/berita/4191750/ini-jumlah-rata-rata-banyaknya-gempa-di-indonesia-dalam-setahun>

Nise, N., Perez, M., Perez, A., Perez, E., Nise, N., Simrock, S., Siddique, N., & Carrillo, A. (2011). Control-Systems-Engineering-Norman-Nise. In *CAS 2007 - CERN Accelerator School: Digital Signal Processing, Proceedings* (Vol. 517, pp. 1–1001). http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA DE CONTROL 1.pdf

Nuryadi, F., Wayan, N., Septiani, P., Lestari, M., & Tanah, P. (2025). *IMPLEMENTASI ESP32 UNTUK SISTEM PEMANTAUAN.* 79–86.

Ogata, K. (2017). Modern control engineering. In *Modern Control Engineering*. <https://doi.org/10.1201/9781315214573>

Prafanto, A., Budiman, E., Widagdo, P. P., Putra, G. M., & Wardhana, R. (2021). Pendeteksi Kehadiran menggunakan ESP32 untuk Sistem Pengunci Pintu Otomatis. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 7(1), 37.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<https://doi.org/10.31884/jtt.v7i1.318>

Prayitno, H., & Rahmawati, E. (2017). Penentuan Efisiensi Motor Dc Menggunakan Mikrokontroler Atmega 328. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 06(3), 128–132.

Ryu, J. (2015). *Frequency Response*. 105. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100613-9.00011-0>

Satria, W. (2021). Kajian Pemodelan Panel Zone Terhadap Deformasi Pada Struktur Srpj Baja. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, 1, 1–12. <http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/509>

Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1970). Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses [Report No. EERC 70-10]. *Earthquake Engineering Reserach Center, December*, 48.

Sensors & Interfaces Software Support. (n.d.).

Serea, E., & Donciu, C. (2023). Shaking Table Design for Testing Earthquake Early Warning Systems. *Designs*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/designs7030072>

Skema Rangkaian Driver Motor DC H-Bridge Menggunakan Transistor. (2024). Elektronik Indo. <https://elektronikindo.com/skema-rangkaian-driver-motor-dc-h-bridge-2/>

Taufik, M., & Ludfi, R. I. (2018). Analisis Penurunan Vertikal Bangunan Bertingkat Kampus Its Sukolilo Menggunakan Metode Terrestrial. *Geoid*, 14(1), 29. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v14i1.3939>

Technologies, I. (2004). *BTS7960 High Current PN Half Brigde Datasheet*.

Tisnadibrata, I. L. (2018). *Death toll from Indonesia's quake and tsunami continues to rise, reaching 832*. Arab News. https://www.arabnews.com/node/1380006/amp?utm_source=chatgpt.com

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

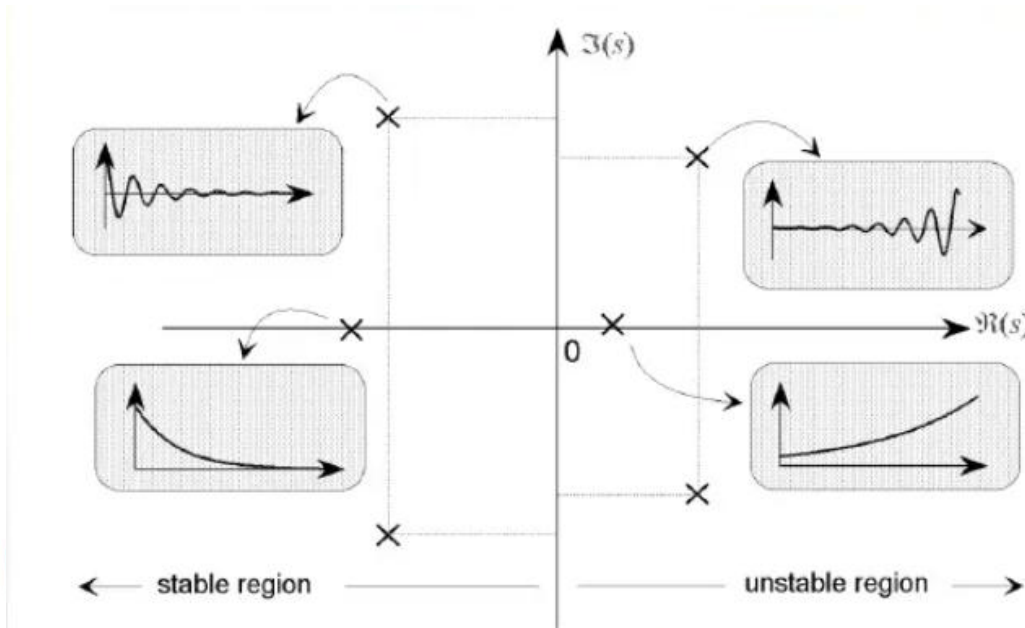


Penulis bernama Adil Mustaghfir, anak terakhir dari empat bersaudara dan lahir di Depok pada tanggal 12 April 2003. Latar belakang pendidikan formal penulis yaitu Sekolah dasar di SDN Cipayang 1 lulus pada tahun 2016. Melanjutkan sekolah ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 19 Depok lulus pada tahun 2018. Kemudian melanjutkan sekolah ke Sekolah Menengah Atas di SMAS Muhammadiyah 2 Beji Timur lulus pada tahun 2021. Setelah itu penulis melanjutkan studi ke jenjang perkuliahan sarjana terapan (S.Tr) di Politeknik Negeri Jakarta Jurusan Teknik Elektro Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri sejak tahun 2021. Penulis dapat dihubungi melalui email adilmustaghfir1@gmail.com

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Kriteria zero-pole map



(Sumber:

https://www.scribd.com/embeds/680030553/content?start_page=1&view_mode=scroll&access_key=key-fFexxf7r1bzEfWu3HKwf)

Lampiran 2 Keseluruhan data pada pengujian sistem

Time	PWM Input	Out Accelerometer
0	0	-0,22
0,012	37,303	-0,22
0,024	91,19	-0,22
0,036	130,528	-0,26
0,048	149,042	1,85
0,06	141,449	5,31
0,072	110,627	3,15
0,084	68,937	3,93
0,096	18,8	-0,3
0,108	-40,943	-3,21
0,12	-94,154	-7,52
0,132	-135,724	-6,81



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

0,144	-149,988	-2,34
0,156	-140,149	-2,74
0,168	-102,682	-4,62
0,18	-51,696	-3,76
0,192	0	-1,13
0,204	65,567	2,17
0,216	108,046	6,13
0,228	137,286	6,33
0,24	149,988	3,62
0,252	141,449	3,34
0,264	105,397	7,03
0,276	55,219	3,5
0,288	3,77	-10,82
0,3	-62,156	-2,07
0,312	-105,397	-3,4
0,324	-138,762	-10,31
0,336	-149,704	-4,54
0,348	-137,286	-3,83
0,36	-108,046	-3,68
0,372	-58,706	-2,77
0,384	0	0,36
0,396	51,696	3,23
0,408	102,682	7,03
0,42	142,658	5,86
0,432	149,42	4,99
0,444	135,724	2,95
0,456	94,154	8,13
0,468	48,142	2,05
0,48	-11,299	-1,6
0,492	-55,219	-2,42



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

0,504	-105,397	-5,01
0,516	-141,449	-6,7
0,528	-148,003	-2,74
0,54	-130,528	-5,76
0,552	-91,19	-3,64
0,564	-29,956	-2,66
0,576	29,956	0,48
0,588	85,09	6,09
0,6	126,649	4,87
0,612	148,003	6,68
0,624	145,745	3,31
0,636	120,235	3,58
0,648	75,543	1,07
0,66	26,253	2,48
0,672	-40,943	-14,11
0,684	-94,154	-4,7
0,696	-132,344	-7,56
0,708	-149,893	-4,97
0,72	-142,658	-5,44
0,732	-108,046	-2,74
0,744	-51,696	-3,76
0,756	7,537	-0,54
0,768	85,09	3,03
0,78	113,138	6,99
0,792	140,149	7,31
0,804	148,569	3,66
0,816	124,589	2,64
0,828	81,959	6,91
0,84	26,253	2,17
0,852	-33,641	-13,48



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

0,864	-94,154	-9,13
0,876	-132,344	-8,11
0,888	-149,42	-10,31
0,9	-142,658	-5,09
0,912	-113,138	-3,13
0,924	-65,567	-3,36
0,936	-7,537	0,76
0,948	44,556	1,97
0,96	102,682	6,64
0,972	140,149	5,7
0,984	149,893	4,52
0,996	132,344	3,07
1,008	81,959	3,74
1,02	33,641	6,17
1,032	-18,8	-0,46
1,044	-68,937	-1,83
1,056	-120,235	-1,79
1,068	-143,778	-7,91
1,08	-149,704	-4,78
1,092	-134,076	-4,5
1,104	-97,058	-4,38
1,116	-44,556	-2,38
1,128	15,054	1,89
1,14	85,09	2,05
1,152	122,451	6,6
1,164	146,59	3,27
1,176	145,745	5,62
...	...	...
40,608	-11,299	0,36
40,62	-68,937	-0,07
40,632	-105,397	-0,22



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

40,644	-135,724	0,09
40,656	-149,893	-0,03
40,668	-140,149	0,01
40,68	-102,682	-0,07
40,692	-58,706	-0,07
40,704	0	-0,07
40,716	51,696	0,05
40,728	102,682	0,05
40,74	140,149	-0,03
40,752	149,42	-0,03
40,764	132,344	-0,03
40,776	88,168	-0,03
40,788	40,943	0,01
40,8	-26,253	-0,03
40,812	-75,543	0,01
40,824	-124,589	-0,03
40,836	-147,343	0,01
40,848	-146,59	-0,03
40,86	-126,649	0,01
40,872	-85,09	0,01
40,884	-22,534	-0,03
40,896	37,303	0,01
40,908	91,19	0,01
40,92	130,528	0,01
40,932	149,042	-0,03
40,944	143,778	0,01
40,956	110,627	0,01
40,968	62,156	-0,03
40,98	-3,77	-0,03
40,992	-62,156	-0,03
41,004	-105,397	0,01
41,016	-141,449	-0,03
41,028	-149,988	-0,03
41,04	-134,076	0,01
41,052	-97,058	-0,03
41,064	-37,303	-0,03
41,076	22,534	0,01
41,088	78,776	-0,03
41,1	122,451	-0,03
41,112	148,003	-0,03
41,124	143,778	0,05
41,136	115,577	-0,07
41,148	75,543	-0,03
41,16	11,299	-0,03
41,172	-48,142	0,01



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

41,184	-105,397	0,01
41,196	-135,724	-0,03
41,208	-149,988	0,01
41,22	-140,149	0,01
41,232	-108,046	-0,03
41,244	-58,706	-0,03
41,256	7,537	-0,07
41,268	58,706	0,01
41,28	108,046	0,01
41,292	140,149	-0,03
41,304	149,893	-0,03
41,316	138,762	0,01
41,328	99,902	-0,03
41,34	40,943	-0,07
41,352	-26,253	-0,03
41,364	-94,154	0,01
41,376	-128,629	0,01
41,388	-148,569	0,01
41,4	-142,658	-0,03
41,412	-113,138	-0,03
41,424	-65,567	0,01
41,436	-7,537	0,01
41,448	65,567	-0,03
41,46	117,943	0,01
41,472	144,807	-0,03
41,484	148,569	0,01
41,496	128,629	0,01
41,508	88,168	-0,03
41,52	40,943	-0,03
41,532	-18,8	-0,03
41,544	-75,543	0,05
41,556	-115,577	0,01
41,568	-141,449	-0,03
41,58	-149,704	0,01
41,592	-134,076	-0,03
41,604	-91,19	-0,03
41,616	-44,556	0,05
41,628	22,534	0,01
41,64	78,776	0,05
41,652	117,943	-0,03
41,664	146,59	-0,03
41,676	145,745	0,01
41,688	120,235	0,01
41,7	81,959	0,01
41,712	26,253	-0,03

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

41,724	-26,253	-0,03
41,736	-75,543	-0,03
41,748	-124,589	0,01
41,76	-149,42	-0,03
41,772	-140,149	0,01
41,784	-108,046	0,01
41,796	-58,706	-0,03
41,808	-7,537	-0,03

Lampiran 3 Dokumentasi pengujian alat



(Sumber: Foto pribadi)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



(Sumber: Foto pribadi)

Lampiran 4 Script *matlab*

1. Script Mencari transfer function orde 2

```
%% === 1, PERSIAPAN DATA ===
clc; clear; close all;

% --- Load Data Eksperimen ---
data = xlsread('E:\Data Adil\Kuliah\Semester 8\Data pengujian\Data
pengujian open loop\data 8 Hz 40 detik.csv');
u = data(:,2);           % Kolom 2 = Masukkan PWM
y = data(:,3);           % Kolom 3 = Keluaran akselerasi

Ts = 0,012;              % Sampling time 12 ms
t = (0:length(u)-1) * Ts;

%% === 2, PLOT DATA UNTUK PENGECEKAN ===
figure;
subplot(2,1,1); plot(t, u, 'LineWidth', 1,2); title('Masukkan PWM
Motor'); ylabel('PWM'); grid on;
subplot(2,1,2); plot(t, y, 'LineWidth', 1,2); title('Keluaran
Akselerasi'); ylabel('m/s^2'); xlabel('Waktu (s)'); grid on;

%% === 3, KONVERSI KE FORMAT IDDATA ===
data_id = iddata(y, u, Ts);

%% === 4, IDENTIFIKASI TRANSFER FUNCTION ORDE 2 ===
nb = 2;      % Orde masukkan (numerator)
na = 2;      % Orde keluaran (denominator)

try
    model = tfest(data_id, nb, na);
    fprintf('=== Transfer Function Orde 2 yang Didapat ===\n');
    disp(model);

    %% === 5, PERBANDINGAN KELUARAN ASLI VS MODEL ===
    figure;
    [~, fit, ~] = compare(data_id, model); % Ambil nilai best fit
    title(sprintf('Perbandingan Keluaran vs Model (Best Fit: %,2f%%',
fit));
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
fprintf('Best Fit: %,2f %%\n', fit);

%% === 6, SIMULASI MANUAL DENGAN LSIM ===
[y_sim, ~] = lsim(model, u, t);

%% === 7, HITUNG ERROR (RMSE dan MSE) ===
rmse = sqrt(mean((y - y_sim).^2));
mse = mean((y - y_sim).^2);
ss_error = abs(y(end) - y_sim(end));

fprintf('RMSE           : %,4f\n', rmse);
fprintf('MSE           : %,4f\n', mse);
fprintf('Steady-state Error : %,4f\n', ss_error);

%% === 8, VISUALISASI SIMULASI MANUAL ===
figure;
plot(t, y, 'b', 'LineWidth', 1,4); hold on;
plot(t, y_sim, 'r--', 'LineWidth', 1,4);
legend('Keluaran Asli', 'Keluaran Model');
xlabel('Waktu (s)'); ylabel('Akselerasi (m/s^2)');
title('Simulasi Manual LSIM vs Data Asli'); grid on;

catch ME
    fprintf('? Gagal mengidentifikasi model:\n%s\n', ME,message);
end

2. Script mencari transfer function close loop

%% === 1, DEFINISI SISTEM OPEN-LOOP ===
clc; clear; close all;

% Numerator dan denominator dari sistem open-loop
num = [0,0407066989965698 0,274182301138749 -0,146445168773228];
den = [1 11,0549093737202 0,444080208706864];

G = tf(num, den); % Transfer function open-loop
disp('=== Transfer Function Open-Loop ===');
G

%% === 2, KONVERSI KE CLOSED-LOOP ===
H = 1; % Unity feedback
G_cl = feedback(G, H); % Closed-loop TF
disp('=== Transfer Function Closed-Loop ===');
G_cl

%% === 3, PLOT STEP RESPONSE CLOSED-LOOP ===
figure;
step(G_cl);
title('Step Response Closed-Loop');
grid on;

%% === 4, ANALISIS METRIK DINAMIKA SISTEM ===
info = stepinfo(G_cl);

fprintf('\n=== Step Response Info (Closed-Loop) ===\n');
fprintf('Rise time       : %,4f s\n', info,RiseTime);
fprintf('Settling time   : %,4f s\n', info,SettlingTime);
fprintf('Overshoot       : %,2f %%\n', info,Overshoot);
fprintf('Steady-state    : %,4f\n', info,SettlingMin); % Mendekati nilai akhir

%% === 5, SIMULASI DAN ERROR ANALYSIS (vs Referensi) ===
Ts = 0,001;
t = 0:Ts:3;

% Referensi masukkan step: 1
```

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
ref = ones(size(t));

% Simulasi respon closed-loop
y = lsim(G_cl, ref, t);

% Hitung error
error = ref - y;
ss_error = abs(error(end));
rmse = sqrt(mean(error.^2));

fprintf('\nSteady-state Error: %.5f\n', ss_error);
fprintf('RMSE : %.5f\n', rmse);

%% === 6, VISUALISASI RESPON CLOSED-LOOP VS REFERENSI ===
figure;
plot(t, ref, 'k--', 'LineWidth', 1,2); hold on;
plot(t, y, 'b', 'LineWidth', 1,5);
legend('Referensi', 'Keluaran Closed-Loop');
title('Closed-Loop Response vs Step Masukkan');
xlabel('Waktu (s)'); ylabel('Keluaran');
grid on;
```

3. Script Analisa domain waktu, domain frekuensi, dan zero-pole map

• Analisis domain waktu

```
num = [0,0407 0,2742 -0,1464];
den = [1 11,0549 0,4441];
```

```
G = tf(num, den);
```

```
step(G);
```

• Analisis domain frekuensi

```
num = [0,0407 0,2742 -0,1464];
den = [1 11,0549 0,4441];
```

```
G = tf(num, den);
Bode(G)
```

• Zero-pole Map

```
num = [0,0407 0,2742 -0,1464];
den = [1 11,0549 0,4441];
```

```
G = tf(num, den);
pzmap(G)
```

4. Script untuk Analisa hasil simulasi tuning PID

```
clc; clear; close all;
```

```
% === 1, Load Data ===
masukkan = xlsread('E:\Data Adil\Kuliah\Semester 8\Data pengujian\Data
PID\KC=8, Ti=1, Td=3\GM2.csv');
```

```
u = masukkan(:,3); % Setpoint (kolom ke-3)
y = masukkan(:,1); % Keluaran akselerometer (kolom ke-1)
```

```
% === 2, Buat Vektor Waktu ===
```

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

fs = 1000;           % Frekuensi sampling (Hz) - sesuaikan jika berbeda
Ts = 1/fs;           % Interval sampling (s)
N = length(y);       % Jumlah sampel
t = (0:N-1)' * Ts;   % Vektor waktu mulai dari 0

% === 3, Hitung Parameter Time Domain ===

% 1, Steady-state keluaran (rata-rata 10% akhir)
steady_state = mean(y(round(end*0,9):end));

% 2, Steady-state masukkan (setpoint)
masukkan_final = mean(u(round(end*0,9):end));

% 3, Error steady-state
ss_error = abs(steady_state - masukkan_final);

% 4, Peak keluaran
peak = max(y);

% 5, Overshoot (% terhadap steady-state)
if abs(steady_state) > 1e-3
    overshoot = ((peak - steady_state) / abs(steady_state)) * 100;
else
    overshoot = NaN;
    disp('? Steady-state terlalu kecil - overshoot tidak dihitung');
end

% 6, Rise time (dari 10% ke 90% steady-state)
y_10 = 0,1 * steady_state;
y_90 = 0,9 * steady_state;

idx_10 = find(y >= y_10, 1, 'first');
idx_90 = find(y >= y_90, 1, 'first');

if ~isempty(idx_10) && ~isempty(idx_90) && idx_90 > idx_10
    rise_time = t(idx_90) - t(idx_10);
else
    rise_time = NaN;
    disp('? Rise time tidak dapat dihitung karena sinyal tidak melalui 10-90%% steady state');
end

% 7, Settling time (masuk ±5% dari steady state)
tol = 0,05 * abs(steady_state);
idx_settle = find(abs(y - steady_state) > tol);

if isempty(idx_settle)
    settling_time = 0;
else
    last_out = idx_settle(end);
    if last_out < N
        settling_time = t(last_out + 1);
    else
        settling_time = t(end); % belum stabil sampai akhir
    end
end

% 8, RMSE Error
rmse = sqrt(mean((y - u).^2));

% === 4, Tampilkan Hasil Analisis ===
fprintf('\n===== ANALISIS MANUAL SIMULASI =====\n');
fprintf('Masukkan akhir (setpoint)      : %,4f\n', masukkan_final);
fprintf('Steady-state Keluaran              : %,4f\n', steady_state);
fprintf('Steady-state Error                  : %,6f\n', ss_error);
fprintf('Peak Keluaran                      : %,4f\n', peak);

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

if isnan(overshoot)
    fprintf('Overshoot           : Tidak terdefinisi (NaN)\n');
else
    fprintf('Overshoot           : %.2f %%\n', overshoot);
end

if isnan(rise_time)
    fprintf('Rise time             : Tidak dapat dihitung\n');
else
    fprintf('Rise time             : %.4f s\n', rise_time);
end

fprintf('Settling time (±5%%)       : %.4f s\n', settling_time);
fprintf('RMSE Error                : %.6f\n', rmse);

% === 5, Plot Grafik ===
figure;
plot(t, u, 'r--', t, y, 'b', 'LineWidth', 1,5);
legend('Masukkan (Setpoint)', 'Keluaran (Accelero)');
xlabel('Waktu (s)');
ylabel('Amplitudo');
title('Respons Sistem terhadap Setpoint');
grid on;

```

Lampiran 5 Full Program Arduino IDE

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
// Pin motor driver BTS7960
#define RPWM 18
#define LPWM 19
// Pin sensor jarak digital (misal ultrasonic echo)
const int sensorPin = 26; // Ganti dengan pin input PWM sensor jarak
// ADXL345 sensor akselerasi
Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);
// PWM konfigurasi
const int pwmFreq = 20000; // 20 kHz
const int pwmResolution = 8; // 8 bit (0-255)
const int pwmChannelR = 0;
const int pwmChannelL = 1;
// Buffer serial input
const int MAX_DATA_LEN = 64;
char serialBuffer[MAX_DATA_LEN];
uint8_t bufIndex = 0;
// Variabel data dari LabVIEW
float data3 = 0.0; // PWM
float data4 = 0.0; // Reset Offset
// Variabel sensor jarak
unsigned long duration;
float distanceRaw, distanceAdjusted;
const float setpointCm = 54.5;
float startDistance = 0;
float maxDisplacement = 0;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
unsigned long startTime;
const unsigned long durationCycle = 10000;
bool flagStart = true;
// Offset sumbu X ADXL345
float xOffset = 0;

void setup() {
  Serial.begin(250000);
  Wire.begin(21, 22);
  pinMode(sensorPin, INPUT);
  if (!accel.begin()) {
    Serial.println("ADXL345 sensor tidak terdeteksi!");
    while (1);
  }
  accel.setRange(ADXL345_RANGE_2_G);

  // Inisialisasi PWM
  ledcSetup(pwmChannelR, pwmFreq, pwmResolution);
  ledcAttachPin(RPWM, pwmChannelR);
  ledcSetup(pwmChannelL, pwmFreq, pwmResolution);
  ledcAttachPin(LPWM, pwmChannelL);
  ledcWrite(pwmChannelR, 0);
  ledcWrite(pwmChannelL, 0);
  Serial.println("Kalibrasi Dimulai...");
  delay(1000);
  startTime = millis();
}

void loop() {
  readSerialNonBlocking();
  // === Sensor jarak ===
  duration = pulseIn(sensorPin, HIGH);
  distanceRaw = duration / 58.0;
  distanceAdjusted = distanceRaw - setpointCm;
  if (flagStart) {
    startDistance = distanceRaw;
    flagStart = false;
  }
  float deviation = abs(distanceRaw - startDistance);
  if (deviation > maxDisplacement) maxDisplacement = deviation;
  // === Accelerometer ===
  sensors_event_t event;
  accel.getEvent(&event);
  float xRaw = event.acceleration.x;
  if ((int)data4 == 1) xOffset = xRaw;
  float xCorrected = xRaw - xOffset;
  // === Motor ===
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
int pwmToMotor = constrain((int)data3, -255, 255);
updateMotor(pwmToMotor);
// === Kirim data ke LabVIEW ===
sendSensorData(xCorrected);
// === Reset Siklus ===
if (millis() - startTime >= durationCycle) {
    flagStart = true;
    maxDisplacement = 0;
    startTime = millis();
}
}

void readSerialNonBlocking() {
    while (Serial.available()) {
        char c = Serial.read();
        if (c == '>') {
            bufIndex = 0;
        } else if (c == '?') {
            serialBuffer[bufIndex] = '\0';
            processData();
            bufIndex = 0;
        } else if (bufIndex < MAX_DATA_LEN - 1) {
            serialBuffer[bufIndex++] = c;
        } else {
            bufIndex = 0;
        }
    }
}

void processData() {
    // Format dari LabVIEW: >data1;data2;data3;data4;...
    char* token = strtok(serialBuffer, ";");
    int index = 0;
    while (token != NULL) {
        if (index == 2) data3 = atof(token);
        else if (index == 3) data4 = atof(token);
        token = strtok(NULL, ";");
        index++;
    }
}

void updateMotor(int pwm) {
    if (pwm > 0) {
        ledcWrite(pwmChannelR, pwm);
        ledcWrite(pwmChannelL, 0);
    } else if (pwm < 0) {
        ledcWrite(pwmChannelR, 0);
        ledcWrite(pwmChannelL, -pwm);
    } else {
        ledcWrite(pwmChannelR, 0);
    }
}
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
    ledcWrite(pwmChannelL, 0);
  }
}

void sendSensorData(float xCorrected) {
  static uint32_t lastSend = 0;
  if (millis() - lastSend < 10) return;

  Serial.printf(">%.2f;%.2f;%.2f;%.2f;%.2f;%.2f;?\n",
    xCorrected,
    distanceAdjusted,
    data3,
    data4,
    maxDisplacement,
    distanceRaw);

  lastSend = millis();
}
```

