

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Model Laboratorium Kecil [18].....	6
Gambar 1.2 Platform berskala Kecil [19].....	6
Gambar 1.3 Simulator berbasis sensor tilt MEMS [18]	6
Gambar 2. 1 ESP32-DevKitC V.4.....	16
Gambar 2.2 Arduino Uno WiFi Rev2.....	16
Gambar 2.3 NodeMCU ESP8266.....	16
Gambar 2.4 MPU-6050	18
Gambar 2.5 MPU-9250	18
Gambar 2.6 ADXL345	18
Gambar 2.7 Mekanisme Gaya Coriolis	19
Gambar 2.8 Struktur gyroscope saat berotasi	19
Gambar 2.9 <i>Electric Hydraulic Jack Kit</i>	20
Gambar 2.10 <i>Winch Black Horse X 13.000 LBS</i>	20
Gambar 2.11 <i>Pulley Manual Standard</i>	20
Gambar 2.12 Flowmeter YF-S401	22
Gambar 2.13 <i>Flowmeter</i> YF-S201	22
Gambar 2.14 <i>Flowmeter</i> FS-300A	22
Gambar 2.15 Jenis-jenis Nozzle	26
Gambar 2.16 <i>Capacitive Soil Moisture</i> DFRobot SKU SEN0913	27
Gambar 2. 17 Sensor HD-38	27
Gambar 2.18 Sensor YL-38.....	27
Gambar 2.19 CANMV K210.....	29
Gambar 2.20 ESP32-CAM.....	29
Gambar 2.21 Arduino Portenta H7	29
Gambar 2.22 Model warna HSV (Hue, Saturation, Value).....	30
Gambar 3. 1 Diagram Pohon Sistem yang akan dikembangkan	53
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Keseluruhan.....	54
Gambar 3.3 Desain Rekonstruksi Alat	55
Gambar 3.4 Lokasi Penempatan Alat berdasarkan Google Earth	55
Gambar 3.5 Diagram Blok Sistem Kontrol Kemiringan	56
Gambar 3.6 Posisi Shelter Alat Kontrol Kemiringan	56
Gambar 3.7 Diagram Blok Kontrol Kemiringan	58

Gambar 3.8 Diagram Blok Sistem kontrol simulasi curah hujan	59
Gambar 3.9 Desain Pemosisian Alat Kontrol Simulasi Curah Hujan	60
Gambar 3.10 Diagram Blok Kontrol ON/OFF Simulasi Curah Hujan	62
Gambar 3. 11 Diagram Blok Kontrol PID Simulasi Curah Hujan	62
Gambar 3. 12 Diagram Blok Sistem Monitoring Kelembapan	63
Gambar 3.13 Design Pemosisian Alat Monitoring Kelembapan.....	64
Gambar 3.14 Diagram Blok Monitoring kelembapan tanah	65
Gambar 3.15 Digital Twin Simulator Longsor.....	70
Gambar 3.16 Tampilan panel kontrol sistem pada website.....	71
Gambar 3.17 Diagram Alir Klasifikasi Visual Tanah	72
Gambar 3. 18 Patalogi Jaringan Lokal <i>Live Streaming</i>	73
Gambar 3. 19 Patalogi Jaringan Publik <i>Live Streaming</i>	74
Gambar 3.20 Skematik Kontrol Kemiringan Chamber	74
Gambar 3.21 Skematik Kontrol Simulasi Curah Hujan	75
Gambar 3.22 Skematik Monitoring Kelembapan Tanah.....	75
Gambar 3.23 Skematik Monitoring Visual Tanah.....	76
Gambar 4. 1 Gambaran proses kalibrasi sensor kemiringan MPU6050.....	89
Gambar 4. 2 Grafik hasil kalibrasi Sensor MPU6050	91
Gambar 4. 3 Gambaran proses kalibrasi sensor <i>flowmeter</i> YF-S40	93
Gambar 4. 4 Grafik Kalibrasi Flowmeter YF-S401	94
Gambar 4.5 Grafik Kurva Respon Sistem Pengukuran Laju Aliran	95
Gambar 4.6 Grafik Kurva Respon Sistem Kontrol.....	97
Gambar 4. 7 Grafik Respon sistem Kontrol PI.....	98
Gambar 4. 8 Grafik Kurva Respon Sistem Kontrol PID	99
Gambar 4. 9 Ilustrasi sensing Sensor Soil Moisture.....	101
Gambar 4. 10 Proses Pengeringan Tanah Menggunakan Oven	101
Gambar 4. 11 Proses Kalibrasi Sensor	101
Gambar 4. 12 Grafik Plot ADC terhadap Kelembapan Sensor 1	104
Gambar 4. 13 Grafik Plot ADC terhadap Kelembapan sensor 2	104
Gambar 4. 14 Grafik Plot ADC terhadap Kelembapan Sensor 3	105
Gambar 4. 15 Grafik Plot ADC terhadap Kelembapan Sensor 4	105
Gambar 4. 16 Grafik Plot ADC terhadap Kelembapan Sensor 5	106
Gambar 4. 17 Grafik Plot ADC terhadap Kelembapan Sensor 6	106

Gambar 4.18 Flowchart Awal Sistem Validasi Data.....	109
Gambar 4. 19 Flowchart Validasi Data Kemiringan & Kelembaban.....	110
Gambar 4. 20 Flowchart Validasi Data Curah Hujan.....	111
Gambar 4. 21 Flowchart Akhir Sistem Validasi Data	112
Gambar 4. 22Tampilan Model Solid	114
Gambar 4.23 Tampilan Setelah Render.....	115
Gambar 4.24 Partikel Hujan pada Digital Twin	115
Gambar 4.25 Flowchart Animasi Digital Twin-1	116
Gambar 4.26 Flowchart Animasi Digital Twin-2.....	117
Gambar 4.27 Panel Kontrol Sistem	120
Gambar 4.28 Halaman Riwayat Simulasi.....	121
Gambar 4.29 Halaman Detail Data Simulasi (Bagian Atas)	121
Gambar 4.30 Halaman Detail Data Simulasi (Bagian Bawah).....	121
Gambar 4.31 Halaman Registrasi Pengguna Baru	122
Gambar 4.32 Halaman Pengaturan Sistem	122
Gambar 4.33 Laporan pengujian Front-end menggunakan Lighthouse	124
Gambar 4.34 R-Tabel Spearman Rank	131
Gambar 4.35 Kalibrasi Skala Linier	135
Gambar 4.36 Grafik Kalibrasi Rasio Jarak Aktual dengan Piksel.....	137
Gambar 4.37 Kalibrasi Threshold saat gelap.....	138
Gambar 4.38 Kalibrasi Threshold saat Terang	138
Gambar 4.39 Tampilan Alert pada Website	140
Gambar 4.40 Serial Monitor Pengiriman Analisa Visual Tanah.....	140
Gambar 4.41 Docker Container.....	141
Gambar 4.42 MotionEye	141
Gambar 4. 43 Alamat URL Video Streaming MotionEye pada jaringan lokal.....	141
Gambar 4. 44 Dashboard Cloudflare Zero Trust bagian Networks Tunnels.....	142
Gambar 4. 45 Konfigurasi Public Hostname pada Tunnel ' <i>streaming</i> '	142
Gambar 4. 46 <i>Live Streaming</i> di live.kamera-twinz.site	143
Gambar 4.47 Pengaturan Channel ID & URL Stream	143
Gambar 4.48 Live Stream Pada Website.....	144
Gambar 4.49 Visualisasi Penampilan data pada website.....	145
Gambar 4.50 Visualisasi Data Sensor pada Broker MQTT	145

Gambar 4.51 Verifikasi Pengiriman Perintah dari Sisi Klien.....	145
Gambar 4.52 Visualisasi Data Kontrol pada Broker MQTT	145
Gambar 4.53 Rangkaian PCB Monitoring & Kontrol Kemiringan	150
Gambar 4.54 Rangkaian PCB Monitoring Kelembapan Tanah	150
Gambar 4.55 Rangkaian PCB Monitoring & Kontrol Curah Hujan	151
Gambar 4.56 Landing Page Twins.Gradien	151
Gambar 4.57 Halaman Panel Kontrol Sistem.....	151
Gambar 4.58 Halaman History Simulasi	152
Gambar 4.59 Halaman Detail Data Simulasi (Bagian Atas)	152
Gambar 4.60 Halaman Registrasi Pengguna Baru	152
Gambar 4.61 Halaman Pengaturan Sistem	152
Gambar 4.62 Visualisasi Digital Twin pada Website.....	153
Gambar 4.63 Desain PCB CanMV K210	153
Gambar 4.64 Penempatan Analisis Visual Tanah	153
Gambar 4.65 <i>Monitoring Live</i>	154
Gambar 5. 1 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-1 Kontrol Simulasi Curah Hujan Kemiringan 0°, Curah Hujan 2mm/jam.....	167
Gambar 5.2 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-2 Kontrol Simulasi Curah Hujan Kemiringan 0°, Curah Hujan 2mm/jam.....	167
Gambar 5.3 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-3 Kontrol Simulasi Curah Hujan Kemiringan 0°, Curah Hujan 2mm/jam.....	168
Gambar 5.4 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-4 Kontrol Simulasi Curah Hujan Kemiringan 0°, Curah Hujan 2mm/jam.....	168
Gambar 5.5 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-5 Kontrol Simulasi Curah Hujan Kemiringan 0°, Curah Hujan 2mm/jam.....	169
Gambar 5.6 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-6 Kontrol Simulasi Curah Hujan Kemiringan 0°, Curah Hujan 2mm/jam.....	169
Gambar 5.7 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-1 Uji Coba Seluruh Sistem pada Kemiringan 10° dan Curah Hujan 4mm/jam).....	170
Gambar 5.8 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-2 Uji Coba Seluruh Sistem pada Kemiringan 10° dan Curah Hujan 4mm/jam.....	171
Gambar 5. 9 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-3 Uji Coba Pengiriman Seluruh Sistem pada Kemiringan 10° dan Curah Hujan 4mm/jam	171

Gambar 5.10 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-4 Uji Coba Pengiriman Seluruh Sistem pada Kemiringan 10° dan Curah Hujan 4mm/jam	172
Gambar 5.11 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-5 Uji Coba Pengiriman Seluruh Sistem pada Kemiringan 10° dan Curah Hujan 4mm/jam	172
Gambar 5.12 Grafik Kontrol PI Siklus Ke-3 Uji Coba Pengiriman Seluruh Sistem pada Kemiringan 10° dan Curah Hujan 4mm/jam	173
Gambar 5.13 Visualisasi Persebaran air	174
Gambar 5.14 Analisis Data Sensor vs Input	178
Gambar 5.15 Grafik Persentase Data Valid per Trial Simulasi	178
Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Jumlah data raw, valid, dilewati per Trial	178
Gambar 5.17 Grafik Total Data Raw vs Valid dari Semua Simulasi	178
Gambar 5.18 Laporan Hasil Uji Performa Website Menggunakan GTmetrix	180
Gambar 5.19 Notifikasi Longsor Visual Tanah	191
Gambar 5. 20 Kondisi <i>chamber</i> sebelum simulasi dilakukan	196
Gambar 5. 21 Tampilan <i>dashboard website</i> saat semprotan curah hujan pertama	197
Gambar 5. 22 Tampilan <i>dashboard website</i> saat semprotan curah hujan pertama	197
Gambar 5. 23 Tampilan grafik data simulasi di <i>website</i>	197
Gambar 5. 24 Grafik data kemiringan (kemiringan 15° dan curah hujan 12 mm/jam)..	198
Gambar 5. 25 Grafik data curah hujan (kemiringan 15° dan curah hujan 12 mm/jam)	198
Gambar 5. 26 Grafik monitoring kelembapan tanah sensor ke-1(kemiringan 15° dan curah hujan 12 mm/jam)	199
Gambar 5. 27 Grafik monitoring kelembapan tanah sensor ke-2 (kemiringan 15° dan curah hujan 12 mm/jam)	199
Gambar 5. 28 Grafik monitoring kelembapan tanah sensor ke-3 (kemiringan 15° dan curah hujan 12 mm/jam)	200
Gambar 5. 29 Grafik monitoring kelembapan tanah sensor ke-4 (kemiringan 15° dan curah hujan 12 mm/jam)	200
Gambar 5. 30 Grafik monitoring kelembapan tanah sensor ke-5 (kemiringan 15° dan curah hujan 12 mm/jam)	201
Gambar 5. 31 Grafik monitoring kelembapan tanah sensor ke-6 (kemiringan 15° dan curah hujan 12 mm/jam)	201