

repository.ub.ac.id

**DESAIN SISTEM *BALANCING* DENGAN SENSOR FSR
(*FORCE SENSING RESISTOR*) MENGGUNAKAN KONTROL PID
PADA SISTEM KAKI ROBOT SEPAK BOLA**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ESA ILHAM AKBAR

NIM. 145060301111039

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

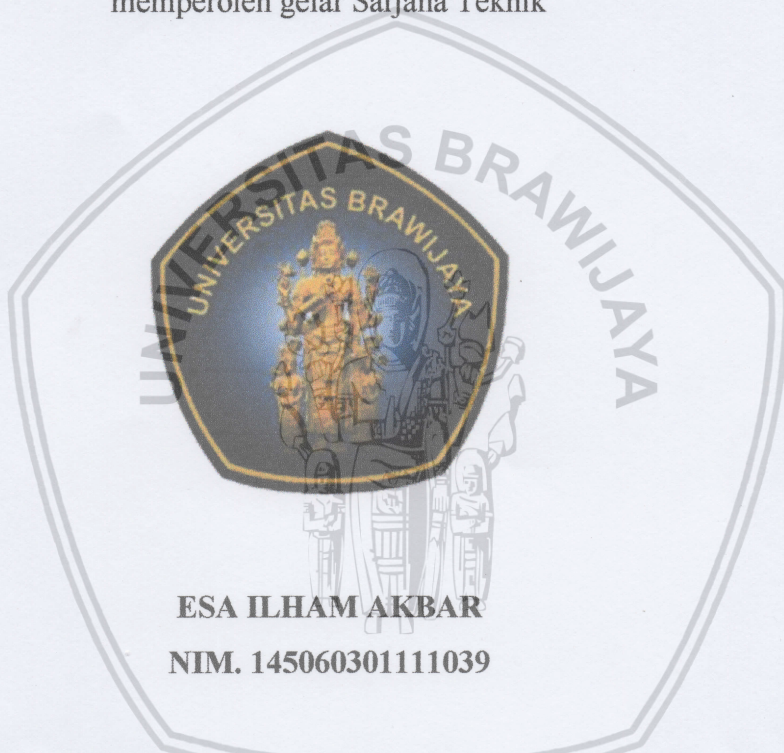
MALANG

2018



LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN SISTEM *BALANCING* DENGAN SENSOR FSR
(*FORCE SENSING RESISTOR*) MENGGUNAKAN KONTROL PID
PADA SISTEM KAKI ROBOT SEPAK BOLA
SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

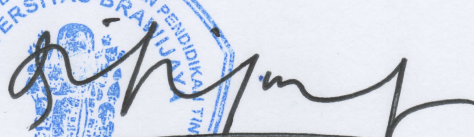


ESA ILHAM AKBAR
NIM. 145060301111039

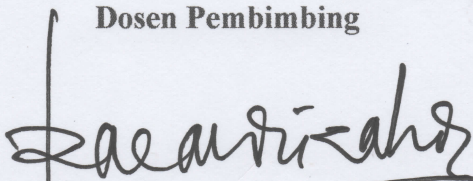
Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 6 November 2018

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro


Hadi Suyono ST., MT., Ph.D. IPM
NIP. 19730520 200801 1 013

Dosen Pembimbing


Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.
NIP. 19700329 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

DESAIN SISTEM *BALANCING* DENGAN SENSOR FSR (*FORCE SENSING RESISTOR*)
MENGUNAKAN KONTROL PID PADA SISTEM KAKI ROBOT SEPAK BOLA

Nama Mahasiswa : ESA ILHAM AKBAR
NIM : 145060301111039
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA

Komisi Pembimbing :

Ketua : Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Akhmad Zainuri, S.T., M.T.

Dosen Penguji 2 : Adharul Muttaqin, S.T., M.T.

Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. M. Aswin, M.T.

Tanggal Ujian : 26 Oktober 2018

SK Penguji : 2418 Tahun 2018

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 5 November 2018

Mahasiswa,



ESA ILHAM AKBAR

NIM. 145060301111039

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



RINGKASAN

Esa Ilham Akbar, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2018, *Desain Sistem Balancing Dengan Sensor FSR (Force Sensing Resistor) Menggunakan Kontrol PID Pada Sistem Kaki Robot Sepak Bola*, Dosen Pembimbing: Panca Mudjirahardjo.

Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) *Humanoid* adalah salah satu kategori perlombaan dalam Kontes Robot Indonesia (KRI) yang diselenggarakan oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (Dirjen Dikti) setiap tahun. Pada kompetisi ini, robot memiliki misi untuk bermain sepak bola layaknya manusia bermain sepak bola secara umum yang mengacu sesuai dengan peraturan yang telah ada. Setiap robot diwajibkan memiliki kemampuan dasar seperti, berjalan menuju bola, deteksi keberadaan bola dan menendang bola. Untuk menunjang kemampuan robot dalam hal bergerak atau bermanuver, dibutuhkan sistem keseimbangan yang baik pada robot. Pada sistem ini digunakan sensor FSR (*Force Sensing Resistor*) yang berfungsi untuk mendeteksi perbedaan tekanan pada bagian kaki robot.

Sistem keseimbangan yang akan diteliti difokuskan pada bagian kaki robot. Untuk bisa mendeteksi kondisi keseimbangan pada robot digunakan dua buah *sensor* FSR yang diletakkan pada ujung depan dan ujung belakang pada bagian telapak kaki robot. *Sensor* FSR digunakan karena memiliki dimensi yang kecil, serta digunakan sebagai selektor keseimbangan dengan penentuan *set point*. Pada sistem ini juga akan dipadukan menggunakan kontrol PID, agar didapatkan nilai *set point* yang lebih akurat. Penentuan hasil parameter kontrol PID menggunakan metode osilasi Ziegler-Nichols. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh nilai $K_p = 0,0732$, $K_i = 0,1117$ dan $K_d = 0,0119$.

Kata kunci: KRSBI Divisi *Humanoid*, Sensor FSR (*Force Sensing Resistor*), Sistem Keseimbangan, Kontrol PID.

SUMMARY

Esa Ilham Akbar, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Brawijaya University, 2018, Balancing System Design with FSR (Force Sensing Resistor) Sensor Using PID Control on Soccer Robot Foot System, Academic Supervisor: Panca Mudjirahardjo.

The Humanoid Indonesian Soccer Robot Contest is one of the competition categories in the Indonesian Robot Contest held by the Directorate General of Higher Education every year. In this competition, the robot has a mission to play soccer like humans play soccer in general which refers to the existing rules. Each robot is required to have basic abilities such as walking towards the ball, detecting the existence of the ball and kicking the ball. To support the robot's ability to move or maneuver, a good balance system is needed in the robot. In this system FSR (Force Sensing Resistor) sensor is used to detect the pressure difference in the robot's legs.

The balance system to be studied is focused on the robot's leg. To be able to detect the balance conditions on the robot, two FSR sensors are placed on the front end and the back end of the robot's sole. The FSR sensor is used because it has a small dimension, and is used as a balance selector by determining the set point. This system will also be combined using a PID control, to obtain a more accurate set point value. Determination of the results of PID control parameters using Ziegler-Nichols oscillation method. Based on the results of this study obtained the value of $K_p = 0.0732$, $K_i = 0.1117$ and $K_d = 0.0119$.

Keywords: KRSBI Humanoid Division, FSR (Force Sensing Resistor) Sensor, Balancing System, PID Control.



PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala petunjuk dan nikmat-Nya lah skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi berjudul “*Desain Sistem Balancing Dengan Sensor FSR (Force Sensing Resistor) Menggunakan Kontrol PID Pada Sistem Kaki Robot Sepak Bola*” ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan dan hidayah-Nya.
- Ayah Hendri Joelianto dan Ibu Mudjiani selaku orang tua penulis atas segala inspirasi, nasehat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya didalam membesarkan dan mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
- Adik Diash Aldiansyah atas doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
- Yang Terhormat Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Yang Terhormat Ibu Ir. Nurussa’adah, MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Yang Terhormat Bapak Raden Arief Setyawan, S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
- Yang Terhormat Bapak Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
- Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Seluruh staff recording Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Keluarga Besar “Tim Robot 2014” atau asisten Laboratorium Mekatronika angkatan 2014 atas segala pengalaman, kebersamaan dan bantuan.
- Keluarga Besar Tim Robotika TEUB terkhusus sub divisi KRSBI atas segala pengalaman, kebersamaan dan bantuan selama ini.
- Saudara – saudara “DIODA” angkatan 2014 atas segala bantuan dan kebersamaan yang telah diberikan selama 4 tahun ini.

- Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Seluruh teman-teman serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan satu-persatu, terimakasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, November 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kontes Robot Sepak Bola Indonesia.....	5
2.3 Sensor FSR (<i>Force Sensing Resistor</i>).....	7
2.4 Kontroler.....	9
2.4.1 Kontroler Proporsional	9
2.4.2 Kontroler Integral.....	9
2.4.3 Kontroler Difrensial	10
2.4.4 Kontroler PID.....	11
2.5 Tuning Parameter Kontroler PID dengan Metode Ziegler-Nichols.....	11
2.6 Komunikasi <i>Serial Asinkron</i>	14
2.7 <i>Servo Serial Dynamixel</i>	15
2.8 Rangkaian Pembagi Tegangan	16
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Penentuan Spesifikasi Alat	19
3.2 Perancangan Dan Perealisasian Alat	19
3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	19
3.2.2 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Pengujian Sensor FSR.....	27
4.2 Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan	29

4.3 Pengujian <i>Servo Serial Dynamixel</i>	31
4.4 Pengujian <i>Tuning</i> Parameter Kontrol PID.....	33
4.5 Pengujian Keseluruhan Sistem	36
BAB V PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

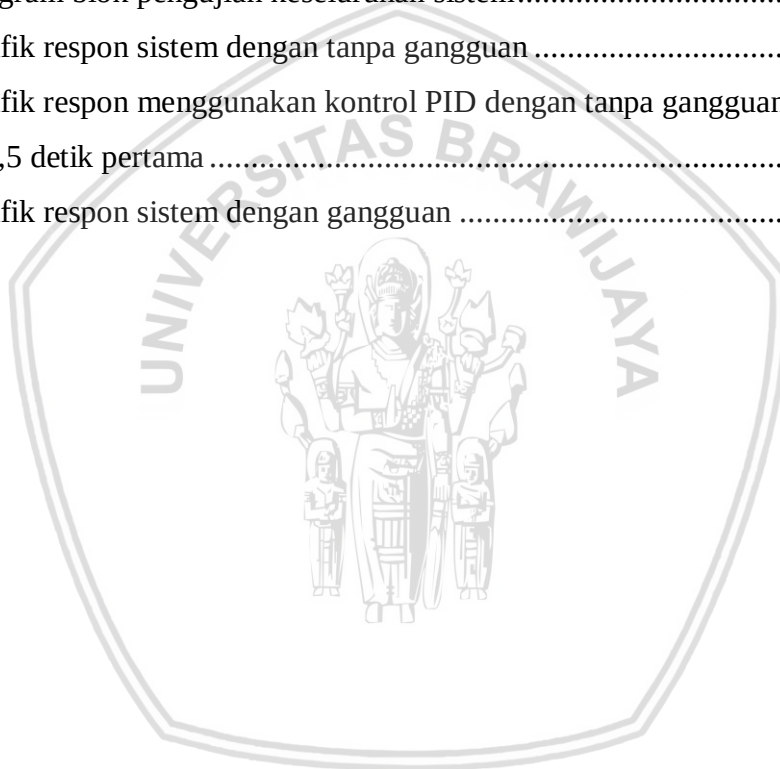
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>Technical specification</i> pada arduino nano.....	7
Tabel 2.2	Aturan penalaran Ziegler-Nichols berdasarkan respon <i>unit step</i> dari <i>plant</i>	13
Tabel 2.3	Aturan dasar Ziegler-Nichols berdasarkan <i>critical gain</i> Kcr dan <i>critical period</i> Pcr	14
Tabel 4.1	Hasil pengujian tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan terhadap perubahan resistansi sensor FSR	30
Tabel 4.2	Hasil pengujian sudut <i>servo serial dynamixel</i>	32
Tabel 4.3	Hasil pengujian <i>tuning</i> dengan meningkatkan nilai kontroler proporsional.....	34



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Ilustrasi kondisi lapangan.....	5
Gambar 2.2	Arduino nano	6
Gambar 2.3	Grafik hubungan antara resistansi dan tekanan yang diberikan	8
Gambar 2.4	Bentuk lapisan penampang pada sensor FSR.....	8
Gambar 2.5	Diagram kontroler proporsional	9
Gambar 2.6	Diagram kontroler integral	10
Gambar 2.7	Diagram kontroler defrensial.....	10
Gambar 2.8	Diagram kontroler proporsional integral dan difrensial	11
Gambar 2.9	Respon <i>plant</i> terhadap masukan berupa <i>unit step</i>	12
Gambar 2.10	Kurva respon yang berbentuk s	12
Gambar 2.11	Sistem <i>loop</i> tertutup dengan kontroler proporsional.....	13
Gambar 2.12	Osilasi berkesinambungan dengan periode pcr	14
Gambar 2.13	Format pengiriman data komunikasi <i>serial asinkron</i>	15
Gambar 2.14	Sistem pengontrolan <i>servo serial dynamixel</i>	15
Gambar 2.15	Paket instruksi pengiriman data pada <i>servo serial dynamixel</i>	16
Gambar 2.16	<i>Pinout servo serial dynamixel</i>	16
Gambar 2.17	Rangkaian pembagi tegangan.....	17
Gambar 3.1	Diagram blok keseluruhan.....	20
Gambar 3.2	Perspektif robot secara keseluruhan.....	21
Gambar 3.3	Tata letak sensor FSR pada telapak kaki robot.....	21
Gambar 3.4	Antarmuka mikrokontroler utama	22
Gambar 3.5	Diagram blok catu daya sistem keseluruhan	22
Gambar 3.6	Rangkaian pembagi tegangan perancangan	23
Gambar 3.7	Diagram alir algoritma utama	24
Gambar 3.8	Diagram blok kendali sistem	24
Gambar 3.9	Diagram alir algoritma kontroler PID	26
Gambar 4.1	Diagram blok pengujian sensor FSR	28
Gambar 4.2	Grafik hasil pengujian resistansi sensor FSR terhadap perubahan tekanan	28
Gambar 4.3	Diagram blok pengujian rangkaian pembagi tegangan.....	29

No.	Judul	Halaman
Gambar 4.4	Grafik hasil pengujian tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan terhadap perubahan resistansi sensor FSR.....	30
Gambar 4.5	Diagram blok pengujian <i>servo serial dynamixel</i>	31
Gambar 4.6	<i>Servo serial dynamixel</i> yang digabungkan dengan busur 360°	32
Gambar 4.7	Diagram blok pengujian <i>tuning</i> parameter kontrol PID.....	34
Gambar 4. 8	Grafik respon saat terjadi osilasi berkesinambungan mendekati nilai <i>set point</i> dengan nilai $k_p=0,0732$, $k_i=0,1117$ dan $k_d=0,0119$	35
Gambar 4.9	Grafik respon dengan nilai $k_p=0,0732$, $k_i=0,1117$ dan $k_d=0,0119$	36
Gambar 4.10	Diagram blok pengujian keseluruhan sistem.....	37
Gambar 4.11	Grafik respon sistem dengan tanpa gangguan	37
Gambar 4.12	Grafik respon menggunakan kontrol PID dengan tanpa gangguan untuk 15,5 – 24,5 detik pertama	38
Gambar 4.13	Grafik respon sistem dengan gangguan	38



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Dokumentasi alat.....	45
Lampiran 2.	<i>Main board</i>	49
Lampiran 3.	<i>Listing program</i>	53
Lampiran 4.	<i>Datasheet</i>	63



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

KRSBI (Kontes Robot Sepak Bola Indonesia) adalah salah satu program kreatifitas mahasiswa di bawah kegiatan induk Kontes Robot Indonesia (KRI) yang pada tahun 2017 memasuki tahun ke-17 sejak pertama kali diadakan. Sesuai dengan *Road Map* kegiatan ini dinilai sangat strategis untuk dapat menjadi salah satu unggulan obyek penelitian dan edukasi rekayasa robotika tingkat dunia dengan kiblat langsung kepada komunitas yang sama di seluruh dunia. Kontes ini menjadi ajang kualifikasi nasional untuk mewakili Indonesia dalam *RoboCup* yang merupakan kompetisi robot sepakbola resmi tingkat dunia di bawah organisasi *RoboCup* (<http://www.robocup.org>), seperti organisasi FIFA dalam kejuaraan dunia sepakbola manusia (RISTEKDIKTI, 2017).

Sesuai dengan namanya: *humanoid league*, maka dalam divisi ini peserta diharuskan membuat robot *humanoid*, robot mirip manusia dengan tinggi tertentu yang dapat bermain sepakbola seperti pada pertandingan sepakbola manusia. Aturan pertandingannya disesuaikan dengan *road map RoboCup* hingga tahun 2050. Untuk *rule KRSBI Humanoid* tahun 2017 tinggi robot harus berkisar antara 40 hingga 90 cm, bermain di lapangan rumput sintetis berukuran (6 x 9) meter. Bola yang digunakan adalah bola standar FIFA ukuran nomer-1 (RISTEKDIKTI, 2017).

Sesuai dengan arahan pemerintah melalui Direktorat Kemahasiswaan, Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi untuk makin banyak mengirim pemenang dan hasil-hasil kontes robot di tingkat nasional ke tingkat internasional maka KRSBI *Humanoid* ini digelar kembali di tahun 2017. Tujuannya adalah agar mahasiswa Indonesia makin terpacu untuk berkarya dan berprestasi di tingkat dunia melalui ajang kreatifitas kontes robot (RISTEKDIKTI, 2017).

Untuk mengikuti kompetisi KRSBI, setiap robot peserta diwajibkan mampu memiliki kemampuan dasar untuk bermanuver. Manuver yang dimaksud adalah robot diharuskan bisa berjalan menuju bola, menendang bola dan manuver lainnya.

Permasalahan yang ada selama ini untuk robot *humanoid* ini adalah kurang seimbangnya robot disaat melakukan gerakan-gerakan tersebut, yang kadang kala mengakibatkan robot terjatuh.

Maka dari itu, dirancang suatu sistem keseimbangan dengan sensor FSR menggunakan kontrol PID. Sensor FSR digunakan sebagai selektor kondisi untuk menentukan bahwa robot dalam keadaan seimbang atau tidak, dengan penentuan *set point*. Sensor ini dipilih karena dalam hal keseimbangan bukan hanya perihal kemiringan sudut saja, tetapi berat robot juga berpengaruh dalam penentuan keseimbangan. Kontrol PID sendiri digunakan agar dapat memanipulasi pergerakan *plant* yang berupa motor dc *servo* dengan tujuan mengurangi nilai *error*, sehingga didapatkan kondisi keluaran sistem yang sesuai dengan *set point*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menggunakan sensor FSR (*Force Sensing Resistor*) sebagai bagian dalam sistem *balancing* robot?
2. Bagaimana menerapkan kontrol PID sebagai pengontrol kestabilan robot dalam menjaga keseimbangan?

1.3 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, batasan masalah untuk skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini berfokus pada sistem kaki robot
2. Penelitian ini menggunakan dua buah sensor FSR (*Force Sensing Resistor*)
3. Pada robot hanya terdiri dari satu DOF (*Degree Of Freedom*)
4. Pergerakan robot dalam proses *balancing* hanya pada satu sumbu, yaitu kearah depan atau kearah belakang.

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembahasan ini yaitu merancang suatu sistem yang mampu mengontrol keseimbangan pada robot, sehingga diharapkan kemampuan robot dalam hal mengontrol keseimbangan secara *autonomous* dapat dijalankan dengan sebaik mungkin.

1.5 Manfaat

Manfaat utama dari skripsi ini yaitu membantu sistem keseimbangan robot ketika menjalankan berbagai manuver dengan baik dan optimal.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori – teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang metode - metode yang dipakai dalam melakukan perancangan, pengujian, dan analisis data.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Memuat aspek pengujian meliputi penjelasan tentang cara pengujian dan hasil pengujian, aspek analisis meliputi penilaian atau komentar terhadap hasil-hasil pengujian. Pengujian dan analisis ini terhadap alat yang telah direalisasikan berdasarkan masing - masing blok dan sistem secara keseluruhan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat intisari hasil pengujian dan menjawab rumusan masalah serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan kualitas penelitian di masa yang akan datang.

BAB II

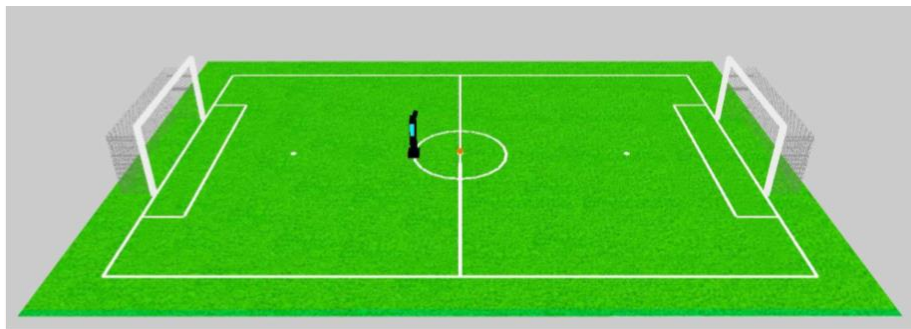
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kontes Robot Sepak Bola Indonesia

Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) *Humanoid* 2017 adalah penyelenggaraan KRSBI tahun ke-5 semenjak KRSBI diadakan pertama kali di tahun 2013. Cikal bakal KRSBI adalah Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) *Robo Soccer Humanoid League* (RSHL) tahun 2012 yang sebelumnya pada tahun 2011 bernama KRCI *Expert Battle* (RISTEKDIKTI, 2017).

Aturan main dalam KRSBI tahun 2016 divisi *KidSize Humanoid League* ini diadopsi dari *RoboCup Soccer Humanoid League Rules* yang digunakan dalam RoboCup 2015 divisi *Humanoid League* tipe *KidSize* di Hefei - China. Robot dalam divisi *KidSize* ini berukuran antara 40 hingga 90 cm. Secara umum setiap pertandingan antara dua tim yang berhadap-hadapan dilaksanakan dalam waktu (2 x 5) menit atau (2 x 10) menit dengan masa istirahat di paruh pertandingan selama maksimal 5 menit. Setiap tim terdiri dari maksimal 5 (lima) robot *humanoid* yang salah satunya harus diprogram sebagai penjaga gawang dengan satu hingga empat lainnya sebagai pemain penyerang atau bertahan. Dalam pertandingan minimal 1 (satu) dan maksimal 5 (lima) robot boleh diturunkan untuk bermain (RISTEKDIKTI, 2017).

Perbedaan tingkat kesulitan bila dibanding dengan Rule KRSBI 2015 adalah bahwa lapangan KRSBI 2016 ini telah menggunakan rumput sintetis (RISTEKDIKTI, 2017). Ilustrasi kondisi lapangan pada KRSBI dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ilustrasi kondisi lapangan
Sumber : RISTEKDIKTI (2017, p.14)

2.2 Mikrokontroler Arduino

Arduino adalah nama keluarga papan mikrokontroler yang awalnya dibuat oleh perusahaan *Smart Projects*. Salah satu tokoh penciptanya adalah Massimo Banzi. Papan ini merupakan perangkat keras yang bersifat “*open source*” sehingga boleh dibuat oleh siapa saja.

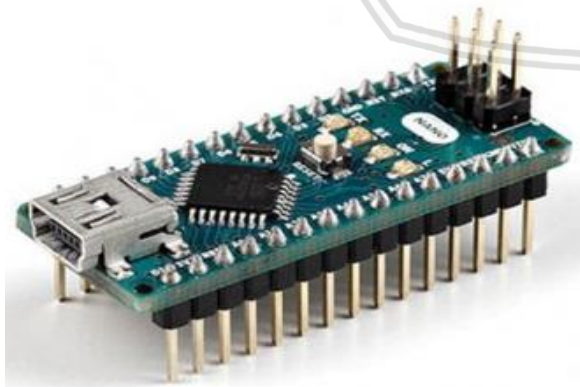
Arduino dibuat dengan tujuan untuk memudahkan eksperimen atau perwujudan berbagai peralatan yang berbasis mikrokontroler, misalnya:

- Pemantau ketinggian air di waduk,
- Pelacakan lokasi mobil,
- Penyiraman tanaman secara otomatis,
- Otomasi akses pintu ruangan, dan
- Pendeteksi keberadaan orang untuk pengambilan keputusan.

Berbagai jenis kartu Arduino tersedia, antara lain Arduino Uno, Arduino Deicimila, Arduino Duemilanove, Arduino Leonardo, Arduino Mega, dan Arduino Nano. Walaupun ada berbagai jenis kartu Arduino, secara prinsip pemrograman yang diperlukan menyerupai. Hal yang membedakan adalah kelengkapan fasilitas dan pin-pin yang digunakan (Kadir, A., 2015, p.2).

2.2.1 Arduino Nano

Arduino Nano adalah *board* mikrokontroler kecil, lengkap, dan sangat bersahabat dengan *projectboard* atau *breadboard* dengan berdasarkan ATmega328. *Board* ini memiliki lebih atau kurang fungsi yang sama dari Arduino Duemilanove, namun dalam paket yang berbeda. Memiliki colokan listrik DC (*Direct Current*) dan bekerja dengan kabel *USB Mini* tipe B .



Gambar 2.2 Arduino nano
Sumber: store.arduino.cc

Tabel 2.1

Technical Specification Pada Arduino Nano

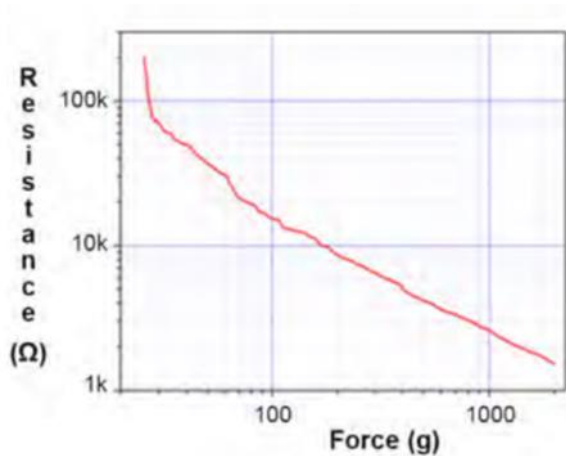
<i>Microcontroller</i>	ATmega328
<i>Architecture</i>	AVR
<i>Operating Voltage</i>	5 V
<i>Flash Memory</i>	32 KB of which 2 KB used by bootloader
<i>SRAM</i>	2 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>Analog I/O Pins</i>	8
<i>EEPROM</i>	1 KB
<i>DC Current per I/O Pins</i>	40 mA (I/O Pins)
<i>Input Voltage</i>	7-12 V
<i>Digital I/O Pins</i>	22
<i>PWM Output</i>	6
<i>Power Consumption</i>	19 mA
<i>PCB Size</i>	18 x 45 mm
<i>Weight</i>	7 g
<i>Product Code</i>	A000005

Sumber: store.arduino.cc

Perangkat lunak yang dibutuhkan untuk melakukan pemrograman pada Arduino adalah Arduino IDE. Untuk melakukan *uploading sketch* bisa dilakukan dengan perantara *USB port* yang ada pada *board* mikrokontroler.

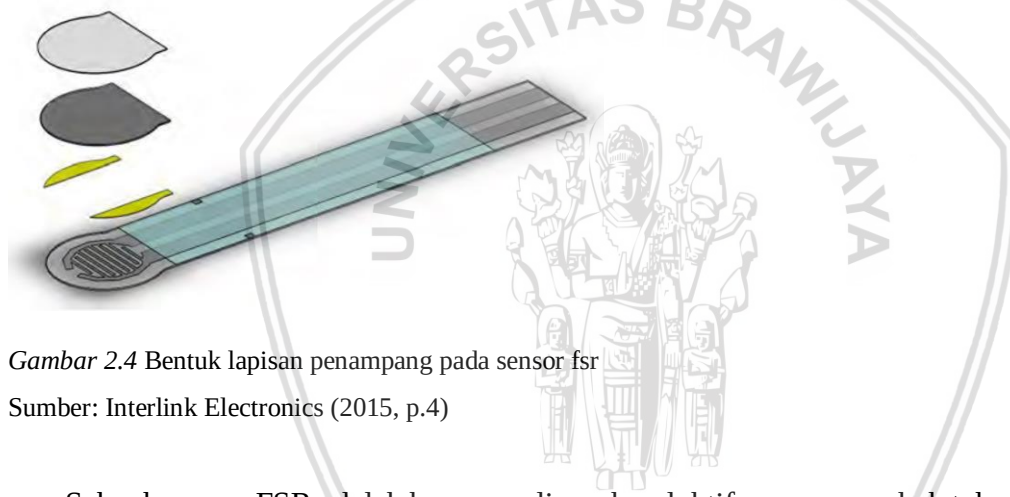
2.3 Sensor FSR (*Force Sensing Resistor*)

Sensor FSR dikenal sebagai sensor tekan atau beban. Sensor FSR adalah jenis sensor yang mengalami perubahan nilai resistansinya pada saat sensor tersebut diberi tekanan. Nilai resistansi berbanding terbalik dengan gaya atau tekanan yang diberikan kepada sensor, yaitu nilai resistansi berkurang pada saat tekanan yang diberikan kepada sensor besar, begitu juga sebaliknya. Sensor FSR terdiri dari beberapa bentuk dan ukuran. Dasar dari sensor FSR adalah tombol bulat kecil akan tetapi ada juga sensor FSR yang persegi panjang yang disesuaikan dengan penggunaan dan yang digunakan sesuai besar tekanan. Bahkan tersedia juga matriks FSR yang dapat merasakan x, y posisi dan tekanan. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara tekanan yang diberikan dengan nilai resistansinya (Darma, G. P. & Wendanto, W., 2015).



Gambar 2.3 Grafik hubungan antara resistansi dan tekanan yang diberikan

Sumber: Interlink Electronics (2015, p.3)



Gambar 2.4 Bentuk lapisan penampang pada sensor fsr

Sumber: Interlink Electronics (2015, p.4)

Sebuah sensor FSR adalah berupa polimer konduktif yang mengubah tekanan dengan cara memprediksi aplikasi gaya ke permukaan. Biasanya berupa lembaran polimer yang telah memiliki *resistive film* yang juga diterapkan dalam melakukan penyablonan. *Resistive film* terdiri dari dua buah komponen elektrik konduktor dan non konduktor partikel dalam matriks. Ukuran partikel adalah dari urutan kelompok mikron dan diformulasikan untuk mengurangi pengaruh suhu, juga meningkatkan sifat mekanik dan meningkatkan daya tahan permukaan sensor. Memberikan tekanan ke permukaan *resistive film* menyebabkan partikel menyentuh elektroda kemudian mengubah hambatan film. Seperti semua sensor yang berbasis resistor resistif sensitif membutuhkan antarmuka yang relatif sederhana dan dapat beroperasi secara maksimal dalam lingkungan yang cukup bersahabat (Darma, G. P. & Wendanto, W., 2015).

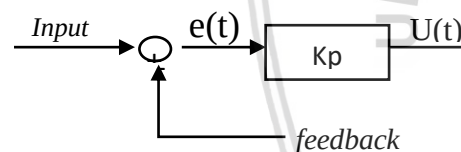
2.4 Kontroler

Kontroler dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Hal itu disebabkan oleh tidak dapat dirubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan kontroler.

Salah satu fungsi kontroler adalah mengurangi sinyal *error*, sinyal *error* adalah perbedaan nilai *setpoint* dengan nilai *output plant*. Adalah nilai aktual yang terukur pada *output plant*. Semakin kecil nilai sinyal *error* maka kinerja sistem kontrol dinilai semakin baik. Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai *output* dengan nilai *setpoint*, menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata, 1997).

2.4.1 Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki *output* yang besarnya sebanding dengan besarnya sinyal *error*. *Output* kontroler merupakan perkalian antara penguatan proporsional dengan sinyal *error*. Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan oleh gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram blok kontroler proporsional
Sumber: Siregar, M. S. (2018, p.9)

Dimana :

K_p = adalah *gain* proporsional

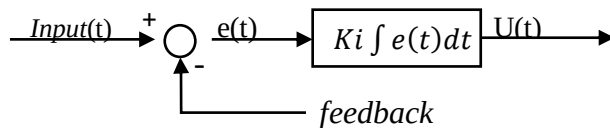
$e(t)$ = sinyal *error*

$u(t)$ = *ouput* keluaran

Penambahan K_p akan mempercepat kecepatan respon *transient* dan mengurangi *error steady state* (Siregar, M. S., 2018, p.9).

2.4.2 Kontroler Integral

Kontroler Integral memiliki karakteristik seperti sebuah operasi integral, *output* kontroler dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan perubahan nilai sinyal *error*. *Output* kontroler merupakan penjumlahan terus menerus dari perubahan sinyal *error*. Diagram blok kontroler integral ditunjukkan oleh gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram blok kontroler integral
Sumber: Siregar, M. S. (2018, p.9)

Dimana :

K_i = adalah *gain integral*

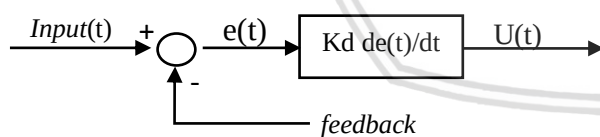
$E(t)$ = sinyal *error*

$U(t)$ = *output* kontroler

Aksi kontrol *integral* digunakan untuk menghilangkan sinyal error dalam *steady state*. Namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi, sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan *output* berosilasi karena menambah *orde system* (Siregar, M. S., 2018, p.10).

2.4.3 Kontroler Difrensial

Kontroler *difrensial* memiliki sifat seperti suatu operasi turunan. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat, kontroler ini tidak akan menghasilkan *output* saat sinyal *error* konstan sehingga tidak akan mempengaruhi keadaan mantap. Diagram blok kontroler *difrensial* ditunjukkan oleh gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram blok kontroler difrensial
Sumber: Siregar, M. S. (2018, p.10)

Dimana :

K_d = adalah *gain derivative*

$E(t)$ = sinyal *error*

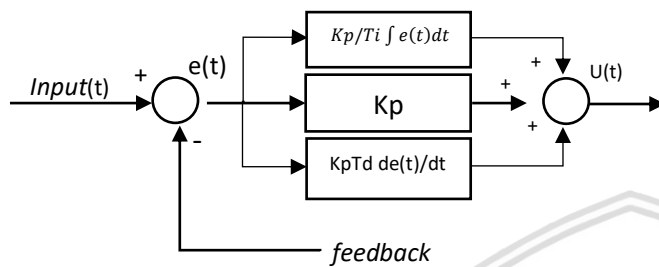
$U(t)$ = *output* kontroler

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon *transient*. Kontrol diferensial hanya berubah saat ada perubahan *error* sehingga saat *error* statis kontrol ini tidak

bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler diferensial tidak dapat dipakai sendiri (Siregar, M. S, 2018, p.10).

2.4.4 Kontroler PID

Kontroler PID merupakan gabungan aksi kontrol proporsional, integral dan difrensial yang terlihat dalam gambar 2.8 mempunyai keunggulan dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler.



Gambar 2.8 Diagram blok kontroler proporsional integral dan difrensial
Sumber: Siregar, M. S. (2018, p.11)

Dimana :

K_p = adalah penguatan *proportional*

T_i = adalah waktu *integral*

T_d = adalah waktu *derivative*

$e(t)$ = sinyal *error*

$u(t)$ = *output* kontroler

T_i merupakan waktu yang digunakan untuk mengatur aksi kontrol internal sedangkan T_d adalah waktu internal dengan laju aksi kontroler proporsional (Siregar, M. S., 2018, p.11). Sinyal keluaran PID didapat dari persamaan 2.1.

$$u(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}) \dots\dots\dots(2.1)$$

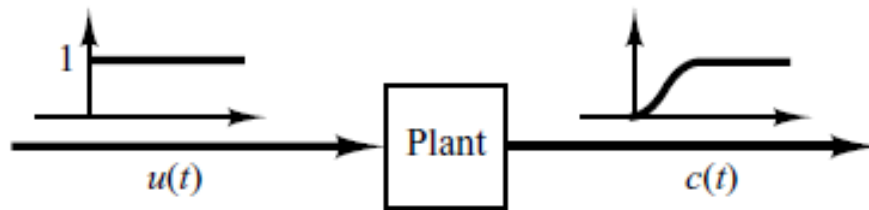
2.5 Tuning Parameter Kontroler PID dengan Metode Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari *gain* proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan *plant* (Ogata, K., 2010, p.569). Terdapat dua metode pada aturan penalaran Ziegler-Nichols, yaitu:



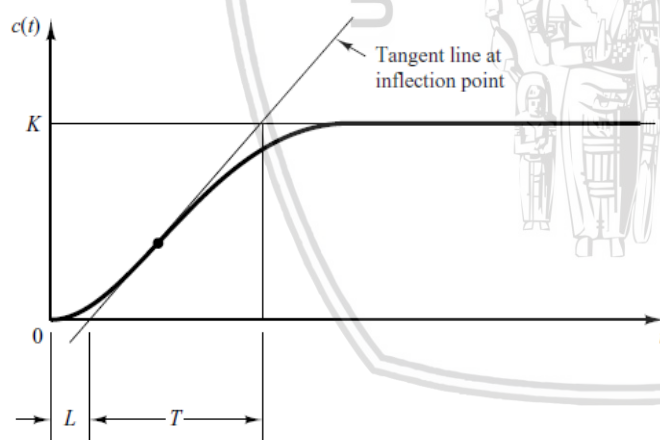
1.5.1 Metode Pertama

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari *plant* dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa *unit step*, seperti yang ditunjukkan dengan Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Respon *plant* terhadap masukan berupa *unit step*
Sumber: Ogata, K (2010, p.569)

Jika dalam *plant* tersebut terdapat integrator atau dominan *complex-conjugate poles*, maka kurva respon *unit step* berbentuk seperti huruf S, seperti ditunjukkan dengan Gambar 2.10. jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku (Ogata, K., 2010, p.569).



Gambar 2.10 Kurva respon yang berbentuk S
Sumber: Ogata, K (2010, p.569)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikkan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$.

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.2 (Ogata, K., 2010, p.570).

Tabel 2.2
Aturan Penalaran Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon *Unit Step* Dari *Plant*

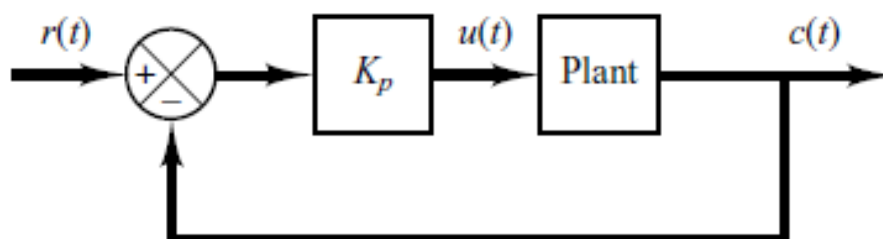
Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

Sumber: Ogata, K (2010, p.570)

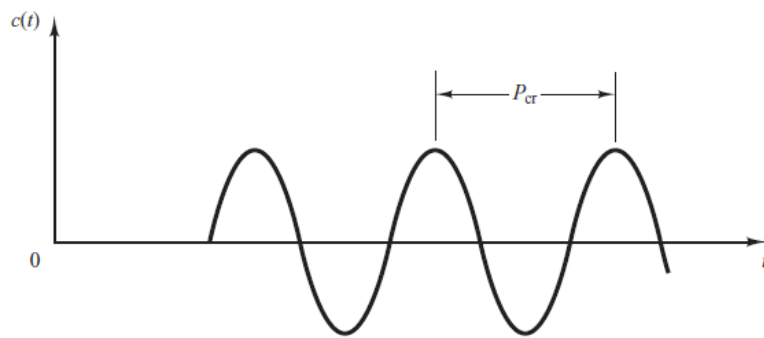
1.5.2 Metode Kedua

Dalam metode kedua Ziegler-Nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan.

Diagram blok sistem *loop* tertutup dengan kontroler proporsional ditunjukkan dengan Gambar 2.11 dan untuk osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr} ditunjukkan dengan Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Sistem *loop* tertutup dengan kontroler proporsional
Sumber: Ogata, K (2010, p.570)



Gambar 2.12 Osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr}
 Sumber: Ogata, K (2010, p.571)

Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p, T_i, T_d dan berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.3 (Ogata, K., 2010, p.571).

Tabel 2.3

Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan *Critical Gain* K_{cr} Dan *Critical Period* P_{cr}

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

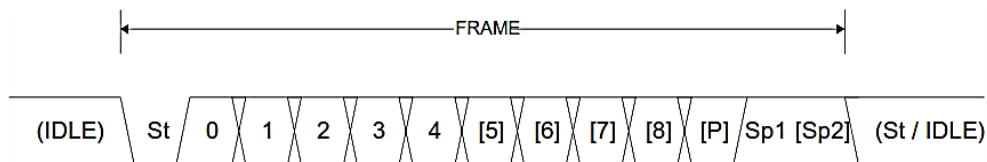
Sumber: Ogata, K (2010, p.571)

2.6 Komunikasi Serial Asinkron

Komunikasi serial asinkron adalah suatu komunikasi data serial yang tidak memerlukan sinyal *clock* sebagai sinkronisasi. Namun pengiriman data ini harus diawali dengan *start bit* dan diakhiri dengan *stop bit*. Sinyal *clock* merupakan *baud rate* dari komunikasi data yang dibangkitkan oleh masing-masing baik penerima maupun pengirim data dengan frekuensi yang sama, jika nilai *baud rate* berbeda maka tidak akan pernah terjadi komunikasi (Durda, F., 2014).

Komunikasi serial asinkron biasa disebut dengan istilah *Universal Asynchronous Receiver / Transmitter* (UART). Setiap pengiriman data pada UART menggunakan *bit* tanda *start bit* dan *stop bit*. Jalur data yang digunakan hanya satu untuk setiap pengiriman data. Data-data serial dikirim melewati jalur data satu persatu setiap satuan waktu. Paket data dimulai dengan *start bit* diikuti dengan *Least Significant Data Bit* (LSB). Data berikutnya adalah *bit* data yang

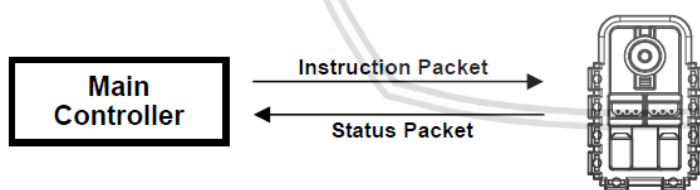
dibentuk hingga 9 bit dan diakhiri dengan *Most Significant Bit* (MSB). Jika diaktifkan, maka *bit parity* akan diletakkan setelah *bit* data. Paket data diakhiri dengan *stop bit*. Setelah melakukan pengiriman data, maka komunikasi bisa langsung dimulai lagi atau jalur komunikasi bisa diset ke logika tinggi (*idle*) contohnya format pengiriman data komunikasi *serial asinkron* ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Format pengiriman data komunikasi *serial asinkron*
Sumber : Atmel (2010, p.148)

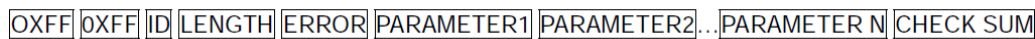
2.7 Servo Serial Dynamixel

Dynamixel adalah aktuator robot cerdas modular yang menggabungkan *gear reducer*, motor DC presisi dan sirkuit kontrol, semua dalam satu paket. Meskipun ukurannya ringkas, *servo serial dynamixel* dapat menghasilkan torsi tinggi dan dibuat dari bahan berkualitas tinggi untuk memberikan kekuatan yang diperlukan dan ketahanan untuk menahan kekuatan eksternal yang besar. *Servo serial dynamixel* ini juga memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan bertindak pada kondisi internal seperti perubahan suhu atau tegangan suplai. Aktuator *Dynamixel* memiliki banyak keunggulan dibandingkan produk sejenis. Posisi dan kecepatan dapat dikendalikan secara serial dengan resolusi 1024 step, adapun gambaran umum sistem pengontrolan *dynamixel* ditunjukkan dalam Gambar 2.14 (Robotis, 2006).



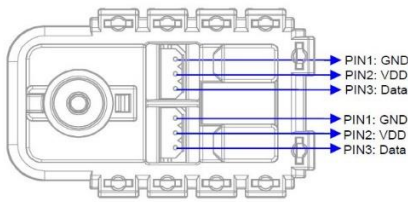
Gambar 2.14 Sistem pengontrolan *servo serial dynamixel*
Sumber : Robotis (2006, p.9).

Kontroler utama berkomunikasi dengan unit *Dynamixel* dengan mengirim dan menerima paket data. Ada dua jenis paket; "*Instruction Packet*" (dikirim dari kontroler utama ke aktuator *servo*) dan "*Status Packet*" (dikirim dari Aktuator untuk mikrokontroler utama). Struktur paket instruksi pada pengiriman data ke aktuator *servo serial* dapat dilihat pada Gambar 2.15, *pinout* dari *servo serial dynamixel* ditunjukkan dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.15 Paket instruksi pengiriman data pada servo serial dynamixel

Sumber : Robotis (2006, p.10)



Gambar 2.16 Pinout servo serial dynamixel

Sumber : Robotis (2006, p.6)

Kedua paket data pertama yaitu 0xFF menandakan awal dari paket yang akan datang. ID adalah nomor identitas yang unik dari aktuator yang berjumlah 254 ID dan memiliki *range* 0x00 - 0xFD. *LENGTH* merupakan panjang paket data dimana memiliki nilai jumlah parameter (N) + 2. *INSTRUCTION* merupakan instruksi yang harus dilakukan oleh aktuator. *PARAMETER* adalah informasi tambahan yang diberikan pada instruksi tertentu. *CHECKSUM* merupakan metode komputasi untuk pengecekan data. Persamaan untuk mencari nilai *CHECKSUM* dapat dilihat pada persamaan 2.2. Jika nilai yang terhitung lebih besar dari 255 maka *bit* terendah dianggap sebagai nilai *CHECKSUM*. Simbol “~” menandakan logika *not*.

$$CHECKSUM = \sim (ID + LENGTH + INSTRUCTION + PARAMETER\ 1 + \dots PARAMETER\ N) \quad (2.2)$$

.....

2.8 Rangkaian Pembagi Tegangan

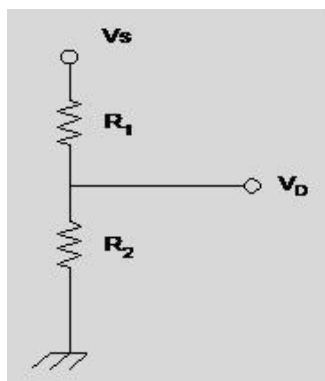
Rangkaian pembagi tegangan digunakan untuk mengkonversi perubahan resistansi menjadi perubahan tegangan (Siwindarto, P., 2013). Gambar 2.17 memperlihatkan sebuah rangkaian pembagi tegangan sederhana. Tegangan pada keluarannya diberikan oleh :

$$V_D = \frac{R_2 V_S}{R_1 + R_2} \quad (2.3)$$

dengan:

V_S = tegangan catu

R_1, R_2 = resistansi pembagi tegangan



Gambar 2.17 Rangkaian pembagi tegangan
Sumber: Siwindarto, P (2013)

Baik R_1 maupun R_2 dapat berupa sensor, yang resistansinya berubah terhadap variabel yang diukur.

Dalam penggunaan rangkaian pembagi tegangan perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Perubahan V_D terhadap R_1 maupun R_2 tidaklah linier
- Impedansi keluaran efektif rangkaian adalah kombinasi paralel R_1 dan R_2
- Karena arus mengalir melalui kedua resistor, maka *rating* daya resistor maupun sensor harus diperhatikan

BAB III

METODE PENELITIAN

Penyusunan skripsi ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasi alat agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode penelitian agar perencanaan dan perealisasi alat dapat dilakukan. Langkah - langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang dirancang adalah penentuan spesifikasi alat, perancangan dan perealisasi alat, dan pengujian alat.

3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut

- 1) Robot berbahan dasar mika *acrylic*.
- 2) Robot yang dibuat hanya berupa bagian kaki dengan terdiri dari satu DOF (*Degree of Freedom*)
- 3) Dimensi robot meliputi panjang kaki = 24 cm, lebar telapak kaki = 7 cm dan panjang telapak kaki = 13,5 cm yang sesuai dengan dimensi robot aslinya berdasarkan peraturan Kontes Robot Sepak Bola Indonesia *Humanoid* 2017.
- 4) Mikrokontroler Arduino Nano sebagai pengendali utama robot.
- 5) Sensor yang digunakan adalah sensor FSR sebanyak 2 buah
- 6) Catu Daya yang digunakan adalah baterai *Lithium Polymer* 12 V DC 1100 mAh.

3.2 Perancangan Dan Perealisasi Alat

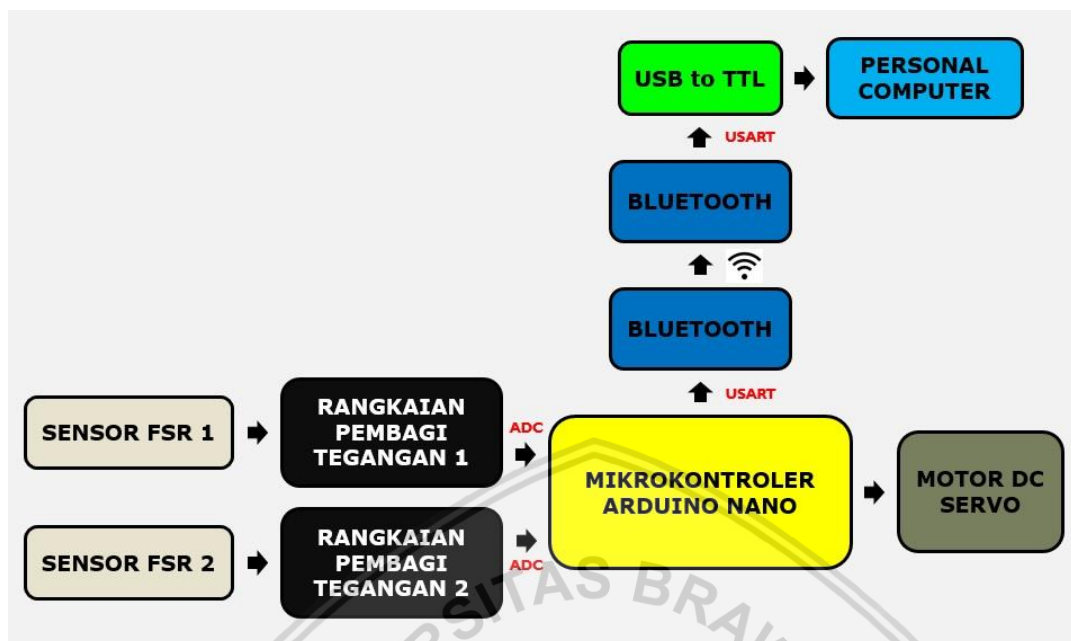
Perancangan dan pembuatan alat dalam skripsi ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu pembuatan *hardware* dan *software*.

3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

Secara garis besar perancangan dan pembuatan perangkat keras dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu perancangan diagram blok sistem keseluruhan, perancangan mekanika dan perancangan elektrik robot.

3.2.1.1 Perancangan Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Diagram blok keseluruhan sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram blok sistem keseluruhan

Sumber: Dokumentasi penulis

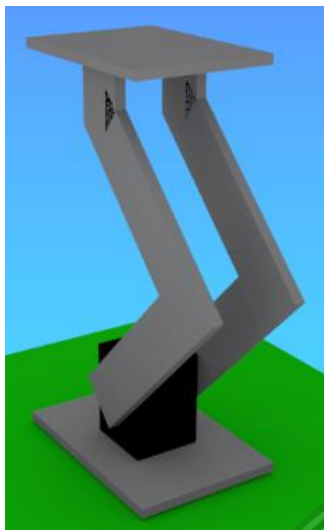
Fungsi masing-masing bagian dalam diagram blok ini adalah sebagai berikut :

1. Arduino Nano digunakan sebagai mikrokontroler utama yang berfungsi sebagai pengendali keseluruhan sistem,
2. 1 servo Dynamixel AX-12A sebagai aktuator penggerak sistem,
3. Personal Computer digunakan untuk mengamati respon keseluruhan dari sistem robot,
4. Modul bluetooth HC-05 digunakan sebagai perangkat penghubung antara robot dengan personal computer dalam proses pengiriman data,
5. Rangkaian pembagi tegangan digunakan sebagai pengubah keluaran sensor FSR yang berupa nilai resistansi menjadi nilai tegangan, agar bisa digunakan sebagai masukan bagi mikrokontroler.
6. Sensor FSR digunakan sebagai perangkat untuk mendeteksi keseimbangan pada robot dengan cara mengukur distribusi beban. Pertimbangan penggunaan sensor FSR kerana dalam hal keseimbangan bukan hanya kemiringan sudut saja yang berpengaruh, tetapi beban dari robot juga berpengaruh.

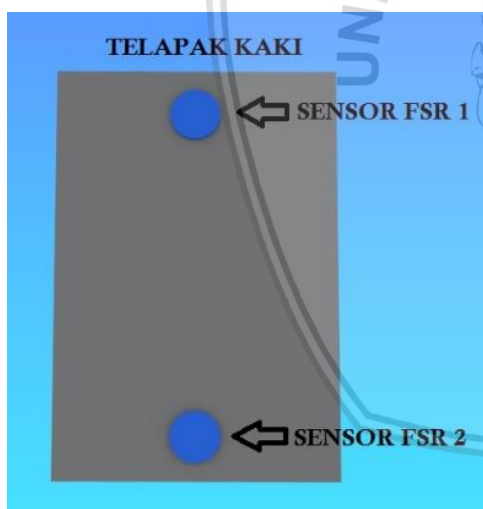
3.2.1.2 Perancangan Mekanika Robot

Pembuatan robot hanya pada sistem kaki dengan meniru dimensi pada robot aslinya berdasarkan peraturan Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) *Humanoid* tahun 2017.

Dengan adanya peraturan tersebut, maka desain robot harus dirancang agar tidak melebihi batas ukuran yang telah ditetapkan. Gambar desain mekanik robot dan tata letak sensor FSR ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Perspektif robot secara keseluruhan
Sumber: Dokumentasi penulis

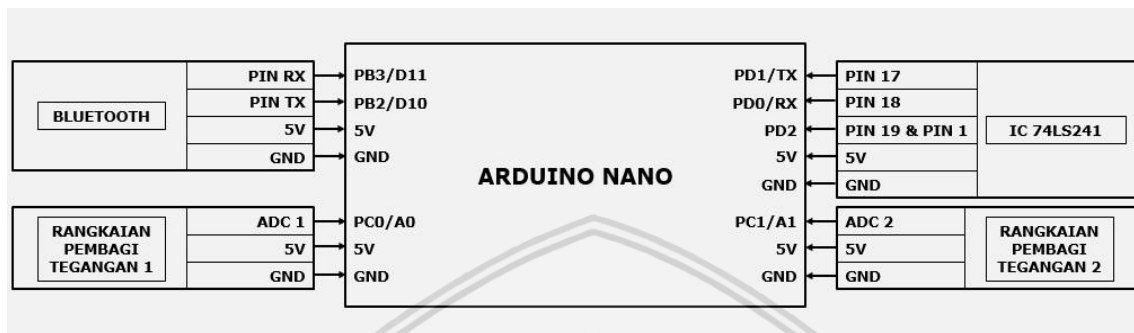


Gambar 3.3 Tata letak sensor FSR pada telapak kaki robot
Sumber: Dokumentasi penulis

Pertimbangan penggunaan dua buah sensor FSR karena sistem pergerakan robot dalam proses *balancing* hanya dalam satu sumbu, yaitu kearah depan atau kearah belakang. Sedangkan untuk peletakan sensor FSR dibagian ujung tengah depan dan belakang pada telapak kaki robot dimaksudkan agar distribusi beban dari robot dapat terdeteksi untuk proses *balancing* dalam satu sumbu.

3.2.1.3 Perancangan Rangkaian Antarmuka Mikrokontroler Utama

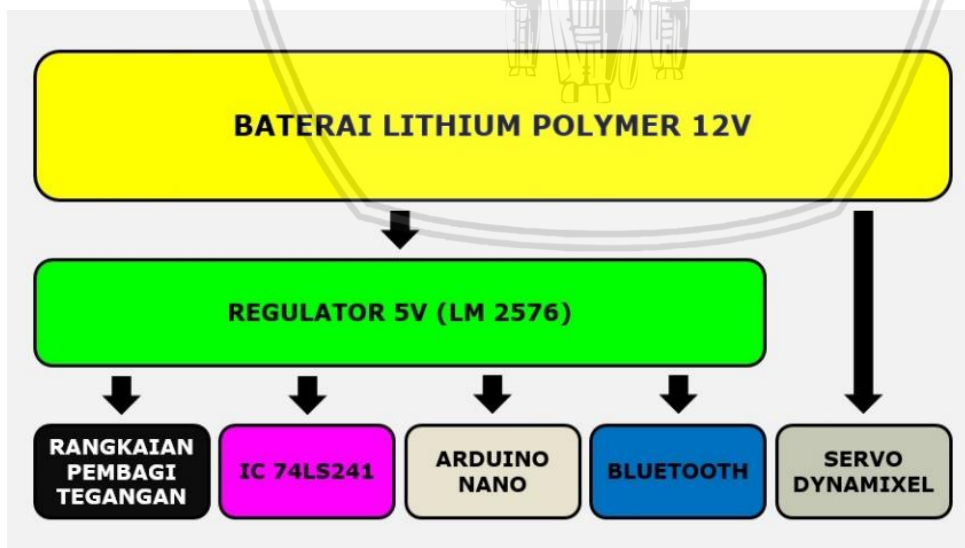
Pada perancangan perangkat keras robot ini menggunakan modul mikrokontroler Arduino Nano sebagai pengolah utama untuk pemrosesan algoritma dan data sensor. Mikrokontroler Arduino Nano juga berfungsi sebagai kontroler utama untuk mengatur pergerakan aktuator. Pada perancangan ini pin-pin yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Antarmuka mikrokontroler utama
Sumber: Dokumentasi penulis

3.2.1.4 Perancangan Catu Daya Sistem

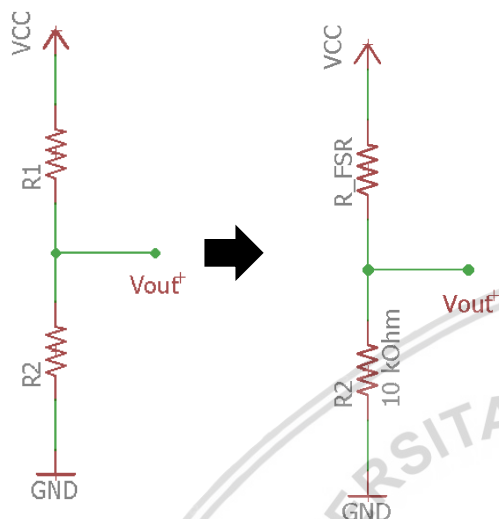
Catu daya pada sistem terdiri dari 2 bagian yaitu, 5 V dan 12 V. Sumber catu daya yang dipakai berasal dari sebuah baterai *Lithium Polimer* 12 V. Catu daya 5 V berasal dari rangkaian regulator LM2576. Diagram blok catu daya pada sistem keseluruhan robot ditunjukkan dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram blok catu daya sistem keseluruhan
Sumber: Dokumentasi penulis

3.2.1.5 Perancangan Rangkaian Pembagi Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan digunakan untuk mengubah keluaran dari sensor FSR yang berupa nilai resistansi (Ω) menjadi besaran tegangan dengan nilai range 0 V hingga 5 V, agar dapat digunakan sebagai masukan bagi mikrokontroler.



Gambar 3.6 Rangkaian pembagi tegangan perancangan
Sumber: Dokumentasi penulis

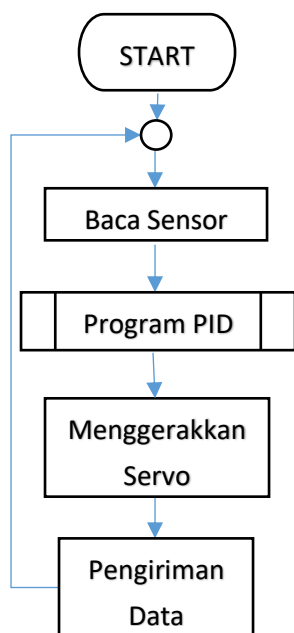
Pada rangkaian pembagi tegangan terdapat dua buah resistor, untuk resistor satu akan diganti dengan sensor FSR. Sedangkan, untuk resistor dua akan diberi nilai sebesar 10 k Ω . Peletakan sensor FSR pada resistor satu dimaksudkan agar ketika sensor FSR menerima tekanan yang semakin besar, maka tegangan terukur dari rangkaian pembagi tegangan juga akan semakin besar (sebanding). Pada resistor dua digunakan resistor dengan nilai sebesar 10 k Ω berdasarkan *datasheet* pada sensor. Rangkaian pembagi tegangan yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.6.

3.2.2 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak (Software)

Secara garis besar perancangan dan pembuatan perangkat lunak dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu perancangan algoritma utama dan algoritma kontrol PID.

3.2.2.1 Perancangan Algoritma Utama

Algoritma utama adalah algoritma untuk menjalankan rangkaian sistem secara utuh pada mikrokontroler utama. Tahapan pada algoritma ini meliputi inisialisasi seluruh variabel, kemudian dimulai proses pembacaan sensor FSR. Diagram alir dari algoritma utama ditunjukkan pada Gambar 3.7.

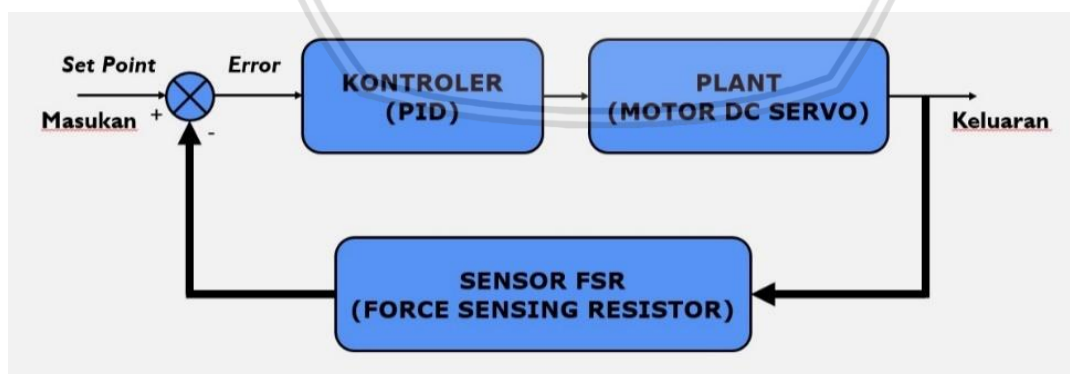


Gambar 3.7 Digram alir algoritma utama
Sumber: Dokumentasi penulis

Mikrokontroler utama menerima data sensor dari rangkaian pembagi tegangan yang digabungkan dengan sensor FSR. Selanjutnya akan menuju algoritma kontrol PID, dimana hasil dari perhitungan kontrol PID berupa variabel yang digunakan untuk memanipulasi sudut servo. Kemudian untuk respon sistem akan ditransmisikan melalui koneksi *bluetooth* menuju *personal computer* untuk diamati.

3.2.2.2 Perancangan Algoritma Kontroler PID

Diagram blok kendali sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Diagram blok kendali sistem
Sumber: Dokumentasi penulis

Fungsi masing-masing bagian dalam diagram blok ini adalah sebagai berikut :

1. *Setpoint* berupa nilai selisih kedua sensor (selisih bernilai nol)
2. Keluaran PID adalah variabel pemanipulasi sudut servo

3. *Plant* berupa motor DC servo
4. Sensor berupa sensor FSR

Kontroler PID dibentuk dari gabungan kontroler *proporsional integral dan difrensial*, yang mana persamaan kontroler ini secara umum dapat ditunjukkan pada persamaan 3.1

$$u(t) = Kp(e(t) + \frac{1}{Ti} \int_0^t e(t)dt + Td \frac{de(t)}{dt}) \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana $u(t)$ adalah signal kontrol dari PID, Kp adalah *gain* proporsional, Ti adalah waktu integral, dan Td waktu difrensial, dimana untuk $e(t)$ didefinisikan sebagai selisih nilai *set point* dan pembacaan sensor FSR yang digunakan. Integral *error* didefinisikan sebagai jumlahan *error* sekarang dan sebelumnya, sedangkan difrensial *error* didefinisikan sebagai selisih *error* sekarang dan sebelumnya. Jika bentuk persamaan umum tersebut diubah dalam bentuk laplace akan terbentuk persamaan 3.2

$$u(s) = Kp(1 + \frac{1}{Tis} + Tds)E(s) \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$Ki = Kp/Ti; Kd = Kp * Td;$$

Persamaan tersebut belum dapat dimasukan ke mikrokontroler maka dari itu persamaan kontinyu 3.2 diubah ke bentuk diskrit dengan Transformasi Z. Yang mana untuk transformasi ini dibutuhkan waktu sampling (Ts) dengan *Bilinear Transform* nilai notasi s setara dengan persamaan 3.3

$$s = \frac{2}{Ts} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

Maka persamaan 3.2 setara dengan persamaan 3.4.

$$u(z) = (Kp + \frac{KpTs(1+z^{-1})}{2Ti(1-z^{-1})} + KpTd \frac{2}{Ts} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right))E(z) \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

Berikutnya dibutuhkan modifikasi persamaan agar didapat bentuk yang lebih sederhana, kedua ruas dikali dengan pembagi masing masing parameter. Seperti terlihat pada persamaan 3.5.

$$u(z)(1 - z^{-2}) = (Kp(1 - z^{-2}) + \frac{KpTs(1+2z^{-1}+z^{-2})}{2Ti} + \dots\dots\dots KpTd \frac{2}{Ts} (1 - 2z^{-1} + z^{-2}))E(z) \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

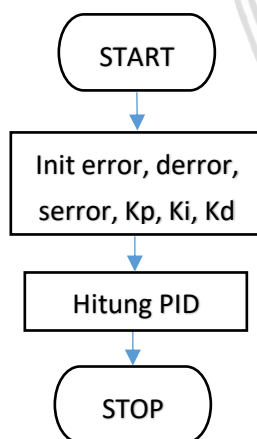
Kemudian disusun kembali untuk mendapatkan persamaan kontroler seperti terlihat pada persamaan 3.6.

$$u(z) = u(z)(z^{-2}) + (Kp(E(z) - E(z)(z^{-2}))) + \frac{KpTs(E(z) + 2E(z)(z^{-1}) + E(z)(z^{-2}))}{2Ti} + \dots \dots \dots KpTd \frac{2}{Ts} (E(z) - 2E(z)(z^{-1}) + E(z)(z^{-2})) \dots \dots \dots (3.6)$$

Kemudian persamaan tersebut diubah ke persamaan beda sehingga di dapat persamaan 3.7.

$$u(z) = u(k - 2) + (Kp(e(k) - e(k - 2))) + \frac{KpTs(E(k) + 2E(k-1) + E(k-2))}{2Ti} + \dots \dots \dots KpTd \frac{2}{Ts} (E(k) - 2E(k - 1) + E(k - 2)) \dots \dots \dots (3.7)$$

Dimana (k - n) adalah kondisi sebelumnya, yang kemudian bentuk ini dapat diterapkan pada pemrograman mikrokontroler (Siregar, M. S., 2018: 22). Hasil persamaan (3.7) akan digunakan dalam penyusunan algoritma kontroler PID. Parameter kontrol PID yaitu Kp, Ki dan Kd akan diperoleh menggunakan metode osilasi Ziegler-Nichols. Nilai keluaran PID akan digunakan sebagai *manipulated variabel* untuk memanipulasi sudut pada motor DC servo. Diagram alir dari algoritma kontroler PID ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Diagram alir algoritma kontroler PID

Sumber: Dokumentasi penulis



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan perancangan langkah selanjutnya adalah pembahasan hasil pengujian yang bertujuan untuk menganalisis alat yang telah dirancang dan di implementasikan telah bekerja sesuai dengan perancangan yang diharapkan. Adapun pengujian yang perlu dilakukan sebagai berikut:

1. Pengujian Sensor FSR
2. Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan
3. Pengujian *Servo Serial Dynamixel*
4. Pengujian *Tuning* Parameter Kontrol PID
5. Pengujian Keseluruhan sistem
 - a) Pengujian sistem dengan tanpa gangguan
 - b) Pengujian sistem dengan gangguan

4.1 Pengujian Sensor FSR

- **Tujuan**

Pengujian sensor FSR dilakukan untuk mengetahui karakteristik sensor yang hasilnya akan digunakan sebagai bahan untuk merancang rangkaian pembagi tegangan.

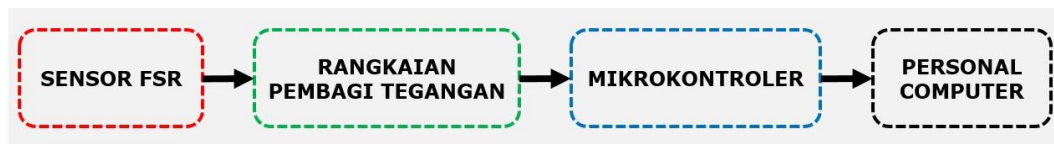
- **Alat yang Digunakan**

Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Sensor FSR yang digabungkan dengan rangkaian pembagi tegangan
2. Mikrokontroler Arduino Nano
3. *Personal Computer*

- **Prosedur Pengujian**

Proses pengujian dilakukan dengan menghubungkan rangkaian sensor dengan mikrokontroler. Proses pengukuran perubahan resistansi sensor terhadap perubahan tekanan dilakukan dengan mengamati perubahan data pada *serial* monitor Arduino. Diagram blok pengujian sensor FSR ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram blok pengujian sensor FSR
Sumber: Dokumentasi penulis

• Hasil Pengujian

Pengujian sensor FSR dilakukan sebanyak empat kali dengan memberikan tekanan kepada sensor dengan nilai yang berbeda-beda, setelah itu diamati data perubahan resistansi sensor melalui *serial* monitor Arduino yang kemudian dicari nilai rata-ratanya. Rumus yang digunakan untuk mengukur nilai resistansi FSR dan nilai tekanan ditunjukkan pada persamaan 4.1 dan 4.2.

$$R_{FSR} = \frac{10 \text{ k}\Omega (5 \text{ Volt} - V_o)}{V_o} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana:

V_o : tegangan terukur dari keluaran rangkaian pembagi tegangan (Volt)

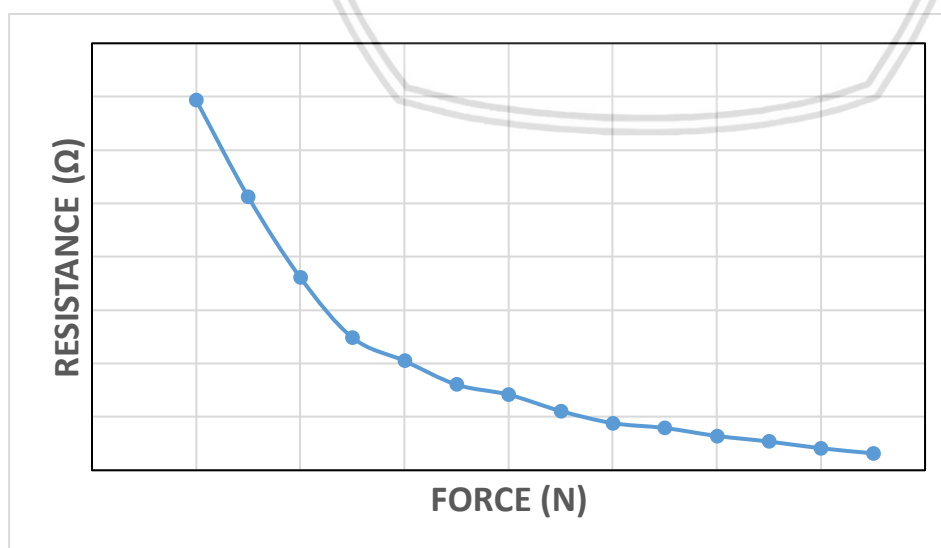
$$Force (N) = 20 \text{ N} \times \frac{Data \text{ Serial}}{1023} \dots\dots\dots(4.2)$$

Dimana:

20 N : nilai tekanan maksimal yang dapat diterima oleh sensor FSR

1023 : nilai maksimal dari resolusi 10 *Bit*

Adapun hasil pengujian sensor FSR ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik hasil pengujian resistansi sensor FSR terhadap perubahan tekanan
Sumber: Dokumentasi penulis

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan yang diberikan pada sensor FSR, maka semakin menurun nilai resistansi pada sensor FSR. Dapat dikatakan bahwa, perubahan tekanan berbanding terbalik dengan perubahan resistansi dari sensor FSR.

4.2 Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan

- **Tujuan**

Pengujian rangkaian pembagi tegangan dilakukan untuk mengukur tegangan keluaran dari rangkaian tersebut.

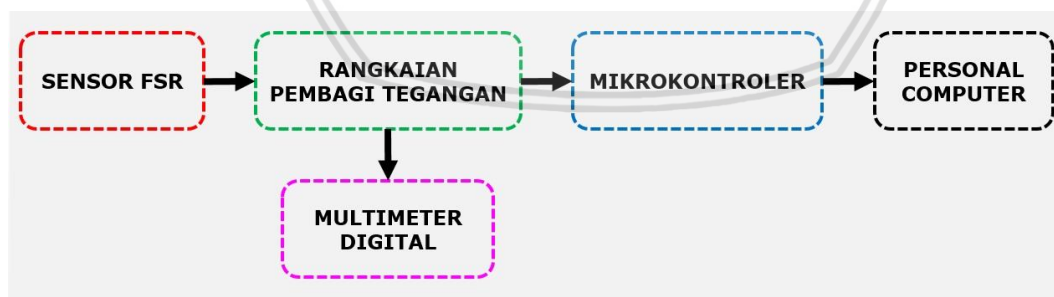
- **Alat yang Digunakan**

Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Sensor FSR yang digabungkan dengan rangkaian pembagi tegangan
2. Catu daya
3. Mikrokontroler Arduino Nano
4. *Digital Multimeter*
5. *Personal Computer*

- **Prosedur Pengujian**

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dari rangkaian pembagi tegangan menggunakan *digital multimeter*. Hasil dari pengujian akan dibandingkan dengan tegangan teori yang telah dihitung sebelumnya. Diagram blok pengujian rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Diagram blok pengujian rangkaian pembagi tegangan
Sumber: Dokumentasi penulis

- **Hasil Pengujian**

Pengujian dilakukan sebanyak empat kali pengukuran dengan menggunakan *digital multimeter*. Rata-rata hasil pengujian berupa tegangan terukur akan dibandingkan dengan tegangan teori berdasarkan nilai resistansi pada percobaan sensor FSR.

Besar nilai tegangan teori dihitung melalui persamaan berikut.

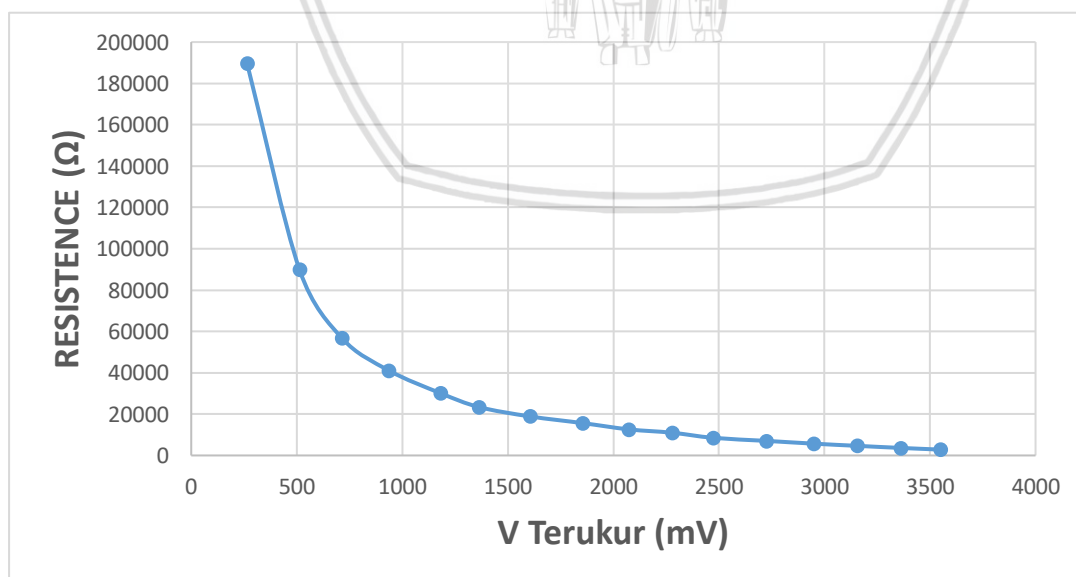
$$\text{Tegangan Teori} = \left(\frac{10 \text{ k}\Omega}{R_{FSR} + 10 \text{ k}\Omega} \right) \times 5 \text{ Volt} \dots\dots\dots(4.3)$$

Hasil pengujian rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1

Hasil Pengujian Tegangan Keluaran Rangkaian Pembagi Tegangan Terhadap Perubahan Resistansi Sensor FSR

Rata-Rata Resistansi FSR (Ω)	V Teori (mV)	Rata-Rata V Terukur (mV)	Error (%)
189785.75	250.268	264.325	5.318
89802.25	500.990	513.25	2.388
56821.5	748.262	713.5	4.872
41073.5	978.981	937	4.480
30127	1246.043	1181.25	5.485
23414.25	1496.367	1363	9.784
18869.75	1731.916	1605.5	7.873
15673.75	1947.514	1853.25	5.086
12616.25	2210.799	2072.5	6.673
10997.25	2381.264	2278	4.533
8529.5	2698.399	2472.5	9.136
7059	2931.004	2724	7.599
5698.75	3184.966	2949.25	7.992
4643.5	3414.484	3156.25	8.181
3636.5	3666.63	3361	9.093
2832.75	3896.281	3550.5	9.738



Gambar 4.4 Grafik hasil pengujian tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan terhadap perubahan resistansi sensor FSR

Sumber: Dokumentasi penulis

Hasil pengujian pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai tegangan terukur sebanding dengan tegangan teori, antara tegangan terukur dengan tegangan teori memiliki nilai $error < 9,8\%$ dengan nilai $error$ terbesar yaitu $9,784\%$. Berdasarkan Tabel 4.1 dan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin besar tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan, maka semakin menurun resistansi *sensor* FSR.

4.3 Pengujian Servo Serial Dynamixel

- **Tujuan**

Pengujian *servo serial dynamixel* dilakukan untuk mengetahui kelayakan *servo* yang digunakan.

- **Alat yang Digunakan**

Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Servo serial dynamixel
2. Mikrokontroler
3. Catu daya
4. Busur 360°

- **Prosedur Pengujian**

Pengujian dilakukan dengan menggerakkan *servo* sesuai dengan nilai data serial. Busur 360° digunakan untuk mengukur sudut *servo* sesuai dengan nilai data *serial*, kemudian akan didapatkan nilai sudut percobaan. Selanjutnya, nilai data percobaan akan dibandingkan dengan nilai data teori. Diagram blok pengujian *servo serial dynamixel* ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Diagram blok pengujian *servo serial dynamixel*

Sumber: Dokumentasi penulis

- **Hasil Pengujian**

Pengujian dilakukan sebanyak empat kali, kemudian diketahui rata-rata sudut percobaan yang akan dibandingkan dengan sudut teori. Pengujian sudut dari *servo serial dynamixel*

dilakukan dengan memasang penunjuk sudut atau busur 360° seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4.6.



Gambar 4.6 Servo serial dynamixel yang digabungkan dengan busur 360°
Sumber: Dokumentasi penulis

Servo serial dynamixel memiliki range sudut 0° - 300°, maka besar perubahan sudut dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Sudut Perhitungan (}^\circ\text{)} = \frac{\text{Nilai Data Serial (0-1023)}}{1023} \times 300^\circ \quad (4.4)$$

Nilai 1023 pada persamaan 4.4 adalah nilai maksimal dari resolusi 10 Bit yang digunakan sebagai penentu besar sudut servo. Hasil pengujian berupa sudut percobaan akan dibandingkan dengan besar sudut teori berdasarkan nilai data serial seperti pada Tabel 4.2.

Nilai Data	Sudut Teori (°)	Rata-rata Sudut Percobaan (°)	Persentasi Nilai Error (%)
0	0	0	0
50	14.662	14.25	2.896
100	29.325	30.25	3.056
150	43.988	43.75	0.544
200	58.651	58.75	0.168
250	73.313	73	0.429
300	87.976	89.25	1.426
350	102.639	103.25	0.591
400	117.302	118	0.591
450	131.964	133.25	0.964
500	146.627	147.75	0.759
550	161.290	162.75	0.896
600	175.953	176.25	0.168
650	190.615	191	0.201
700	205.278	205.75	0.229
750	219.941	221.25	0.591
800	234.604	233.75	0.365
850	249.266	248.25	0.409
900	263.929	263.25	0.258
950	278.592	278	0.213
1000	293.255	292.75	0.172

Tabel 4.2

Hasil Pengujian Sudut
Servo Serial Dynamixel

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai sudut percobaan sebanding dengan sudut teori dan antara sudut percobaan dengan sudut teori memiliki $error < 3,1\%$. Persen $error$ terbesar perubahan sudut percobaan dari sudut teori ialah sebesar 3,056%. Berdasarkan pengujian ini dapat disimpulkan kondisi *servo* masih layak digunakan, karena nilai $error$ maksimal yang cukup rendah.

4.4 Pengujian *Tuning* Parameter Kontrol PID

- **Tujuan**

Pengujian dilakukan untuk memperoleh nilai parameter kontroler PID (K_p , K_i dan K_d) yang sesuai dengan menggunakan metode osilasi Ziegler-Nichols.

- **Alat yang Digunakan**

Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Catu daya
2. Keseluruhan sistem robot (keseluruhan bagian yang telah diuji)
3. Modul *Bluetooth* HC-05 *Transmitter* dan *Receiver*
4. *Personal Computer*
5. Modul USB to TTL

- **Prosedur Pengujian**

Proses pengujian *tuning* parameter dilakukan dengan acuan dari metode Ziegler-Nichols sehingga didapatkan aturan pengujian dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Mula-mula mengatur nilai K_p dan membuat nilai K_i dan K_d sama dengan nol,
- b. Kemudian robot dijalankan,
- c. Mengamati tampilan grafik pada *personal computer*,
- d. Dengan hanya menggunakan tindakan kontrol proporsional, nilai ditingkatkan sampai didapatkan grafik berbentuk osilasi berkesinambungan yang mendekati nilai *set point* yang diinginkan,
- e. Dari keluaran grafik yang berosilasi berkesinambungan terhadap *set point*, hitung nilai K_{cr} dan P_{cr} ,
- f. Menghitung nilai K_p , T_i , dan T_d sesuai dengan aturan Ziegler-Nichols yaitu,

$$K_p = 0.6 \times K_{cr}, T_i = 0.5 \times P_{cr} \text{ dan } T_d = 0.125 \times P_{cr}$$

- g. Hitung nilai K_i dan K_d menggunakan perhitungan rumus selanjutnya yaitu,

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad \text{dan} \quad K_d = K_p \times T_d$$

- h. Masukkan nilai K_p , K_i dan K_d yang telah didapatkan dan amati pergerakan robot (Insyani, R.S.P.P., 2016, p.43).

Diagram blok pengujian tuning parameter kontrol PID ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Diagram blok pengujian *tuning* parameter Kontrol PID
Sumber: Dokumentasi penulis

• Hasil Pengujian

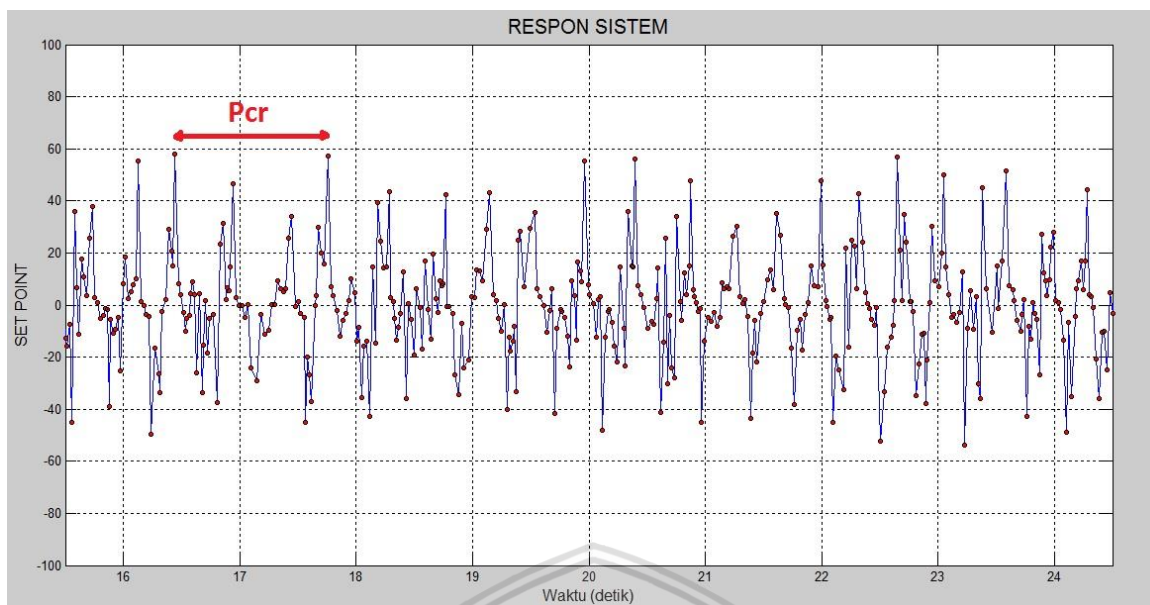
Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kontroler PID (K_p , K_i , K_d) yang optimal agar pergerakan robot sesuai dengan yang diinginkan. Hasil pengujian *tuning* dengan meningkatkan parameter kontroler proporsional (K_p) dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3

Hasil Pengujian *Tuning* dengan Meningkatkan Nilai Kontroler Proporsional

K_p	K_i	K_d	Kondisi Robot
0.1 - 0.12	0	0	Respon robot lambat, robot berosilasi dengan grafik diatas nilai <i>set point</i>
0.121	0	0	Respon robot lambat, robot berosilasi dengan grafik diatas nilai <i>set point</i>
0.122	0	0	Respon robot semakin cepat, grafik menurun dan bergerak lurus berkesinambungan mendekati nilai <i>set point</i>
0.123 - 1.3 dan seterusnya	0	0	Respon robot semakin cepat, osilasi semakin meningkat dan robot bergerak semakin tidak stabil

Berdasarkan Tabel 4.3 didapat bahwa pada saat kontroler proporsional (K_p) bernilai 0,122 respon sistem berosilasi berkesinambungan disekitar *set point* dengan stabil. Hasil pengujian dengan nilai ($K_p = 0,122$) ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik respon saat terjadi osilasi berkesinambungan mendekati nilai *set point* dengan nilai $K_p=0,122$ dan $P_{cr}=1,31$

Sumber: Dokumentasi penulis

Pada proses pengujian telah didapatkan nilai K_p yang dianggap paling stabil yaitu pada $K_p=0,122$. Berdasarkan pengujian *tuning* nilai K_p , akan didapatkan nilai K_{cr} dan P_{cr} yang nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai parameter kontroler PID (K_p , K_i dan K_d).

$$K_{cr} = 0,122$$

$$P_{cr} = 1,31 \text{ s}$$

$$K_p = 0,6 \times K_{cr} = 0,6 \times 0,1221 = 0,0732$$

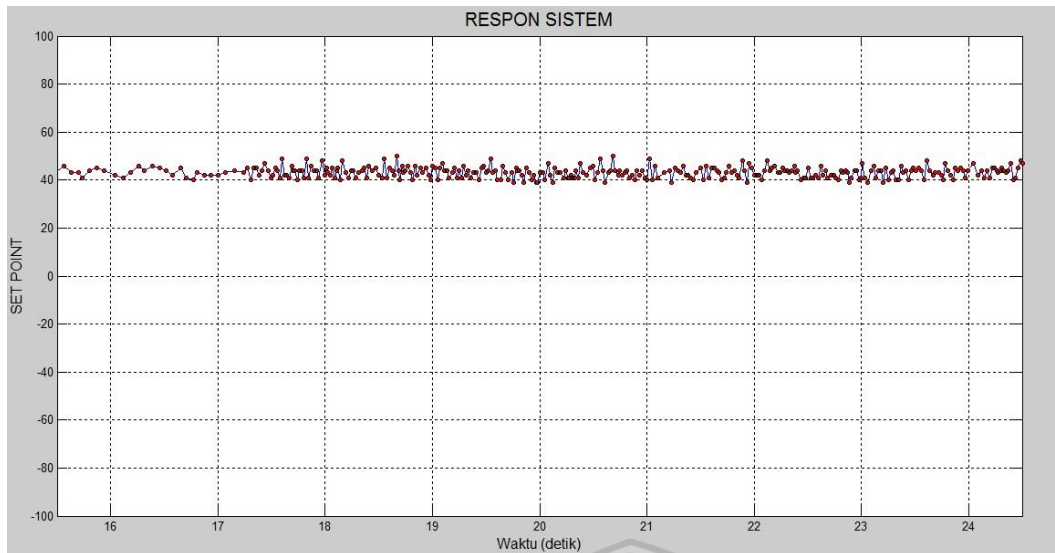
$$T_i = 0,5 \times P_{cr} = 0,5 \times 1,31 = 0,655 \text{ s}$$

$$T_d = 0,125 \times P_{cr} = 0,125 \times 1,31 = 0,16375 \text{ s}$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0,07326}{0,655} = 0,1117$$

$$K_d = K_p \times T_d = 0,07326 \times 0,16375 = 0,0119$$

Hasil pengujian respon robot menggunakan nilai parameter $K_p=0,0732$, $K_i=0,1117$ dan $K_d=0,0119$ ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik respon dengan nilai $k_p=0,0732$, $k_i=0,1117$ dan $k_d=0,0119$
 Sumber: Dokumentasi penulis

Dari hasil pengujian terlihat bahwa dengan menggunakan kontrol PID dengan nilai parameter $K_p=0,0732$, $K_i=0,1117$ dan $K_d=0,0119$ robot dapat bergerak dengan baik. Hal ini terbukti dari grafik respon sistem yang selalu mendekati nilai *set point*.

4.5 Pengujian Keseluruhan Sistem

- **Tujuan**

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui apakah masing-masing bagian yang telah diuji dapat dirangkai menjadi satu sistem dan dapat berjalan sesuai dengan perencanaan, serta mengetahui performa sistem.

- **Alat yang Digunakan**

Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Catu daya
2. Keseluruhan sistem robot (keseluruhan bagian yang telah diuji)
3. *Personal Computer*

- **Prosedur Pengujian**

Proses pengujian dilakukan diatas permukaan tanah yang datar dalam beberapa kondisi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui performa sistem yang telah dirancang. Kondisi-kondisi tersebut meliputi.

1. Kondisi sistem dengan tanpa gangguan
2. Kondisi sistem dengan gangguan

Performa sistem ketika tanpa menggunakan kontroler PID akan dibandingkan dengan performa sistem ketika menggunakan kontroler PID. Diagram blok pengujian keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.10.

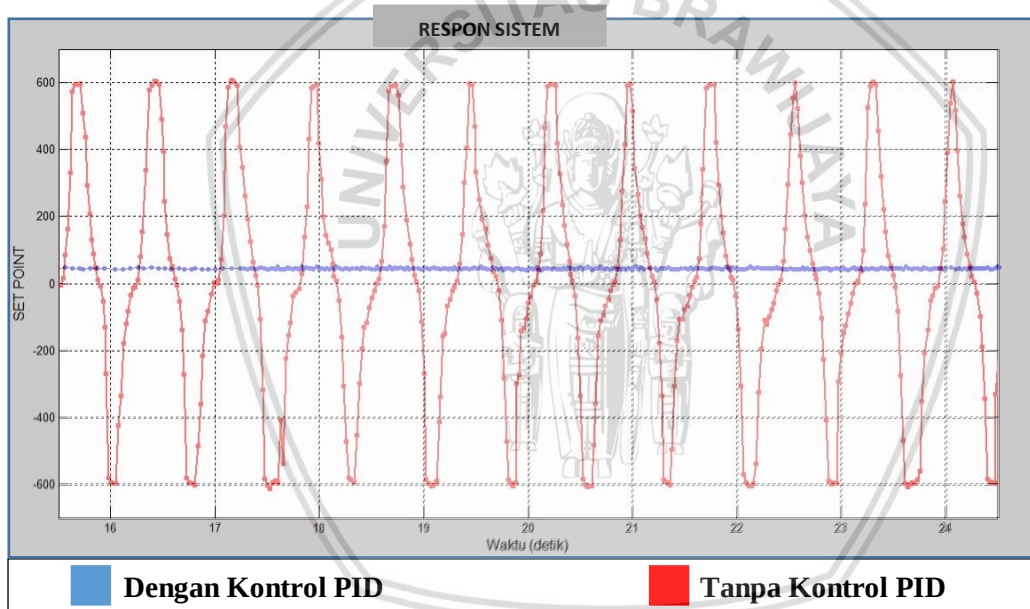


Gambar 4.10 Diagram blok pengujian keseluruhan sistem

Sumber: Dokumentasi penulis

• Hasil Pengujian

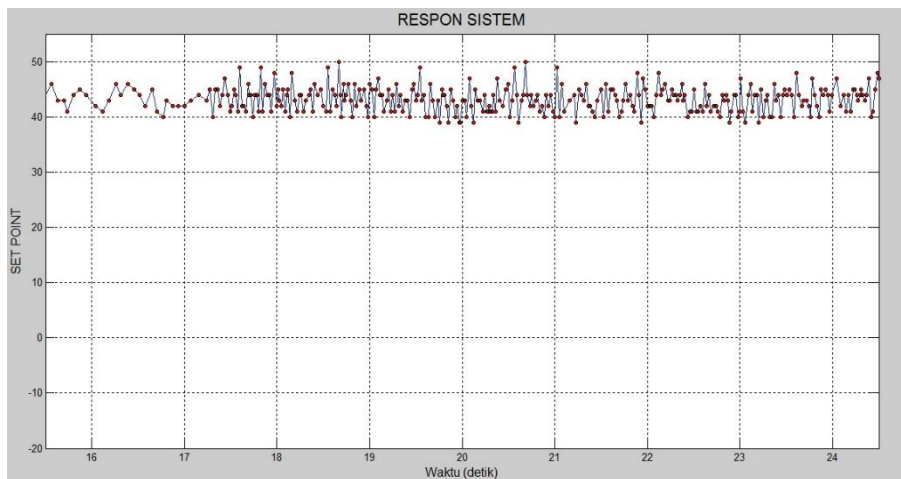
Pengujian keseluruhan dilakukan untuk mengetahui performa sistem secara menyeluruh dan performa kontroler PID dari parameter K_p , K_i dan K_d yang didapatkan dari proses *tuning*.



Gambar 4.11 Grafik respon sistem tanpa gangguan

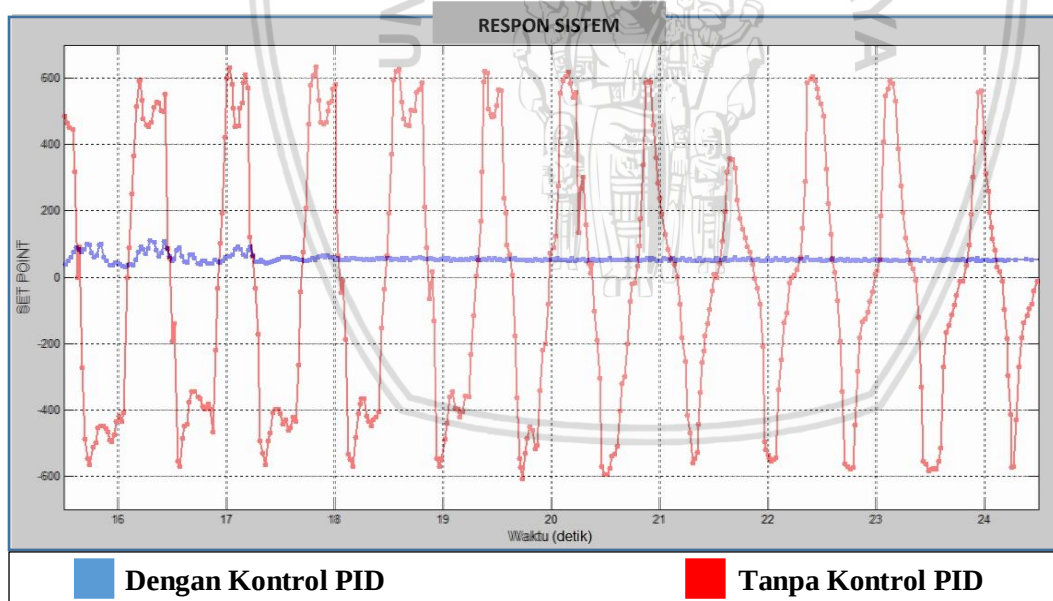
Sumber: Dokumentasi penulis

Berdasarkan grafik hasil pengujian pada Gambar 4.11 dapat dilihat ketika kondisi sistem tanpa diberi gangguan. Ketika sistem tanpa kontrol PID, respon sistem terdapat osilasi secara berkesinambungan dengan nilai yang cukup besar ($error = \pm 600$) disekitar *set point*. Sedangkan untuk sistem dengan kontrol PID, grafik respon sistem selalu bergerak mendekati *set point* dengan nilai *error* yang lebih teredam ($error = 50$).



Gambar 4.12 Grafik respon menggunakan kontrol PID dengan tanpa gangguan untuk 15,5 – 24,5 detik pertama
Sumber: Dokumentasi penulis

Berdasarkan grafik hasil pengujian pada Gambar 4.12 didapatkan bahwa *error* terbesar ketika kondisi *steady* pada sistem menggunakan kontrol PID adalah sebesar 50 atau 5%. Nilai *error* yang timbul sebesar 5% masih dapat ditoleransi, karena pada penelitian ini nilai *error* diharuskan untuk tidak lebih dari $\pm 5\%$. Sehingga, jika nilai *error* yang timbul masih dalam *range* $\pm 5\%$ dapat dikatakan sistem berhasil.



Gambar 4.13 Grafik respon sistem dengan gangguan
Sumber: Dokumentasi penulis

Berdasarkan grafik hasil pengujian pada Gambar 4.13 dapat dilihat ketika kondisi sistem diberi gangguan. Ketika sistem tanpa kontrol PID, respon sistem masih terdapat osilasi secara berkesinambungan dengan nilai *error* yang cukup besar disekitar *set point*. Namun, ketika diberi gangguan akan terdapat lonjakan nilai *error* yang lebih besar dan repon yang lebih lambat. Setelah itu, respon sistem berangsur-angsur kembali sesuai dengan kondisi

tanpa gangguan. Sedangkan untuk sistem dengan kontrol PID, robot dapat kembali meredam *error* dan menyeimbangkan dengan baik. Hal ini terbukti dari grafik respon sistem yang bergerak mendekati *set point*, meskipun telah diberikan gangguan sebelumnya.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian setiap bagian dan keseluruhan sistem yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sensor FSR memiliki karakteristik ketika diberi tekanan yang semakin besar, maka resistansi dari sensor akan semakin kecil.
2. Berdasarkan pengujian sensor FSR dan pengujian rangkaian pembagi tegangan dapat disimpulkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan, maka semakin besar pula tegangan yang dikeluarkan oleh rangkaian pembagi tegangan (*range* tegangan keluaran = 0 Volt - 5 Volt).
3. Perancangan kontroler PID dengan menggunakan metode *tuning* osilasi Ziegler-Nichols telah berhasil diaplikasikan pada robot. Sehingga dapat mempersingkat waktu dalam proses *tuning* parameter kontroler PID, tanpa perlu mencoba dengan *trial* dan *error*. Dengan pemberian asumsi nilai $error < \pm 5\%$ dapat dikatakan robot dalam kondisi seimbang.
4. Kontroler PID dapat diaplikasikan dengan baik pada robot. Ketika robot diberikan gangguan, robot dapat menyeimbangkan kembali dengan baik. Melalui pengujian dan perhitungan didapatkan nilai-nilai parameter kontrol PID yang sesuai, yaitu $K_p=0,0732$, $K_i=0,1117$ dan $K_d=0,0119$.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat dilakukan antara lain:

1. Peletakan *sensor* FSR pada telapak kaki robot harus sesuai, agar pembacaan *sensor* lebih sensitif.
2. Untuk pengembangan selanjutnya, dapat ditambah jumlah DOF (*Degree of Freedom*) atau jumlah *servo*.
3. Dapat ditambah pula jumlah *sensor* FSR pada robot, agar pendeteksian keseimbangan robot bisa lebih fleksibel.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino. (2017). *Arduino Nano*. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>. (diakses 10 Desember 2017)
- Atmel. (2007). *8-bit AVR with 16K Bytes In-System Programmable Flash ATmega16/16L*. San Jose: Atmel.
- Darma, G. P. & Wendanto, W. (2015). *Rancang Bangun Dispenser Otomatis Berbasis Mikrokontroler Atmega 16*. Surakarta: JURNAL ILMIAH GO INFOTECH STMIK AUB. ISSN : 1693-590x.
- Durda, F. (2014). *Serial And UART Tutorial*. https://www.freebsd.org/doc/en_US.ISO8859-1/articles/serial-uart/. (diakses 11 Desember 2017).
- Insyani, R.S.P.P. (2016). *Implementasi Sistem Fire Following Menggunakan Kontroler PID Dengan Metode Tuning Pada Robot Kontes Pemadam Api Indonesia (KRPAI) Divisi Beroda*. Malang: Skripsi Jurusan Teknik Elektro FT-UB.
- Interlink Electronics, Inc. (2015). *Datasheet_FSR*. Westlake Village, USA
- Kadir, Abdul. (2015). *From Zero To A Pro: Arduino*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Ogata, Katsuhiko. (1997). *Modern Control Engineering (Third Edition)*. New Jersey.
- Ogata, Katsuhiko. (2010). *Modern Control Engineering (Fifth Edition)*. New Jersey.
- RISTEKDIKTI. (2017). *PanduanKRSBIHumanoid2017*. Jakarta Pusat: Dikti.
- Robotis. (2006). *AX-12/AX-12+/AX-12A - ROBOTIS e-MANUAL*. Robotis.
- Siregar, M. S. (2018). *Implementasi Kendali Fuzzy-PID Sebagai Metode Wall Following Pada Robot Hexapod Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI)*. Malang : Skripsi Jurusan Teknik Elektro FT-UB.
- Siwindarto, P. (2013). *Sensors Instrumentation & Electronics: Rangkaian Pembagi Tegangan*. <http://instrumentasi.lecture.ub.ac.id/rangkaian-pembagi-tegangan/>. (diakses 11 Desember 2017)

