

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi Silindris (a) Outside Rotor (b) Inside Rotor	6
Gambar 2.2 Konstruksi <i>Pancake</i> : (a) Stator Tunggal (b) Stator Ganda	6
Gambar 2.3 Motor DC Brushless 3-Fasa 500 Watt	7
Gambar 2.4 Bagian-bagian Motor DC <i>Brushless</i> 500 Watt: (a) Rotor (b)Tiga Buah <i>Hall Effect Sensor</i> (c) Stator Tampak Atas (d) Stator Tampak Samping	7
Gambar 2.5 Konfigurasi Listrik Stator (Tiga Tahap, Tiga Kumparan)	8
Gambar 2.6 Tiga Kumparan Stator Tiga Fase dan Rotor Motor DC <i>Brushless</i>	8
Gambar 2.7 Sistem Penggerak Motor DC <i>Brushless</i>	9
Gambar 2.8 <i>Hall Effect Sensor</i>	10
Gambar 2.9 <i>Sensor Hall</i> Sinyal Untuk Rotasi Kanan	11
Gambar 2.10 <i>Sensor Hall Effect</i> Pengubah Tiga Fasa <i>Brushless</i> DC Motor	12
Gambar 2.11 Urutan Pensaklaran Rotasi Motor Q1 sampai dengan Q6	13
Gambar 2.12 <i>Commutation Steps</i> dan <i>Rotating Field</i>	14
Gambar 2.13 Peta Memori Program	17
Gambar 2.14 Peta Data Memori	18
Gambar 2.15 Pin-pin Mikrokontroler AVR ATmega8535	19
Gambar 2.16 Blok Diagram AVR	20
Gambar 2.17 Diagram PID	23
Gambar 2.18 Rangkaian Ekuivalen Komponen Kapasitor	23
Gambar 2.19 Contoh Pengaruh Frekuensi Terhadap Impedansi Kapasitor Dengan <i>Self-Resonance</i> Pada 2.5 MHz	24
Gambar 2.20 Jangkauan Frekuensi Yang Terpakai Untuk Berbagai Jenis Kapasitor	24
Gambar 2.21 Rangkaian Ekivalen Induktor	25
Gambar 2.22 Medan Magnetik Induktor Dengan: A. Inti Udara, B. Inti Magnetik Tertutup	26
Gambar 2.23 Simbol Rangkaian dan Karakteristik Transfer	27
Gambar 2.24 Fungsi AND	28
Gambar 2.25 Rangkaian Gerbang Dioda-Resistor Fungsi AND	29

Gambar 2.26 Proses Model I/O Serial	29
Gambar 2.27 Karakter Transfer Data Asinkron	30
Gambar 2.28 Karakter Transfer Data Sinkron	30
Gambar 3.1 <i>Prototype</i> Sistem Kontrol Kecepatan Motor DC <i>Brushless</i> 3-Fasa	33
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Kontrol Motor DC <i>Brushless</i> 3-Fasa	34
Gambar 3.3 Flow Chart Sistem Umum	35
Gambar 3.4 Flow Chart Sistem Pada Mikrokontroler AT Mega 8535 (2)	36
Gambar 3.5 Rangkaian Regulator <i>Switching</i> 12 Volt LM2576-12	37
Gambar 3.6 PCB Rangkaian Regulator <i>Switching</i> 12 Volt LM2576-12	37
Gambar 3.7 Rangkaian Sistem Minimum AT Mega 8535	38
Gambar 3.8 Desain Rangkaian PCB Sistem Minimum AT Mega 8535	38
Gambar 3.9 Rangkaian Pengkondisi Sinyal	39
Gambar 3.10 Rangkaian <i>Frequency to Voltage</i>	40
Gambar 3.11 <i>Block</i> dan <i>Connection Diagram</i>	41
Gambar 3.12 Perbandingan Tegangan Zener vs Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) (kiri) dan K vs Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) (kanan)	41
Gambar 3.13 Rangkaian Pembagi Tegangan Kp, Ti, Td, dan Baterai	42
Gambar 3.14 Rangkaian Pembagi Tegangan	43
Gambar 3.15 Rangkaian <i>Switch Push Button</i>	43
Gambar 3.16(a),(b),(c) Rangkaian <i>Driver</i> Motor DC <i>Brushless</i> 3-Fasa	44
Gambar 3.17 Desain Rangkaian PCB <i>Driver</i> Motor DC <i>Brushless</i> 3-Fasa	45
Gambar 3.18 <i>Front Panel</i> Program Labview	46
Gambar 3.19 Blok Diagram Program Labview	46
Gambar 4.1 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Output Regulator <i>Switching</i> 12 Volt LM257612	48
Gambar 4.2 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal Tegangan Aki 12 Volt x 4 Dirangkai Seri	48
Gambar 4.3 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal <i>Output</i> PWM Mikrokontroler	49
Gambar 4.4 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal <i>Output</i> Gerbang AND	49
Gambar 4.5 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal <i>Output Low Side</i> Driver MOSFET pada Saat <i>OFF</i>	49

Gambar 4.6 Tampilan Osiloskop Yang Menunjukkan Sinyal <i>Output High Side Driver</i> MOSFET Pada Saat <i>OFF</i>	50
Gambar 4.7 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal <i>Output Low Side Driver</i> MOSFET Pada Saat <i>ON</i>	50
Gambar 4.8 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal <i>Output High Side Driver</i> MOSFET Pada Saat <i>ON</i>	50
Gambar 4.9 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal <i>Output</i> pada Sisi <i>Phasa Motor</i> Saat <i>Ground</i> Osiloskop Terhubung ke <i>Ground</i> Rangkaian	51
Gambar 4.10 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal <i>Output</i> pada Sisi <i>Phasa Motor</i> Saat <i>Ground</i> Osiloskop Terhubung ke Sisi <i>Phasa Motor</i>	51
Gambar 4.11 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Output dari <i>Hall Effect Sensor</i> Pada Saat Terkena Medan Magnet	52
Gambar 4.12 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal Hasil Pengolahan dari Rangkaian Pengkondisi Sinyal Pada Saat Terkena Medan Magnet	52
Gambar 4.13 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Output dari IC SN74HC14N Pada Saat Terkena Medan Magnet	53
Gambar 4.14 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Output dari <i>Hall Sensor</i> Pada Saat Tidak Terkena Medan Magnet	53
Gambar 4.15 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal Hasil Pengolahan dari Rangkaian Pengkondisi Sinyal Pada Saat Tidak Terkena Medan Magnet	54
Gambar 4.16 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Output dari IC SN74HC14N Pada Saat Terkena Medan Magnet	54
Gambar 4.17 Enam Buah MOSFET Penyusun Inverter BRIDGE dengan Tiga Sumbu Fasa (kabel biru, kabel hijau, kabel kuning)	55
Gambar 4.18 Salah Satu Pengambilan Data Melalui LCD <i>Character</i> Pada Saat CW	56
Gambar 4.19 Salah Satu Pengambilan Data Melalui LCD <i>Character</i> Pada Saat CCW	57
Gambar 4.20 Hubungan Antara <i>Hall Effect Sensor</i> Dengan <i>Phasa</i> (a) untuk CW <i>Rotation</i> (b) Untuk CCW <i>Rotation</i>	59
Gambar 4.21 Grafik Tingkat Kelinieritsan Antara RPM Dengan <i>Counter</i> Pada Nilai <i>Sampling</i> 10 ms	61

Gambar 4.22 Grafik Tingkat Kelinieritasan antara RPM dengan <i>Counter</i> pada Nilai <i>Sampling</i> 100 ms	61
Gambar 4.23 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Pengukuran Nilai Input Rangkaian <i>Frequency to Voltage</i> (Sinyal Biru) dengan Nilai Frekuensi = 84,7 Hz	62
Gambar 4.24 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Pengukuran Nilai Output Rangkaian <i>Frequency to Voltage</i> ( Sinyal Merah) dengan Nilai $V_{avg} = 2,15$ Volt	62
Gambar 4.25 Grafik Tingkat Kelinieritasan Antara Volt Dengan <i>Frequency</i>	64
Gambar 4.26 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Pengukuran Nilai VCC pada Sistem Minimum ATMEGA 8535 dengan Nilai $V_{avg} = 5,00$ Volt	65
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan RPM Pada Mikrokontroller dan Tachometer	67
Gambar 4.28 Grafik Tingkat Kelinieritasan Kode Digital Terhadap Tegangan Aki pada Multimeter	70
Gambar 4.29 <i>Closed-loop system with a proportional controller</i>	72
Gambar 4.30 <i>Sustained oscillation with Period <math>P_{cr}</math> (<math>P_{cr}</math> is measured in sec.)</i>	72
Gambar 4.31 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal Output Sistem dengan Nilai $K_p = K_{cr} = 0,62$ dan $P_{cr} = 5,44$	72
Gambar 4.32 Tampilan Osiloskop yang Menunjukkan Sinyal <i>Sampling</i> 10 ms	73
Gambar 4.33 Tampilan Respon Sistem dengan Nilai $SP = 200$ RPM , $K_p = 0,372$ , $T_i = 2,72$ , $T_d = 0,68$ , $t_d = 17100$ ms dan $t_r = 63140$ ms Pada saat CW (Searah Jarum Jam)	74
Gambar 4.34 Tampilan Respon Sistem dengan Nilai $SP = 200$ RPM , $K_p = 0,372$ , $T_i = 2,72$ , $T_d = 0,68$ , $t_d = 17790$ ms dan $t_r = 61560$ ms Pada saat CCW (Berlawanan Arah Jarum Jam)	74
Gambar 4.35 Tampilan Respon Sistem dengan Nilai $SP = 200$ RPM , $K_p = 2,25$ , $T_i = 0,52$ , $T_d = 0,679$ , $t_d = 550$ ms dan $t_r = 2080$ ms Pada saat CW (Searah Jarum Jam)	75
Gambar 4.36 Tampilan Respon Sistem dengan Nilai $SP = 200$ RPM , $K_p = 0,372$ , $T_i = 0,49$ , $T_d = 0,681$ , $t_d = 530$ ms dan $t_r = 1930$ ms Pada saat CCW (Berlawanan Arah Jarum Jam)	75