DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH vi
HALAMAN PERSEMBAHAN vii
HALAMAN MOTTO viii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
ABSTRAK xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 1
1.3. Pembatasan Masalah 2
1.4. Tujuan 2
1.5. Sistematika Penulisan 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 4
2.1. Tinjauan Pustaka 4

2.1. Landasan Teori 5
2.1.1. Magnet 5
2.1.2. Bahan Magnetik 5
2.1.3. Kutub Magnet dan Garis Gaya Magnet 8
2.1.4. Medan Magnet 9
2.1.5. Magnet *Neodymium* 10
2.1.6. Solenoida 10
2.1.7. Kontroler 11
2.1.8. Penalaan (Tuning) Parameter Kontroler PID Metode Kurva Reaksi Ziegler Nichols 15
2.1.9. PWM 17
2.1.10. Arduino Nano 17
2.1.11. Arduino IDE 19
2.1.12. Modul Driver BTS7960 20
2.1.13. Sensor Ultrasonik HC-SR04 22
BAB III PERANCANGAN ALAT 24
3.2. Perancangan Hardware 24
3.1.1. Perancangan Sistem Kerja Hardware 24
3.1.2. Perancangan Modul Sistem Pelayangan Magnetik 25
3.1.3. Perancangan Komponen Elektronika sebagai Kontroler Modul Sistem Pelayangan Magnetik 27
3.2. Perancangan Software 32
3.2.1. Daftar Program Tuning Konstanta PID 33

3.2.2. Daftar Program Kontrol PID 34
3.3. Pengujian dan Pengambilan Data 34
3.3.1. Pengujian Hardware 34
3.3.2. Tuning Konstanta PID 35
3.3.3. Pengujian Software 35
BAB IV DATA DAN ANALISA 37
4.1. Pengujian Hardware 37
4.1.1. Pengujian Solenoida dan Sensor HC-SR04 dengan Input Tegangan 1-24 volt 37
4.1.2. Pengujian Solenoida dan Sensor HC-SR04 dengan Input PWM 10-250 40
4.2. Pengujian Respon Sistem *Open-loop* tanpa Kontrol 43
4.3. Pengujian Respon Kontrol PID 45
4.3.1. Pengujian Tipe Kontroler P 45
4.3.2. Pengujian Tipe Kontroler PI 49
4.3.3. Pengujian Tipe Kontroler PID 53
BAB V PENUTUP 58
5.1. Kesimpulan 58
5.2. Saran 58
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN 60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penalaan parameter PID dengan metoda kurva reaksi 17
Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino Nano 328 19
Tabel 2.4 Spesifikasi driver BTS7960 21
Tabel 2.5 tabel kebenaran driver BTS7960 21
Tabel 2.6 Spesifikasi sensor HC-SR04 22
Tabel 3.1 Spesifikasi solenoida yang dibuat 26
Tabel 3.2 Instalasi pin Arduino Nano pada komponen lain pada modul sistem pelayangan magnetik 28
Tabel 4.1 Hasil pengujian solenoida dan sensor HC-SR04 dengan *input* tegangan ... 37
Tabel 4.2 Hasil pengujian solenoida dan sensor HC-SR04 dengan *input* PWM 40
Tabel 4.3 Hasil pengujian respon sistem *open-loop* tanpa kontrol 43
Tabel 4.4 Hasil pengujian respon tipe kontroler P dengan *input setpoint* 15mm 45
Tabel 4.5 Hasil pengujian respon tipe kontroler P dengan *input setpoint* 30mm 47
Tabel 4.6 Hasil pengujian respon tipe kontroler PI dengan *input setpoint* 15mm 49
Tabel 4.7 Hasil pengujian respon tipe kontroler PI dengan *input setpoint* 30mm 51
Tabel 4.8 Hasil pengujian respon tipe kontroler PID dengan *input setpoint* 15mm ... 53
Tabel 4.9 Hasil pengujian respon tipe kontroler PID dengan *input setpoint* 30mm ... 55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Magnet elementer pada benda bukan magnet 7
Gambar 2.2 Magnet elementer pada magnet..... 7
Gambar 2.3 Magnet batang dengan garis gaya magnetnya..... 8
Gambar 2.4 Garis gaya magnet dua magnet batang dengan kutub berlawanan yang dihadapkan 8
Gambar 2.5 Garis gaya magnet pada dua magnet batang dengan kutub sejenis yang dihadapkan 9
Gambar 2.6 Garis gaya magnet dan arahnya 9
Gambar 2.7 Pola yang terbentuk oleh pasir besi di sekitar sebuah magnet 10
Gambar 2.8 Diagram blok sistem kontrol proporsional..... 11
Gambar 2.9 Diagram blok sistem kontrol integral..... 12
Gambar 2.10 Diagram blok sistem kontrol diferensial 13
Gambar 2.11 Diagram blok kontroler PID..... 14
Gambar 2.13 Sinyal keluaran sistem dengan sinyal masukan step..... 16
Gambar 2.14 Penggambaran garis singgung pada kurva S..... 16
Gambar 2.18 Antarmuka Arduino Nano 328..... 18
Gambar 2.19 Tampilan antarmuka Arduino IDE..... 20
Gambar 2.20 Sensor HC-SR04 22
Gambar 3.1 Diagram sistem pelayangan magnetik..... 24
Gambar 3.2 Solenoida dengan lilitan yang telah ditutupi dengan isolasi kertas..... 25
Gambar 3.3 Rancangan modul sistem pelayangan magnetik..... 26
Gambar 3.4 Mikrokontroler Arduino Nano 328 28
Gambar 3.5 Modul driver BTS7960 tampak atas 29
Gambar 3.6 Modul driver BTS7960 tampak bawah 30
Gambar 3.7 Power Supply 24 volt 10 A 30
Gambar 3.8 Modul stepdown DC to DC..... 31

Gambar 3.9 Sensor HC-SR04 yang dipasang pada mounting akrilik 32
Gambar 3.10 Diagram alur program sistem kontrol PID 33
Gambar 3.11 Skema pengujian solenoida dengan input tegangan 34
Gambar 3.12 Skema pengujian solenoida dengan input PWM 35
Gambar 3.13 Skema pengujian respon sistem open-loop tanpa kontrol dengan input PWM maksimal 35
Gambar 3.14 Pengujian respon sistem dengan kontrol PID 36
Gambar 4.1 Grafik perubahan arus solenoida terhadap tegangan input 1-24 volt 38
Gambar 4.2 Grafik perubahan jarak yang terbaca oleh sensor HC-SR04 terhadap tegangan *input* 1-24 volt 39
Gambar 4.3 Grafik perubahan jarak terukur oleh jangka sorong terhadap tegangan *input* 1-24 volt 39
Gambar 4.4 Grafik perubahan tegangan solenoida terhadap input PWM sebesar 10-250 41
Gambar 4.5 Grafik perubahan arus solenoida terhadap input PWM sebesar 10-250 . 42
Gambar 4.6 Grafik perubahan jarak yang terbaca sensor HC-SR04 terhadap *input* PWM sebesar 10-250 42
Gambar 4.7 Grafik perubahan jarak terukur oleh jangka sorong terhadap *input* PWM sebesar 10-250 43
Gambar 4.8 Grafik respon sistem *open-loop* tanpa kontrol 44
Gambar 4.9 Penarikan garis singgung pada perubahan(infleksi) berdasarkan grafik respon yang didapat 44
Gambar 4.10 Grafik respon tipe kontroler P dengan *input* setpoint 15mm 47
Gambar 4.11 Grafik respon tipe kontroler P dengan *input* setpoint 30mm 49
Gambar 4.12 Grafik respon tipe kontroler PI dengan *input* setpoint 15mm 50
Gambar 4.13 Grafik respon tipe kontroler PI dengan *input setpoint* 30mm 52
Gambar 4.14 Grafik respon tipe kontroler PID dengan input setpoint 15mm 55
Gambar 4.15 Grafik respon tipe kontroler PID dengan *input setpoint* 30mm 57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar program untuk tuning konstanta PID
Lampiran 2 Daftar program untuk kontrol PID
Lampiran 3 Daftar Program untuk pengujian tipe kontroler P untuk set point 15mm
Lampiran 4 Daftar Program untuk pengujian tipe kontroler P untuk set point 30mm
Lampiran 5 Daftar Program untuk pengujian tipe kontroler PI untuk set point 15mm
Lampiran 6 Daftar Program untuk pengujian tipe kontroler PI untuk set point 30mm
Lampiran 7 Daftar Program untuk pengujian tipe kontroler PID untuk set point 15mm
Lampiran 8 Daftar Program untuk pengujian tipe kontroler PID untuk set point 30mm
Lampiran 9 Lembar Revisi dan Tugas Sarjana
Lampiran 10 Lembar Revisi dan Tugas Sarjana
Lampiran 11 Lembar Revisi dan Tugas Sarjana
Lampiran 12 Hasil Turnitin