

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Desain lapangan kontes ABU ROBOCON 2023 (tampak atas).....	2
Gambar 1.2 Desain lapangan kontes ABU ROBOCON 2023 (tampak samping) .....	2
Gambar 1.3 Dimensi lapangan permainan ABU ROBOCON 2023 (dimensi dalam satuan mm).....	3
Gambar1.4 Tinggi dari setiap area dan tiang pada lapangan permainan.....	4
Gambar1.5 Contoh ring yang digunakan pada Kontes ABU ROBOCON 2023 .....	5
Gambar 1.6 Rintangan pada Blue/Red Area.....	6
Gambar 1.7 Rintangan Bidang Miring (dimensi dalam mm).....	7
Gambar 1.8 Dimensi Angkor Center Area (dimensi dalam satuan mm).....	8
Gambar 1.9 Rintangan bidang anak tangga (dimensi dalam satuan mm) .....	8
Gambar 3.1 Diagram Fungsi Solusi.....	18
Gambar 3.2 Blok diagram solusi desain mekanika base dan roda .....	21
Gambar 3.3 Kinematika Gerak Robot Omni Wheel Tiga Roda.....	22
Gambar 3.4 Konsep trigonometri roda omni.....	23
Gambar 3.5 Orientasi Omni Wheel Tiga Roda .....	24
Gambar 3.6 Kinematika Gerak Robot Omni Wheel Empat Roda.....	25
Gambar 3.7 Orientasi Omni Wheel Empat Roda .....	26
Gambar 3.8 Kinematika Gerak Robot Mecanum Wheel Empat Roda.....	27
Gambar 3.9 Kinematika dari Roda Mecanum.....	28
Gambar 3.10 Orientasi Robot Beroda Mecanum .....	28
Gambar 3.11 Diagram Fungsi Solusi 1 Sistem Pendaki Anak Tangga .....	30
Gambar 3.12 Orientasi Kinematika 1-DOF pada Diagram Kartesian 2 Dimensi .....	31
Gambar 3.13 Diagram Fungsi Solusi 2 Sistem Pendaki Anak Tangga .....	32
Gambar 3.14 Struktur Pulley dan Belt.....	32
Gambar 3.15 Mekanisme H-Gantry .....	33
Gambar 3.16 Skema transmisi belt dan konsep brush model.....	34
Gambar 3.17 Diagram Fungsi Solusi 3 Sistem Pendaki Anak Tangga .....	35
Gambar 3.18 Struktur Rack and Pinion Gear .....	35
Gambar 3.19 Diagram Pergerakan Rack and Pinion Gear Berlawanan Arah Jarum Jam .....	36
Gambar 3.20 Diagram gerak area sambungan gigi pertama.....	37
Gambar 3.21 Diagram pergerakan area sambungan gigi akhir .....	39

Gambar 3.22 Orientasi Kinematika 1-DOF pada Diagram Kartesian 2 Dimensi .....	40
Gambar 3.23 Diagram Blok Kendali PID.....	41
Gambar 3.24 Diagram Blok Solusi Metode Kendali PID .....	42
Gambar 3.25 Diagram Blok Kendali LQR.....	44
Gambar 3.26. Diagram Blok solusi dengan kendali LQR.....	46
Gambar 3.27 Diagram blok kendali LQR – PI.....	47
Gambar 3.28 Diagram Blok kendali LQR – PI .....	47
Gambar 3.29 Dimensi Lapangan Permainan ABU Robocon 2023 (dalam satuan mm) .....	49
Gambar 3.30 Blok diagram cara kerja rencana desain sistem terpilih .....	61
Gambar 3.31 Diagram Blok Sistem Level 0.....	62
Gambar 3.32 Diagram Blok Level 1.....	63
Gambar 3.33 Diagram Blok Penentu Pergerakan Robot.....	64
Gambar 3.34 Analisis kinematika empat roda mekanum.....	65
Gambar 3.35 Blok Diagram PID Standar .....	66
Gambar 3.36 Blok Diagram PI Anti – Windup <i>clamping</i> .....	67
Gambar 3.37 Blok Diagram PID dengan LPF orde satu .....	67
Gambar 3.38. Blok Diagram Pergerakan Robot pada Bidang Datar dan Bidang Miring .....	68
Gambar 3.39. Blok Diagram Pergerakan Robot Mendaki Anak Tangga.....	70
Gambar 3.40 Flowchart Level 1 .....	71
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem Level 0.....	87
Gambar 4.2 Diagram Blok Sistem Level 1.....	87
Gambar 4.3 Diagram Blok Sub – sistem Penentu Pergerakan Robot.....	88
Gambar 4.4 Input PS4 Controller .....	89
Gambar 4.5 Prinsip Kerja Komunikasi UART.....	91
Gambar 4.6 <i>Code</i> Pengiriman Data Perintah Pergerakan Robot dari ESP32 ke STM32 .....	92
Gambar 4.7 Konversi Data Integer Menjadi data Byte .....	92
Gambar 4.8 <i>Code</i> Penerimaan Data Perintah Pergerakan Robot dari ESP32 ke STM32 .....	93
Gambar 4.9 LED Bar sebagai Indikator Status Koneksi Bluetooth pada PS4 Controller .....	94

Gambar 4.10 Blok diagram cara kerja sub – sistem pergerakan robot melalui rintangan .....	100
Gambar 4. Desain Mekanika Base Robot.....	101
Gambar 4. Desain 3 Dimensi Mekanisme Pendaki Anak Tangga.....	103
Gambar 4. Penempatan Aktuator Sistem Pendaki Anak Tangga .....	104
Gambar 4. Bagian komponen penggerak mekanisme lifting.....	105
Gambar 4. Bagian komponen penggerak mekanisme lengan.....	106
Gambar 4.16 Simulasi Titik Berat <i>Mobile Robot</i> .....	108
Gambar 4. Blok Diagram PID Kendali Kecepatan Angular Motor.....	108
Gambar 4. Blok Diagram PID Kendali Posisi Angular Motor.....	109
Gambar 4. Skema Sistem Elektronika Pergerakan Robot pada Bidang Datar dan Bidang Miring.....	110
Gambar 4. Skema Sistem Elektronika Robot untuk Mendaki Anak Tangga .....	111
Gambar 4. Dimensi Desain 3D Base Robot .....	112
Gambar 4. Dimensi Desain 3 Dimensi Robot Keseluruhan .....	113
Gambar 4. Pengukuran Massa Total Robot Melalui Desain Mekanika 3 Dimensi. ....	114
Gambar 4. Dokumentasi pengukuran massa dari roda mekanum .....	115
Gambar 4. Dokumentasi pengukuran massa dari hub roda mekanum .....	116
Gambar 4. Dokumentasi pengukuran massa rangka <i>base</i> robot.....	117
Gambar 4. Dokumentasi Pengujian Mekanika Sistem Pendaki Anak Tangga.....	123
Gambar 4. Dokumentasi Pengujian Mekanika Sistem Pendaki Anak Tangga.....	123
Gambar 4. Hasil Integrasi Konponen Elektronika dan Mekanika.....	124
Gambar 4. Kalibrasi Sensor Rotary Encoder pada Motor A .....	133
Gambar 4. Kalibrasi Sensor Rotary Encoder pada Motor B .....	133
Gambar 4. Kalibrasi Sensor Rotary Encoder pada Motor C .....	134
Gambar 4. Kalibrasi Sensor Rotary Encoder pada Motor D .....	134
Gambar 4. Pembacaan sensor rotary encoder terhadap motor A.....	135
Gambar 4. Pembacaan sensor rotary encoder terhadap motor B.....	136
Gambar 4. Pembacaan sensor rotary encoder terhadap motor C.....	136
Gambar 4. Pembacaan sensor rotary encoder terhadap motor D.....	137
Gambar 4. Hasil kalibrasi sensor Rotary Encoder Motor A.....	137
Gambar 4. Hasil kalibrasi sensor Rotary Encoder Motor B.....	138
Gambar 4. Hasil kalibrasi sensor Rotary Encoder Motor C.....	138

Gambar 4. Hasil kalibrasi sensor Rotary Encoder Motor D.....	139
Gambar 4. Hasil pengujian pembacaan posisi sudut rotary encoder.....	140
Gambar 4. Hasil pengujian pembacaan posisi sudut external rotary encoder.....	141
Gambar 4. <i>Source code</i> persamaan inverse kinematics.....	145
Gambar 4. Respon Input Sistem.....	145
Gambar 4. Respon Output Sistem.....	146
Gambar 4. Respon output sistem dengan kendali PID.....	147
Gambar 4.48 Tingkat kesesuaian model SysId dengan Respon Output Asli Sistem .....	148
Gambar 4.49 Root Locus dari fungsi transfer motor DC roda mekanum.....	149
Gambar 4.50 Respon Output Sistem.....	150
Gambar 4.51 Blok Diagram PI Anti Windup.....	151
Gambar 4.52 Respon output sistem dengan PI Anti Windup.....	152
Gambar 4.53 Respon output sistem motor DC roda mekanum dalam domain frekuensi .....	152
Gambar 4.54 Butterworth LPF orde 1 $f_c$ 3Hz.....	153
Gambar 4.55 Butterworth LPF orde 1 $f_c$ 3Hz.....	154
Gambar 4. Robot tampak samping.....	160
Gambar 4. Robot tampak depan.....	161
Gambar 4. Robot tampak belakang.....	161
Gambar 4. Skematik rangkaian elektronika robot.....	162
Gambar 4. Desain papan PCB robot.....	162
Gambar 5.1 Pengujian BER dengan variasi jarak uji.....	166
Gambar 5.2 Perbandingan performansi komunikasi Bluetooth berdasarkan BER..	166
Gambar 5.3 Lintasan untuk pengujian kecepatan robot.....	167
Gambar 5.4 Pengukuran Dimensi Panjang Robot.....	174
Gambar 5.5 Pengukuran Dimensi Lebar Robot.....	174
Gambar 5.6 Pengukuran Dimensi Tinggi Robot.....	175
Gambar 5.7 Hasil Pengujian Massa Robot.....	177
Gambar 5.8 Dimensi Angkor Center Area (dimensi dalam satuan mm).....	193
Gambar 5.9 Bagian Lapangan Pertandingan.....	194
Gambar 5.10 Dimensi Lapangan Pertandingan Tampak Atas.....	194
Gambar 5.11 Dimensi Lapangan Tampak Samping.....	195

Gambar 5.12 Dimensi Bidang Miring .....	195
Gambar 5.13 Bentuk komponen mekanika <i>hollow</i> .....	196
Gambar 5.14 Harga ESP32-Devkit-V1 .....	196
Gambar 5.15 Data sheet dimensi Motor PG45 .....	197
Gambar 5.16 Spesifikasi dan Harga Roda Mekanum 6 Inch.....	198
Gambar 5.17 Spesifikasi dan Harga Roda Omni.....	199
Gambar 5.18 Daftar Berat Aluminium <i>Hollow</i> berdasarkan ukuran.....	200
Gambar 5.19 Dokumentasi Pengujian Eksternal Rotary Encoder.....	201
Gambar 5.20 Dokumentasi Pengujian Torsi Motor PG45.....	201
Gambar 5.21 Lintasan Pengujian Spesifikasi Kecepatan Robot .....	202
Gambar 5.22 Dokumentasi Pengujian Spesifikasi Kemampuan Robot Mendaki Anak Tangga.....	202