

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allâh Subhanahu Wa Taâla, Rabb alam semesta. Dialah Allâh, Tuhan Yang Maha Satu, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik Penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salâm kepada Nabi Muhammad Rasulullâh Shallallâhu Alaihi Wa Salâm, Sang pembawa kabar gembira dan sebaik baik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya.

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allâh SWT semata sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan seizin Allâh SWT, di kesempatan yang baik ini saya ingin menghaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

- Keluarga tercinta, kedua orang tua Ayah dan Ibu Raditya Wiradhana yang selalu memberikan kasih sayang dan doanya yang tiada akhir. Serta kakakku tercinta Rossianti dan Rully yang selalu memberikan dukungan.
- Bapak Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya sekaligus sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, nasehat, pengarahan, motivasi dan saran hingga selesainya skripsi ini.
- Bapak Ir. Purwanto, MT selaku KKDK Teknik Kontrol sekaligus dosen pembimbing yang telah memberikan banyak waktu, keikhlasan, dan kesabaran dalam membimbing.
- Laboratorium Sistem Kontrol Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas segala alat serta sarana dan prasaranan yang dimanfaatkan penulis dalam melakukan penelitian.
- Teman – teman tercinta Devi Widya, Aka, Somad, Alva, Ryan, Yoshiko, Sogik, Darmo, Adec, Aditya, Akbar, Tery, Temmy, Ikhsan, Arga, Zidnil, Salmi, Gojin, Surya, Gopar, Deaz, Ridho, Akhyar, Ebay, Imam, Samid, Janbow, Andhika, Pepithow, Mas Bima, Seleb, Sadam, Gladi, Juang, Eky, Rafi, Mbah, Aldo, Praja dan yang lain terima kasih atas doa, dukungan, yang mau berbagi ruang, kesenangan, pelajaran hidup, serta canda dan tawa.

- Keluarga besar angkatan 2009 “AMPERE” atas doa, semangat, serta dukungan yang diberikan pada penulis.
- Keluarga besar Unit Aktivitas Bola Basket Universitas Brawijaya Mas Nawi, Ko Cuhox, Ryan, Yoshiko, Bayu, Repas, Grandis, Daus, Aho, Yuki, Fandy, Hendra, Farid, Ali, Adi, Wira, meyjhon dan yang lain terima kasih atas doa, ilmu, berbagi pengalaman, dukungan, serta motivasi yang diberikan kepada penulis.
- Mas – mas dan mbak – mbak serta adik – adik angkatan yang bersedia berbagi pengalaman.
- Teman - teman tim robot KRI, KRCI, dan KRSI yang telah membantu dalam peminjaman alat serta sarana dan prasarana.
- Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allâh SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, kami menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Allâhumma Amîn.

Malang, 2 Desember 2013

Penulis

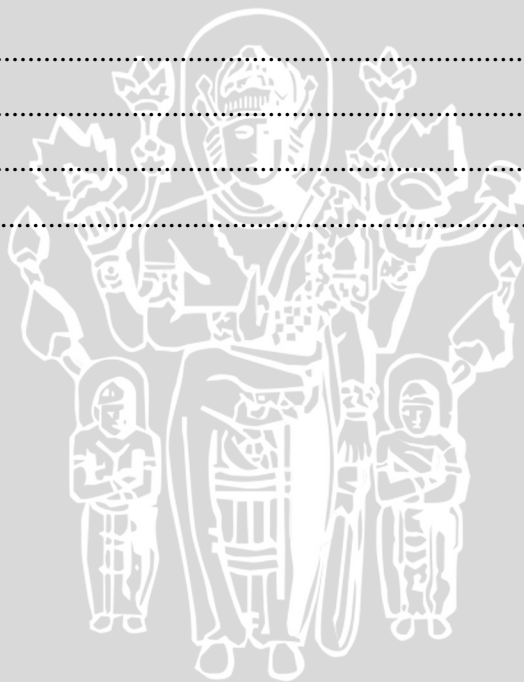
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
ABSTRAK	xiii
BAB I - PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Pembahasan	2
BAB II - TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tungku bakar Keramik	4
2.1.1 Tungku bahan bakar gas	5
2.2 Sensor Suhu <i>Resistance Temperature Detector</i> (RTD) PT100	6
2.3 Motor Servo	7
2.4 Kontroler	10
2.4.1 Kontroler Proporsional	11
2.4.2 Kontroler Integral	12
2.4.3 Kontroler Diferensial	12
2.4.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)	13
2.4.5 Ziegler-Nichols dan <i>Hand Tuning</i> Kontroler PID	14
2.5 PWM (Pulse Width Modulation)	17
2.6 Arduino Uno	17
2.6.1 Daya	18
2.6.2 Memori	19
2.6.3 <i>Input dan Output</i>	19
2.6.4 Komunikasi	19
BAB III - METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Studi Literatur	20



3.2	Penentuan Spesifikasi Alat.....	20
3.3	Perancangan Sistem.....	21
3.4	Realisasi Pembuatan Sistem.....	21
3.4.1	Perangkat Keras.....	21
3.4.2	Perangkat Lunak.....	21
3.5	Pengujian Alat.....	21
3.6	Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	22
BAB IV - PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT		
4.1	Perancangan Sistem.....	23
4.2	Diagram Blok Sistem.....	23
4.3	Prinsip Kerja Alat.....	24
4.4	Perancangan Perangkat Keras (Hardware).....	25
4.4.1	Spesifikasi Alat.....	25
4.4.2	Perancangan Motor Servo.....	26
4.4.3	Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100.....	27
4.4.3.1	Sensor Suhu PT100 dan Rangkaian Jembatan Wheatstone.....	27
4.4.3.2	Penguat Instrumentasi.....	28
4.4.3.3	Perhitungan Keseluruhan Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu PT100.....	30
4.5	Perancangan Kontroler PID.....	32
4.6	Modul Arduino Uno Rev.3.....	39
4.7	Perancangan Perangkat Lunak.....	41
BAB V - PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM		
5.1	Pengujian Sensor Suhu.....	42
5.1.1	Peralatan yang digunakan.....	42
5.1.2	Prosedur Pengujian.....	42
5.1.3	Hasil Pengujian.....	43
5.2	Pengujian Sinyal Kontrol Motor Servo.....	45
5.2.1	Peralatan yang Digunakan.....	46
5.2.2	Prosedur Pengujian.....	46
5.2.3	Hasil Pengujian.....	46
5.3	Pengujian Kenaikan Suhu Terhadap Pembukaan <i>Valve Burner</i>	57

5.3.1	Peralatan yang Digunakan.....	57
5.3.2	Prosedur Pengujian.....	57
5.3.3	Hasil Pengujian	58
5.4	Pengujian dengan <i>Setpoint</i> Berbeda.....	58
5.4.1	Peralatan yang digunakan.....	58
5.4.2	Prosedur Pengujian.....	58
5.4.3	Hasil Pengujian	59
5.5	Pengujian Keseluruhan.....	60
5.5.1	Peralatan yang digunakan.....	60
5.5.2	Prosedur Pengujian.....	60
5.5.3	Hasil Pengujian	61
BAB VI - PENUTUP		
6.1	Kesimpulan.....	63
6.2	Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN.....		70



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plan	16
Tabel 4.1 Hasil <i>Tuning</i> Nilai Kp	37
Tabel 4.2 Hasil <i>Tuning</i> Nilai Kp dan Ki	39
Tabel 4.3 Fungsi Pin Arduino Uno Rev3	40
Tabel 5.1 Hasil Pengujian <i>Duty Cycle</i> Motor Servo	56
Tabel 5.2 Hasil Pengujian dengan <i>Setpoint</i> Berbeda	59
Tabel I.1 Hasil Perbandingan Nilai Pembacaan Suhu Praktek dan Teori.....	65
Tabel I.2 Pengambilan Resistansi Sebanyak 10 Kali.....	67
Tabel I.3 Hasil Uji T Sensor Suhu PT100.....	68
Tabel I.4 Hasil Pengujian Tegangan Motor Servo.....	69
Tabel I.5 Hasil Pengujian Trayek Keseluruhan	71

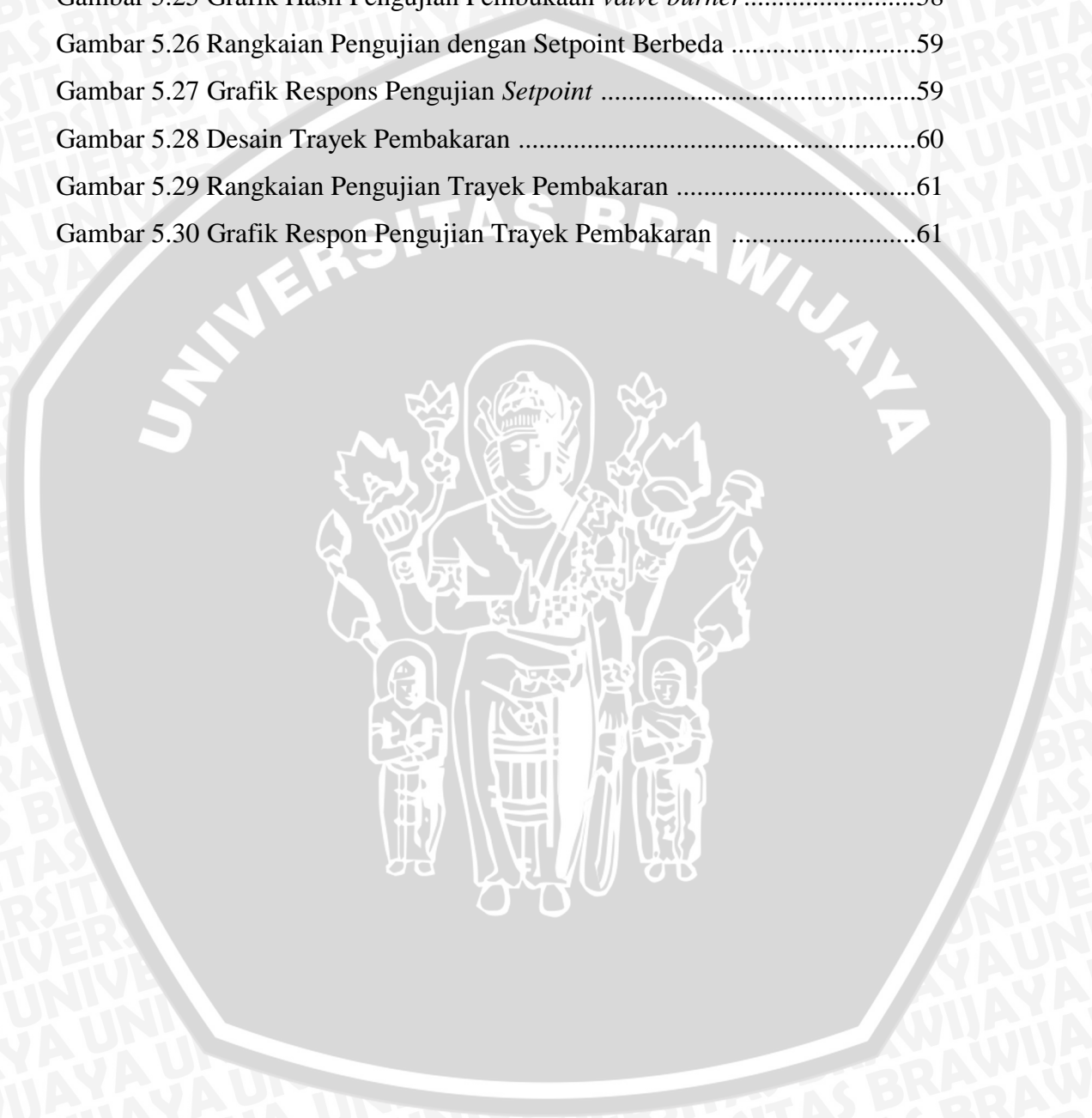


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Trayek Pembakaran Keramik.....	4
Gambar 2.2 Tungku bahan bakar gas.....	5
Gambar 2.3 Rangkaian Dasar PT100	6
Gambar 2.4 Sensor suhu PT100.....	6
Gambar 2.5 Motor Servo	8
Gambar 2.6 Jalur Kabel Motor Servo	8
Gambar 2.7 Konfigurasi Pin Pengabelan Motor Servo	9
Gambar 2.8 Pengaturan Sudut Motor Servo	10
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Proposional	12
Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler Integral	12
Gambar 2.11 Diagram Blok Kontroler Diferensial	13
Gambar 2.12 Diagram Blok Kontroler PID	13
Gambar 2.13 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% <i>Maximum</i> <i>Overshoot</i>	14
Gambar 2.14 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step	14
Gambar 2.15 Kurva Respon yang Berbentuk S	15
Gambar 2.16 Sinyal PWM Secara Umum	17
Gambar 2.17 Tampak Depan Arduino Uno	18
Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem	23
Gambar 4.2 Grafik pembakaran dalam skala perbandingan 1:4	24
Gambar 4.3 Perancangan Tungku Bakar	26
Gambar 4.4 Perancangan Motor Servo pada <i>Valve</i>	26
Gambar 4.5 Pemasangan Motor Servo	27
Gambar 4.6 Rangkaian Jembatan Wheatstone	27
Gambar 4.7 Diagram Blok Perancangan Sensor Suhu PT100	28
Gambar 4.8 Rangkaian pengkondisi sinyal sensor suhu PT100	29
Gambar 4.9 Modul Rangkaian Pengkondisi Sinyal PT100	30
Gambar 4.10 Kurva Respon yang Berbentuk S	33
Gambar 4.11 Hasil Kurva Respon yang Berbentuk S	33

Gambar 4.12 Hasil Respon yang dengan Nilai Kp dan Ki Berdasarkan Ziegler Nichols	34
Gambar 4.13 Grafik Respon dengan $K_p = 0.6$, $K_i = 0$, $K_d = 0$	35
Gambar 4.14 Grafik Respon dengan $K_p = 0.8$, $K_i = 0$, $K_d = 0$	35
Gambar 4.15 Grafik Respon dengan $K_p = 1$, $K_i = 0$, $K_d = 0$	36
Gambar 4.16 Grafik Respon dengan $K_p = 1$, $K_i = 0.11$, $K_d = 0$	37
Gambar 4.17 Grafik Respon dengan $K_p = 1$, $K_i = 0.13$, $K_d = 0$	38
Gambar 4.18 Grafik Respon dengan $K_p = 1$, $K_i = 0.15$, $K_d = 0$	38
Gambar 4.19 Desain Sistem Arduino Uno Rev3	39
Gambar 4.20 Modul Arduino Uno	40
Gambar 4.21 <i>Flowchart</i> Program	41
Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor Suhu PT100	43
Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Nilai pembacaan Suhu Secara Praktek dan Teori	43
Gambar 5.3 Batas Nilai t-Tabel	45
Gambar 5.4 Rangkaian Pengujian Sinyal Kontrol Servo	46
Gambar 5.5 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 0°	47
Gambar 5.6 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 0°	47
Gambar 5.7 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 30°	48
Gambar 5.8 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 30°	48
Gambar 5.9 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 45°	49
Gambar 5.10 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 45°	49
Gambar 5.11 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 60°	50
Gambar 5.12 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 60°	50
Gambar 5.13 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 90°	51
Gambar 5.14 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 90°	51
Gambar 5.15 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 120°	52
Gambar 5.16 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 120°	52
Gambar 5.17 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 135°	53
Gambar 5.18 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 135°	53
Gambar 5.19 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 150°	54
Gambar 5.20 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 150°	54

Gambar 5.21 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 180°	55
Gambar 5.22 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 180°	55
Gambar 5.23 Grafik <i>Duty Cycle</i> Motor Servo	56
Gambar 5.24 Grafik Hubungan Antara Tegangan dengan Sudut Servo	57
Gambar 5.25 Grafik Hasil Pengujian Pembukaan <i>valve burner</i>	58
Gambar 5.26 Rangkaian Pengujian dengan Setpoint Berbeda	59
Gambar 5.27 Grafik Respons Pengujian <i>Setpoint</i>	59
Gambar 5.28 Desain Trayek Pembakaran	60
Gambar 5.29 Rangkaian Pengujian Trayek Pembakaran	61
Gambar 5.30 Grafik Respon Pengujian Trayek Pembakaran	61



ABSTRAK

Raditya Wiradhana, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2013, Sistem Pengendalian Suhu Pada Tungku Bakar Menggunakan Kontroler PID, Dosen Pembimbing: M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D, Ir. Purwanto, MT

Pada saat ini masih banyak tungku bakar berbahan bakar gas yang dikendalikan secara manual. Misalnya pada *valve* tungku bakar yang masih diputar secara manual dengan melihat warna api pada *burner*. Hal ini memiliki resiko yang cukup tinggi, karena tungku bakar yang dikendalikan secara manual memiliki tingkat kesalahan yang besar dibandingkan dengan tungku bakar yang dikendalikan secara otomatis.

Salah satu solusi dari hal tersebut yaitu menggunakan tungku bakar yang dapat dikendalikan secara otomatis dengan menggunakan metode kontrol PID. Salah satu keuntungan kontrol PID adalah memiliki respons yang halus dan cepat. Pada skripsi ini digunakan metode *hand tuning*. Dalam pembuatannya digunakan Arduino Uno Rev3, sensor suhu PT100, motor servo.

Dari hasil pengujian terhadap aplikasi kontroler PID dengan menggunakan metode *hand tuning* ini didapatkan nilai $K_p = 1$, $K_i = 0,15$, dan $K_d = 0$ yang menunjukkan bahwa respons sistem untuk pengendalian suhu sesuai trayek pembakaran mempunyai rata-rata *error sebesar* 1.877%. Dari pengujian juga didapatkan toleransi kesalahan sebesar 2% - 5%.

Kata kunci: *Sensor PT100, Arduino Uno Rev3, motor servo, PID.*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan memberikan dampak positif pada perkembangan dunia elektronik khususnya di bidang sistem kontrol. Pada saat ini banyak teknologi yang sudah menggunakan alat kontrol otomatis. Hal tersebut disebabkan karena keinginan manusia untuk memenuhi kebutuhan dan mendapatkan fasilitas akan kemudahan dan efisiensi dalam berbagai bidang.

Aplikasi teknik elektro khususnya di bidang sistem kontrol dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari untuk menciptakan kemudahan dan fasilitas bagi manusia. Salah satunya adalah aplikasi teknik elektro yang diterapkan pada pembuatan tungku bakar otomatis berbahan bakar gas.

Pada saat ini masih banyak tungku bakar berbahan bakar gas yang dikendalikan secara manual. Misalnya pada tungku bakar keramik yang masih melihat warna api saat melakukan pembakaran. Hal ini tentunya memiliki resiko yang cukup tinggi dan memiliki tingkat kesalahan yang besar dibandingkan dengan tungku bakar yang dikendalikan secara otomatis.

Sehubungan dengan hal tersebut, maka diberikan suatu inovasi dengan merancang suatu tungku bakar berbahan bakar gas dengan *valve burner* (kompor) yang dapat dikendalikan secara otomatis. Pada umumnya, proses pembakaran keramik memiliki suatu trayek pembakaran yang memerlukan waktu selama 10 jam untuk mencapai suhu maksimal sebesar 1200 °C. Pada skripsi ini, akan dirancang suatu trayek pembakaran yang mengacu pada trayek pembakaran keramik dengan memperkecil skala suhu pembakaran dan ukuran tungku. Untuk pengontrolan *valve burner* (kompor) akan digunakan kontroler PID berbasis arduino.

Dengan mempertimbangkan keterbatasan waktu perancangan, pengujian dan keterbatasan suhu, maka hasil yang ingin kami capai hanya terbatas pada kemampuan alat untuk mencapai suhu yang disesuaikan dengan trayek yang telah ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang disebutkan pada latar belakang, maka ditetapkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem pengendalian suhu pada tungku bakar menggunakan kontroler PID?
2. Bagaimana merancang hardware dan software sistem pengendalian suhu pada tungku bakar menggunakan kontroler PID?

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya objek pengkajian maka perlu dilakukan pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah :

1. Tungku bakar yang digunakan adalah tungku yang diadaptasi dari tungku bakar keramik.
2. Digunakan 1 buah motor servo.
3. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu PT100 dengan range suhu 0 – 400 °C .
4. Menggunakan trayek pembakaran keramik sebagai acuan kenaikan suhu.
5. Pembahasan mekanik, model matematis, serta rangkaian elektronika tidak dibahas secara mendalam, pembahasan ditekankan pada penggunaan kontrol PID pada sistem.

1.4 Tujuan

Merancang parameter PID yang sesuai untuk diterapkan dalam sistem pengendalian suhu pada tungku bakar dengan trayek pembakaran yang telah ditentukan.

1.5 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari enam bagian dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metodologi

Membahas metode penelitian dan perencanaan alat.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

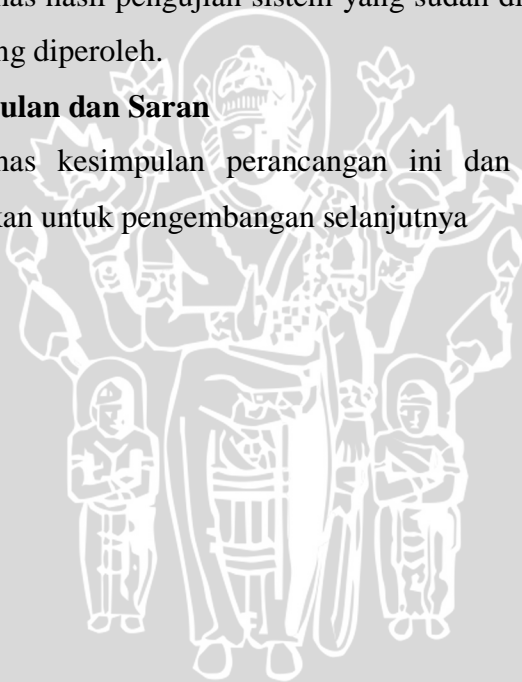
Membahas perancangan alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan pembuatan alat. Setelah itu, bagaimana penerapannya dalam sistem secara keseluruhan.

BAB V Pengujian dan Analisis

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat, serta analisis hasil yang diperoleh.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan perancangan ini dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan selanjutnya



BAB II

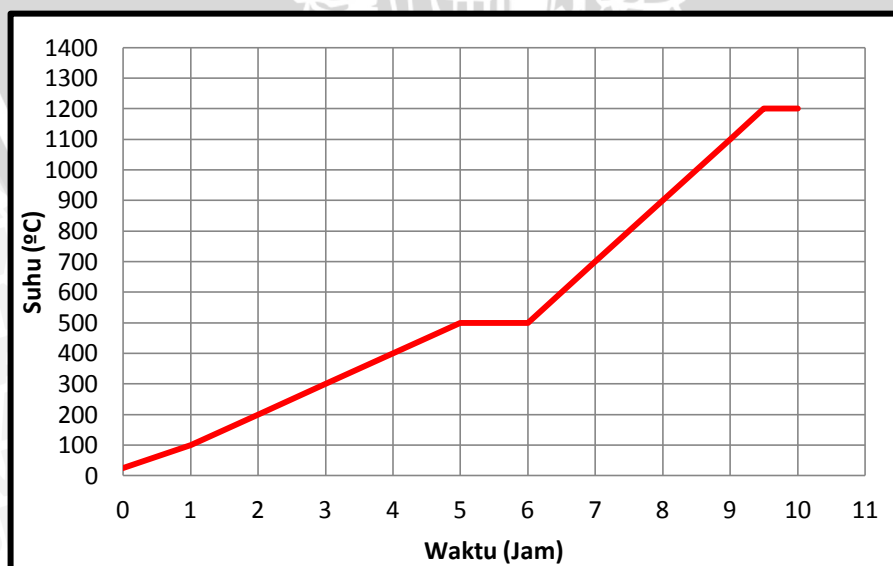
TINJAUAN PUSTAKA

Untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan alat ini, maka perlu adanya penjelasan dan uraian teori penunjang yang digunakan dalam penulisan ini. Teori penunjang yang akan dijelaskan dalam bab ini adalah:

- Tungku bakar keramik
- Sensor Suhu PT100
- Motor Servo
- Kontroler PID
- PWM (Pulse Width Modulation)
- Arduino Uno

2.1 Tungku bakar Keramik

Tahap akhir dan merupakan tahap terpenting dari pembuatan gerabah adalah proses pembakaran. Proses pembakaran disini menggunakan tungku bakar keramik dengan bahan bakar gas elpiji. Karena membakar benda yang terbuat dari tanah liat tidaklah mudah, maka untuk melakukan kegiatan ini dibutuhkan teknik dan media yang tepat. Trayek pembakaran keramik dapat dilihat dalam Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Trayek Pembakaran Keramik

Sumber: Observasi keramik dinoyo

2.1.1 Tungku Bahan Bakar Gas

Pada skripsi ini digunakan miniatur tungku bakar keramik berbahan bakar gas, yang akan disesuaikan dengan tungku bakar sebenarnya pada industri keramik Dinoyo, Malang.

Tungku pembakaran keramik dengan bahan bakar gas saat ini dirasakan relatif lebih murah dan mudah dibandingkan dengan tungku lainnya. Dengan menggunakan tungku gas maka kondisi pembakaran netral, oksidasi atau reduksi dapat dengan mudah dicapai, dengan mengatur gas, saluran udara primer dan damper. Tungku bahan bakar gas dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



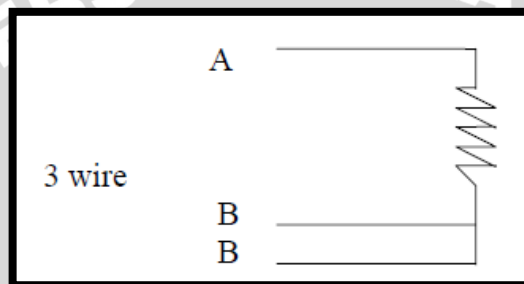
Gambar 2.2 Tungku bahan bakar gas

Sumber: Observasi Industri keramik Dinoyo, Malang

Tungku di atas memiliki ukuran panjang 100 cm, lebar 90 cm dan tinggi 120 cm dengan volume tungku sebesar 0.7 m³. Material yang digunakan yaitu plat besi setebal 3 mm dengan dilapisi bata tahan api setebal 11 cm dan ceramic fiber setebal 4 cm. Material tersebut digunakan dengan tujuan agar panas yang dihasilkan burner tidak menembus keluar, sehingga pembakaran berjalan sesuai trayek yang diinginkan. Pada samping tungku terdapat lubang intip yang digunakan untuk melihat warna api saat pembakaran berlangsung.

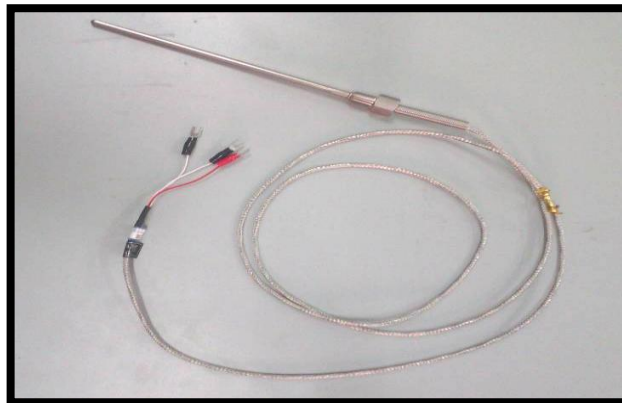
2.2 Sensor Suhu *Resistance Temperature Detector* (RTD) PT100

Resistance Temperature Detector (RTD) atau dikenal dengan Detektor Temperatur Tahanan adalah sebuah alat yang digunakan untuk menentukan nilai atau besaran suatu temperatur/suhu. Alat ini menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga, atau nikel murni, yang memberikan nilai tahanan yang terbatas untuk masing-masing temperatur di dalam kisaran suhunya. Semakin panas benda tersebut semakin besar atau semakin tinggi nilai tahanan listriknya, begitu juga sebaliknya. Rangkaian dasar PT100 dapat dilihat dalam Gambar 2.3 dan gambar sensor suhu PT100 ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Rangkaian Dasar PT100

Sumber: Datasheet RTD PT100



Gambar 2.4 Sensor suhu PT100

Sumber : Foto

Gambar 2.4 menunjukkan sebuah sensor PT100 yang dikualifikasikan sebagai sensor RTD. Sensor ini sering digunakan dalam dunia industri. Prinsip dasar RTD adalah jika pada tahanan listrik dari logam yang bervariasi sebanding dengan suhu. Kesebandingan variasi ini adalah presisi dengan tingkat konsisten/kestabilan yang tinggi pada pendeteksian tahanan. Platina adalah bahan

yang sering digunakan karena memiliki tahanan suhu, kelinearan, stabilitas, dan reproduksibilitas.

Resistance Temperature Detector merupakan sensor pasif karena sensor ini membutuhkan energi dari luar. Elemen yang umum digunakan pada tahanan resistansi adalah kawat nikel, tembaga, dan platina murni yang dipasang dalam sebuah tabung guna untuk memproteksi terhadap kerusakan mekanis. *Resistance Temperature Detector* (PT100) digunakan pada kisaran suhu -2000°C sampai dengan 6500°C .

PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistance Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu.

PT100 tipe DIN (Standard Eropa) memiliki resolusi 0,385 ohm per 1°C . Jadi resistansinya akan naik sebesar 0,385 ohm untuk setiap kenaikan suhu 1°C . Untuk mengukur suhu secara elektronik menggunakan sensor suhu PT100, maka kita harus mengeksitasinya dengan arus yang tidak boleh melebihi nilai 1mA. Hal ini karena jika dialiri arus melebihi 1 mA, maka akan timbul efek self-heating. Jadi, seperti layaknya komponen resistor, maka kelebihan arus akan diubah menjadi panas. Akibatnya hasil pengukuran menjadi tidak sesuai lagi.

2.3 Motor Servo

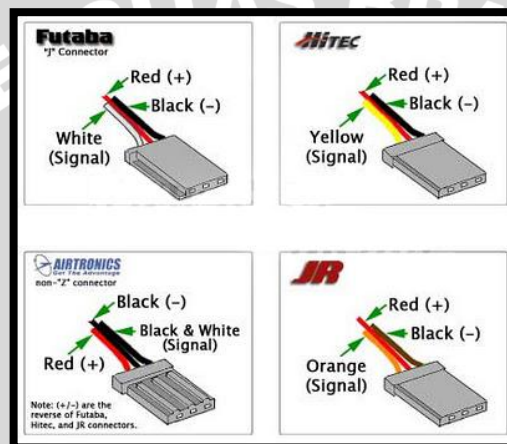
Motor servo adalah motor dengan sistem *closed feedback* yang berarti posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada dalam motor servo. Motor ini terdiri atas sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sedangkan sudut sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.

Motor servo mampu bekerja dua arah yaitu CW (*clockwise*) atau searah jarum jam dan CCW (*counter clockwise*) atau berlawanan arah jarum jam yang arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal PWM (*pulse width modulation*) pada bagian pin kontrolnya. Gambar 2.5 menunjukkan gambar motor servo dan Gambar 2.6 menunjukkan jalur kabel motor servo.



Gambar 2.5 Motor Servo

Sumber: Parallax, Inc.



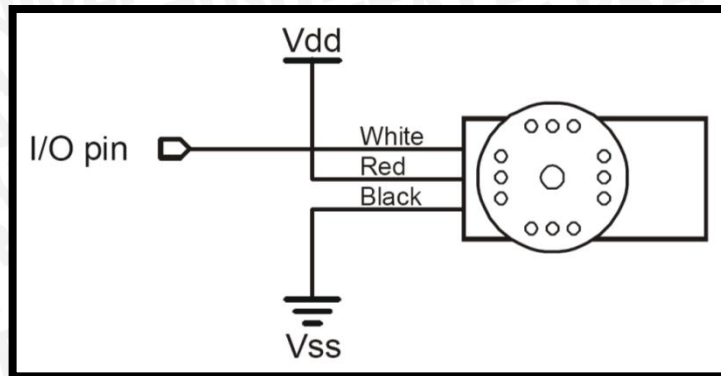
Gambar 2.6 Jalur Kabel Motor Servo

Sumber: fikri4share.blogspot.com

Motor servo merupakan motor yang berputar lambat, biasanya ditunjukkan oleh *rate* putarannya yang lambat, namun demikian memiliki torsi yang kuat karena *internal gear*-nya. Karakteristik motor servo adalah sebagai berikut:

1. Memiliki 3 jalur kabel: *power*, *ground*, dan *control* seperti ditunjukkan dalam gambar 2.7.
2. Pin *Control* untuk mengendalikan posisi.
3. Operasional dari motor servo dikendalikan oleh sebuah pulsa selebar ± 20 ms, dengan lebar pulsa antara 0.5 ms dan 2 ms menyatakan ahir dari *range* sudut maksimum.
4. Konstruksi didalamnya meliputi *internal gear*, *potensiometer*, dan *feedback control*.

Konfigurasi pin pengabelan motor servo ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Konfigurasi Pin Pengabelan Motor Servo

Sumber: Parallax, Inc.

Secara umum terdapat dua jenis motor servo, yaitu:

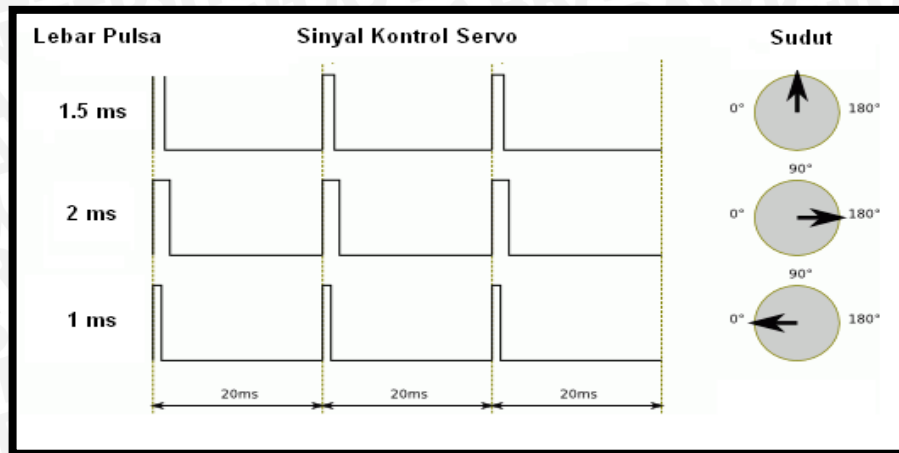
1. Motor Servo *Standar 180°*

Motor servo jenis ini merupakan motor yang hanya mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan mempunyai *defleksi* masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total *defleksi* sudut dari kanan – tengah – kiri adalah 180° .

2. Motor Servo *Continuous*

Motor servo jenis ini mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan tanpa batasan *defleksi* sudut putar (dapat berputar secara kontinyu) sehingga motor ini berputar 360° .

Pengaturan sudut motor servo diperlukan untuk mengetahui gerakan dari motor servo dengan pulsa yang harus diberikan untuk bergerak ke kanan atau bergerak ke kiri. Gambar 2.8 menunjukkan teknik PWM (*pulse width modulation*) untuk mengatur sudut motor servo.



Gambar 2.8 Pengaturan Sudut Motor Servo

Sumber: Parallax, Inc.

Dalam gambar 2.8 diasumsikan bahwa saat diberikan sinyal periodik dengan lebar 1 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 0° , jika diberi sinyal 1.5 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 90° , dan jika diberi sinyal 2 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 180° . Perhitungan rumus motor servo akan ditunjukkan persamaan sebagai berikut:

$$S = D \left(\frac{1000}{180} \right) + 1000 \mu s \text{ atau}$$

$$S = (5.555)D + 1000 \mu s$$

S = Lebar Pulsa dalam μs

D = Sudut putar servo dalam derajat

(Rizal Maulana, 2011: 9)

2.4 Kontroler

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*nya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respons transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Dalam sistem pengendalian terdapat 2 macam *loop*:

1. Pengendalian dengan *loop* terbuka

Sistem kontrol *loop* terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol *loop* terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpun balikan untuk dibandingkan dengan masukan.

2. Pengendalian dengan *loop* tertutup

Sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol yang keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Disebut juga sistem kontrol yang menggunakan umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.

2.4.1 Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding dengan sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

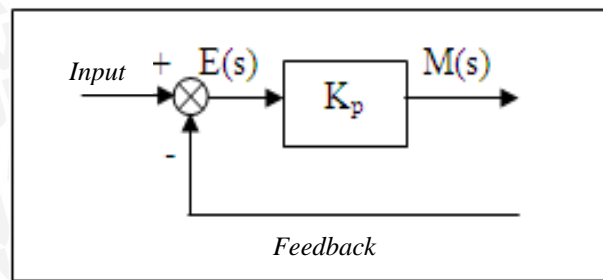
$$m(t) = K_p \cdot e(t) \dots\dots\dots (2.1)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata K., 1997

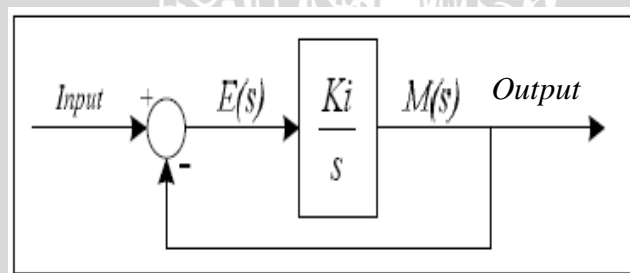
2.4.2 Kontroler Integral

Kontroler integral berfungsi mengurangi kesalahan keadaan mantap pada kontroler proporsional sebelumnya. Pada kontroler dengan aksi integral, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$.

Jadi,

$$\frac{dm(t)}{dt} = Ki \cdot e(t) \dots\dots\dots (2.3)$$

Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi dua kali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner. Aksi kontrol integral seringkali disebut control *reset* (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler integral ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler Integral

Sumber: Ogata K., 1997

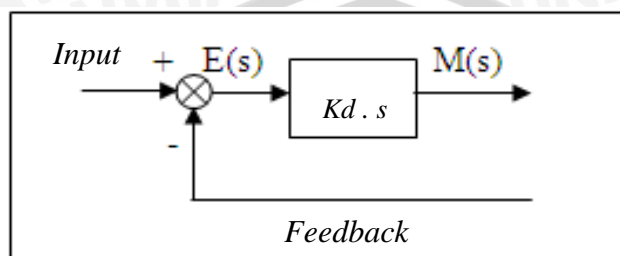
2.4.3 Kontroler Diferensial

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K.,1997). Kontroler diferensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan

input, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kd \cdot s \dots\dots\dots (2.4)$$

Diagram blok kontroler differensial ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Diagram Blok Kontroler Diferensial

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

2.4.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

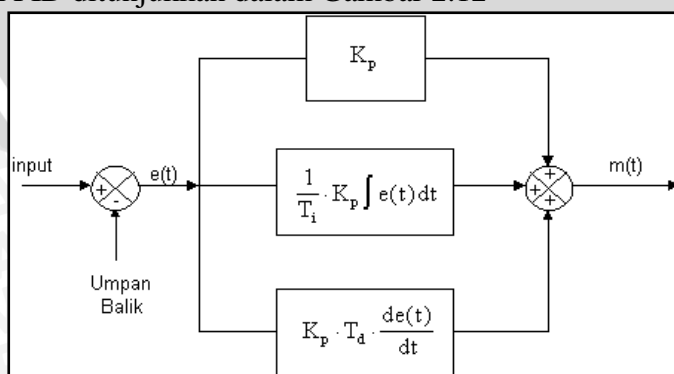
Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Elemen-elemen P, I, dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$m(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \cdot e(t)dt + Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Ti \cdot s} + Td \cdot s \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Diagram blok PID ditunjukkan dalam Gambar 2.12



Gambar 2.12 Diagram Blok Kontroler PID

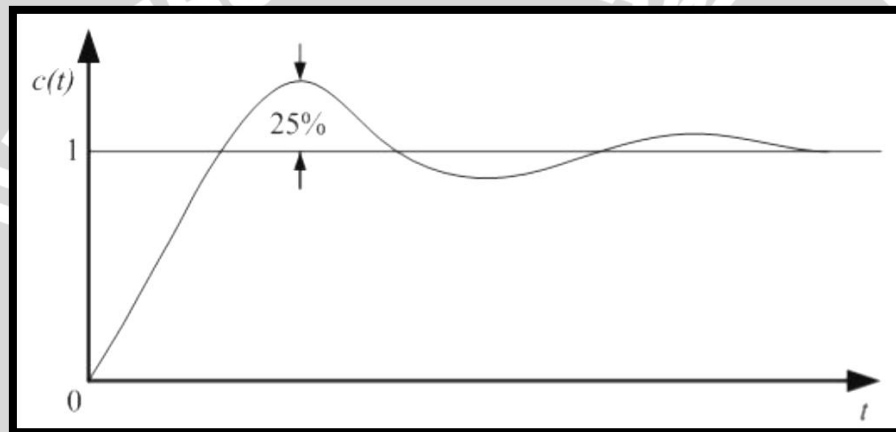
Sumber: Ogata K., 1997



2.4.5 Ziegler-Nichols dan *Hand Tuning* Kontroler PID

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 plan. (Ogata, K., 1997)

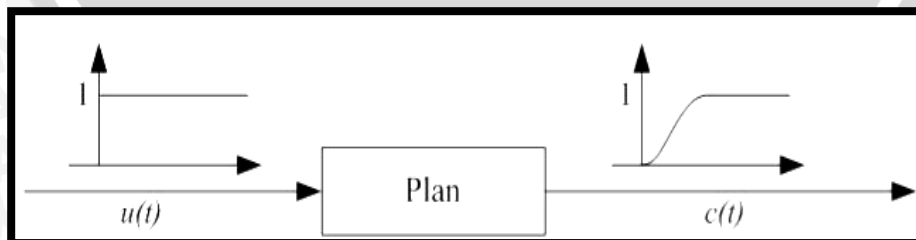
Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada respon unit step, ditunjukkan dengan Gambar 2.13



Gambar 2.13 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% *Maximum Overshoot*
Sumber: Ogata, K., 1997

1). Metode Pertama

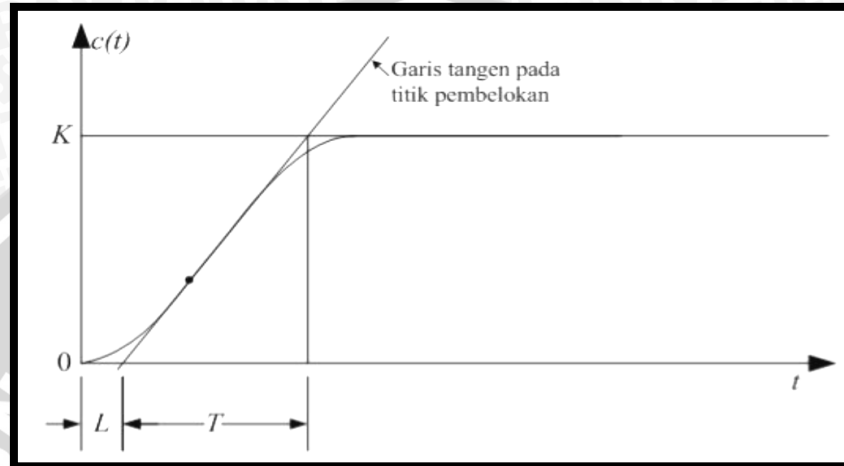
Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plan dapat dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.14



Gambar 2.14 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step

Sumber: Ogata, K. 1997

Jika dalam plan tersebut terdapat integrator atau *dominan complex-conjugate poles*, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.15 jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku.(Ogata, K., 1997).



Gambar 2.15 Kurva Respon yang Berbentuk S
 Sumber: Ogata, K. 1997

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan 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 $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Persamaan (2-7). Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \dots\dots\dots (2-7)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 1 (Ogata, K., 1997).

Tabel 2.1 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plan

Sumber: Ogata, K. 1997

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	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

Selain dengan menggunakan Ziegler-Nichols, kontroler PID dapat di *tuning* dalam beberapa cara, antara lain *loop tuning*, metode analitis, optimisasi, *pole placement*, *auto tuning*, dan *hand tuning* (Smith, 1979; Astrom & Hagglund, 1995). Pada skripsi ini digunakan cara *hand tuning* untuk menentukan besar K_p , K_i , dan K_d . Hal ini dilakukan karena ada kendala untuk melakukan cara lain yang disebutkan di atas. Kendala tersebut adalah tidak dapat melihat respon motor secara langsung karena tidak digunakannya sensor untuk mengukur kecepatan motor saat system berjalan. Selain itu tidak adanya model matematis dari motor membuat cara analitis sulit untuk dilakukan.

Menurut Smith (1979), untuk melakukan *hand tuning* prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

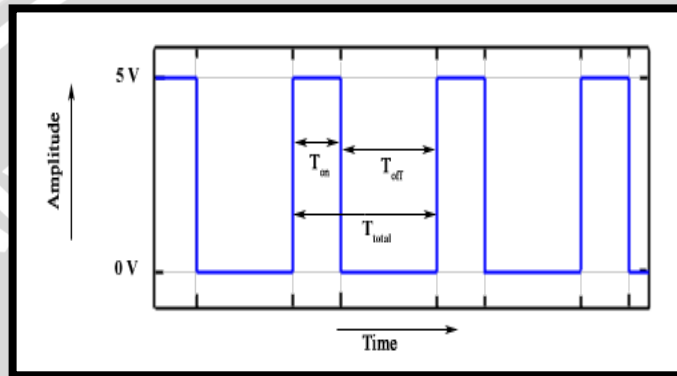
1. Melepaskan kontroler integral dan deferensial dengan memberikan nilai $K_i = 0$ dan $K_d = 0$.
2. Mengatur nilai K_p hingga didapatkan respons yang diinginkan, dengan mengabaikan *offset* dari *setpoint*.
3. Dengan terus menaikkan nilai K_p , nilai dari K_d dinaikkan untuk mengurangi *overshoot* yang terjadi.
4. Naikkan nilai K_i untuk mengurangi *offset*.

Keuntungan dari *hand tuning* adalah prosedur di atas dapat dilakukan dengan segera, *online* dan dapat melihat dengan cepat respons system setelah perubahan K_p , K_i , dan K_d . Kerugian dari cara ini adalah kesulitan untuk melihat apakah *setting* akhir dari kontroler merupakan nilai optimal atau tidak (Jantzen, 2001).

2.5 PWM (Pulse Width Modulation)

PWM (*Pulse Width Modulation*) digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC. Kecepatan motor DC tergantung pada besarnya *duty cycle* yang diberikan pada motor DC tersebut.

Pada sinyal PWM, frekuensi sinyal konstan sedangkan *duty cycle* bervariasi dari 0% - 100%. Dengan mengatur *duty cycle* akan diperoleh keluaran yang diinginkan. Sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) secara umum ditunjukkan dalam Gambar 2.16 berikut:



Gambar 2.16 Sinyal PWM Secara Umum

Sumber: electronics-scheme.com

$$Duty\ cycle = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \dots (\%) \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan:

T_{on} = Periode logika tinggi

T = Periode keseluruhan

$$V_{dc} = Duty\ cycle \times V_{cc} \dots (V) \dots \dots \dots (2.9)$$

Sedangkan frekuensi sinyal dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$f_{0n} = \frac{f_{clk\ I/O}}{N.256} \dots (Hz) \dots \dots \dots (2.10)$$

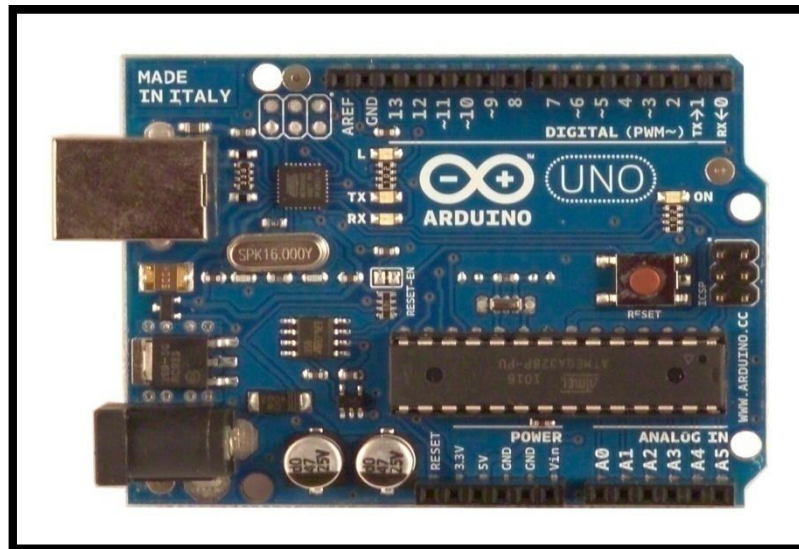
2.6 Arduino Uno

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board



Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya.

Uno berbeda dengan semua board sebelumnya dalam hal koneksi USB-to-serial yaitu menggunakan fitur Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial berbeda dengan board sebelumnya yang menggunakan chip FTDI driver USB-to-serial. Board arduino uno ditunjukkan dalam Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Tampak Depan Arduino Uno

Nama “Uno” berarti *satu* dalam bahasa Italia, untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi dari Arduino. Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian board USB Arduino, dan sebagai model referensi untuk platform Arduino, untuk perbandingan dengan versi sebelumnya.

2.6.1 Daya

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal (otomatis). Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari AC-ke adaptor-DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan plug jack pusat-positif ukuran 2.1mm konektor POWER. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam Gnd dan Vin pin header dari konektor POWER. Kisaran kebutuhan daya yang disarankan untuk board Uno adalah 7 sampai dengan 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 volt kemungkinan pin 5v Uno dapat beroperasi tetapi tidak stabil kemudian jika diberi daya lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak board Uno.

2.6.2 Memori

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk bootloader), 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM.

2.6.3 Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin digital di Uno dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi *pinMode* (), *digitalWrite* (), dan *digitalRead* (), beroperasi dengan daya 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki internal pull-up resistor (secara default terputus) dari 20-50 kOhms.

2.6.4 Komunikasi

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan UART TTL (5V) untuk komunikasi serial, yang tersedia di pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah ATmega8U2 sebagai saluran komunikasi serial melalui USB dan sebagai port virtual com untuk perangkat lunak pada komputer. Firmware '8 U2 menggunakan driver USB standar COM, dan tidak ada driver eksternal yang diperlukan. Namun, pada Windows diperlukan, sebuah file inf. Perangkat lunak Arduino terdapat monitor serial yang memungkinkan digunakan memonitor data tekstual sederhana yang akan dikirim ke atau dari board Arduino. LED RX dan TX di papan tulis akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dengan koneksi USB ke komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

Sebuah *Software Serial library* memungkinkan untuk berkomunikasi secara serial pada salah satu pin digital pada board Uno's. ATmega328 juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan Kawat untuk menyederhanakan penggunaan bus I2C.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut

3.1 Studi Literatur

Studi literatur mengacu pada prinsip kerja alat yang dirancang meliputi sistem pengendalian suhu menggunakan kontroler PID, karakteristik dari komponen yang digunakan serta studi tentang pengendalinya yaitu menggunakan arduino uno sebagai pusat pengontrol dengan kendali kontroler PID. Adapun hal-hal yang berhubungan dengan hal tersebut adalah :

1. Studi pengendalian tentang motor
 - Karakteristik motor Servo
2. Studi tentang sensor
 - Karakteristik spesifikasi sensor suhu (PT100)
3. Kontroler PID
 - Karakteristik kontroler PID
4. Teknik pemrograman arduino sebagai pusat pengontrol kendali PID

3.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditentukan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Dengan perencanaan sebagai berikut :

1. Tungku yang digunakan merupakan miniatur tungku dengan ruang yang disesuaikan dengan tungku bakar keramik sebenarnya.
2. Menggunakan satu buah *burner* (kompor) sebagai pembakar tungku.
3. Motor servo sebagai penggerak *valve* pada *burner*.
4. Sensor suhu *PT100* sebagai pendeteksi suhu di dalam tungku.
5. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID.
6. Arduino Uno Rev3 sebagai tempat proses data sistem.

7. Pemrograman menggunakan software Arduino ERW 1.0.5.
8. Tampilan yang digunakan untuk memonitor suhu dalam tungku adalah aplikasi pada software arduino ERW 1.0.5 yaitu dengan Serial Monitor.

3.3 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik pendukungnya, hal ini dimaksudkan agar sistem dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan.

Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

1. Penentuan sensor yang akan digunakan untuk mendeteksi suhu di dalam tungku.
2. Penentuan motor servo yang digunakan untuk memutar valve.
3. Penentuan spesifikasi sistem yang akan dibuat, meliputi :
 - a. Penentuan deskripsi kerja sistem secara keseluruhan.
 - b. Kontroler PID dan rangkaian elektronik pendukung.
 - c. Perancangan program pada *Arduino* sebagai pusat pengontrol dengan kontrol PID.

3.4 Realisasi Pembuatan Sistem

3.4.1 Perangkat Keras

Komponen utama perangkat keras adalah motor servo, sensor suhu dalam tungku menggunakan sensor suhu *PT100*, *valve* pada *burner*, *Arduino Uno Rev3*.

3.4.2 Perangkat Lunak

Pembuatan perangkat lunak (*software*) dilakukan dengan pembuatan *flowchart* terlebih dahulu, kemudian dilakukan perancangan program pada software *Arduino ERW 1.0.5* sebagai pusat pengontrol dengan kendali PID.

3.5 Pengujian Alat

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan perangkat lunak untuk mendukung sistem telah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat.

Metode pengujian alat adalah sebagai berikut:

1. Menguji pada tiap-tiap blok rangkaian.
2. Menguji sensor yang digunakan.
3. Mengadakan pengujian sistem secara keseluruhan.
4. Mengevaluasi hasil pengujian sistem secara keseluruhan

3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan tentunya memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk penyempurnaan.



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

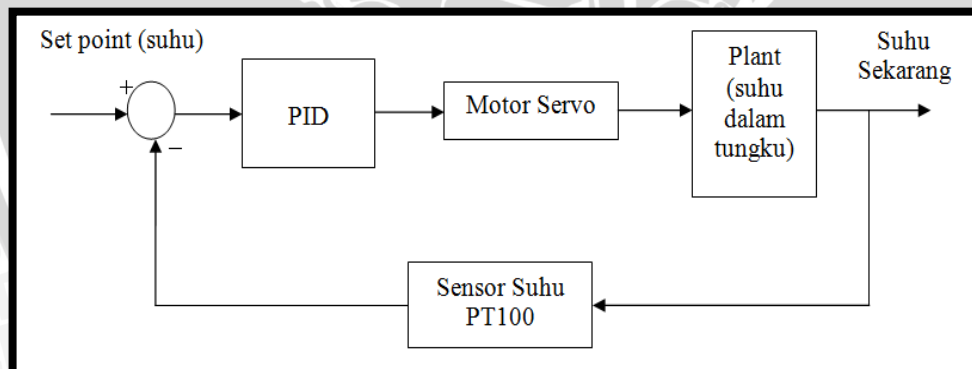
4.1 Perancangan Sistem

Perancangan dan pembuatan alat ini terdiri dari dua bagian, yaitu perancangan dan pembuatan perangkat keras serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap untuk memudahkan analisis sistem. Beberapa aspek yang perlu dijelaskan dalam bab ini meliputi:

1. Cara kerja alat.
2. Spesifikasi alat.
3. Perancangan perangkat keras (mekanik tungku bakar, rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu PT100, motor servo sebagai pemutar valve)
4. Perancangan perangkat lunak (perancangan algoritma kontrol PID pada *software arduino ERW 1.0.5*)

4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



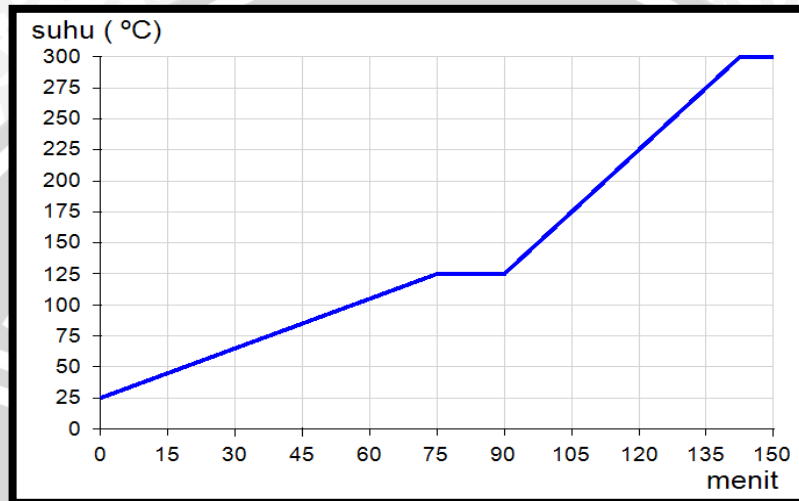
Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem

Sumber : Perancangan

Keterangan dari blok diagram sistem diatas adalah sebagai berikut:

1. Sensor suhu berfungsi sebagai pendeteksi suhu dalam tungku saat itu. Jenis sensor suhu yang digunakan adalah PT100 yang dicatu tegangan sebesar 5 V.
2. Motor yang digunakan adalah motor servo GWServo S04 yang digunakan sebagai aktuator untuk menggerakkan *valve burner*.

3. Pusat pengendalian sistem menggunakan Arduino Uno Rev3 yang memberikan keluaran berupa sudut motor servo.
4. Perancangan alat berupa miniatur pada proses pembakaran keramik dengan memperkecil skala pembakaran dimana perbandingan skala tersebut yaitu 1:4 dengan skala asli. Grafik dengan skala perbandingan tersebut ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik pembakaran dalam skala perbandingan 1:4

4.3 Prinsip Kerja Alat

Cara kerja alat ini yaitu sebagai berikut:

1. Catu daya yang digunakan sebesar 12 volt.
2. PT100 sebagai sensor suhu di dalam tungku. Sensor PT100 akan memberikan keluaran berupa level tegangan yang berubah-ubah sesuai dengan perubahan suhu.
3. Untuk memulai, kami menyesuaikan suhu awal sebesar 25 °C. Saat itu sensor PT100 akan mendeteksi suhu di dalam tungku kemudian memberikan sinyal kepada arduino untuk mulai memutar motor servo sebesar 140 derajat. Ketika motor servo berputar, maka *valve* akan terbuka dan gas mulai mengalir pada *burner* (kompor).
4. Dipicu pemantik api pada ujung *burner* (kompor), kemudian api mulai menyala dan terjadi proses pembakaran.
5. Tahap berikutnya yaitu *tracking* suhu yang disesuaikan dengan trayek pembakaran keramik yang dimulai dari suhu 26 °C sampai dengan 300 °C.

Sensor mulai mendeteksi suhu di dalam tungku. Sensor PT100 bertindak sebagai input untuk arduino yang selanjutnya akan diolah oleh kontroler yang ada pada arduino. Kemudian arduino akan memberikan sinyal kepada motor servo untuk memutar sudut servo menjadi lebih besar. Di saat yang bersamaan, *valve* juga akan membuka lebih sehingga api yang dihasilkan semakin besar.

6. Saat suhu telah mencapai 300 °C kontroler akan memberi sinyal kepada motor servo untuk menutup *valve*.

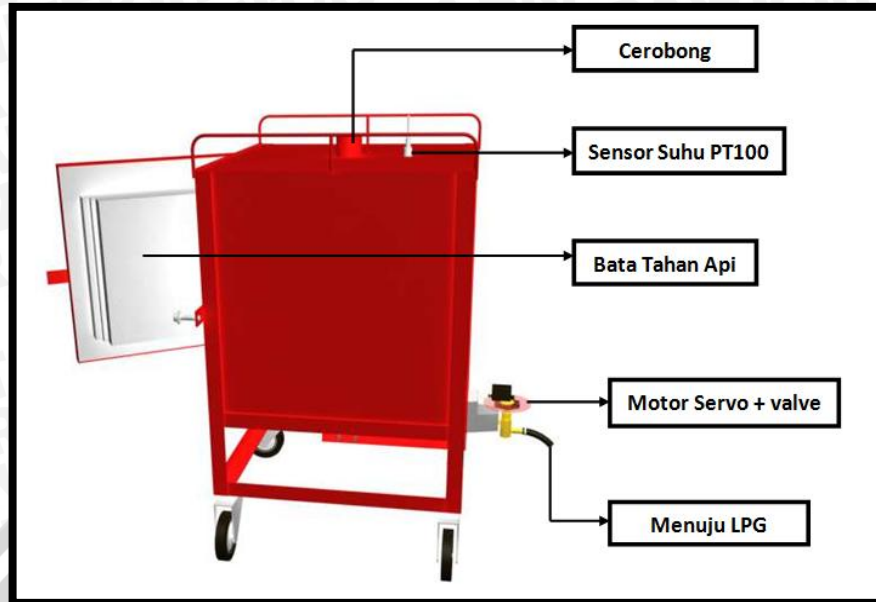
4.4 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

4.4.1 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang dirancang adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan miniatur tungku bakar dengan ukuran sebagai berikut:

Tinggi	: 50 cm
Lebar	: 50 cm
Panjang	: 50 cm
Volume ruang	: 2,7 liter
Bahan	: Plat besi dengan tebal 1.5 mm, bata tahan api
 2. Proses pembakaran tungku menggunakan sebuah *burner* (kompor) yang berbahan bakar gas elpiji dimana burner tersebut dilengkapi dengan sebuah *valve* yang diputar oleh motor servo untuk mengatur besar kecil nya api.
 3. Sensor yang digunakan untuk memantau suhu di dalam tungku adalah sensor suhu PT100.
 4. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID.
 5. Menggunakan satu buah mikrokontroler Arduino Uno Rev3.
 6. Software yang digunakan sebagai pemrograman yaitu Arduino ERW 1.0.5.
- Perancangan perangkat keras tungku bakar ditunjukkan dalam Gambar 4.3.

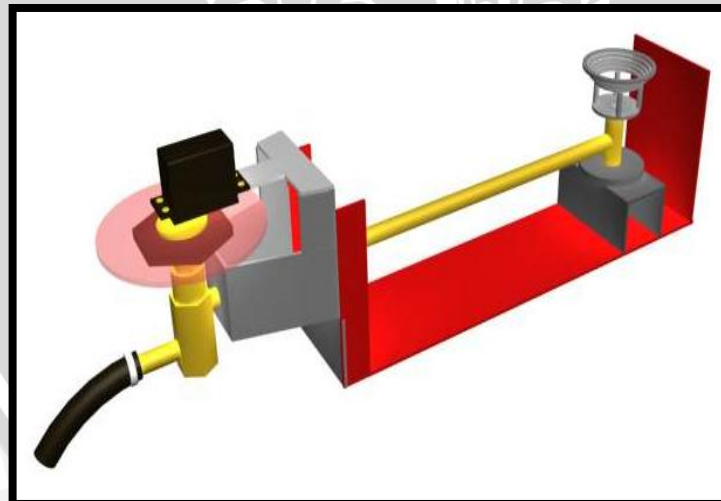


Gambar 4.3 Perancangan Tungku Bakar

Sumber: Perancangan

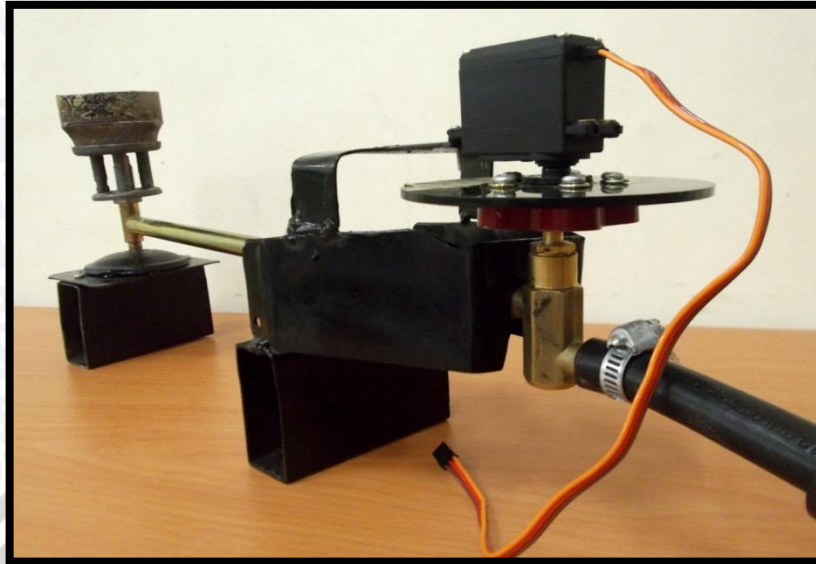
4.4.2 Perancangan Motor Servo

Burner pada tungku ini dilengkapi dengan sebuah valve yang akan diputar oleh Motor Servo untuk mengatur besar kecilnya api. Pemasangan motor servo ditunjukkan dalam Gambar 4.4 dan 4.5 berikut



Gambar 4.4 Perancangan Motor Servo pada Valve

Sumber: Perancangan



Gambar 4.5 Pemasangan Motor Servo

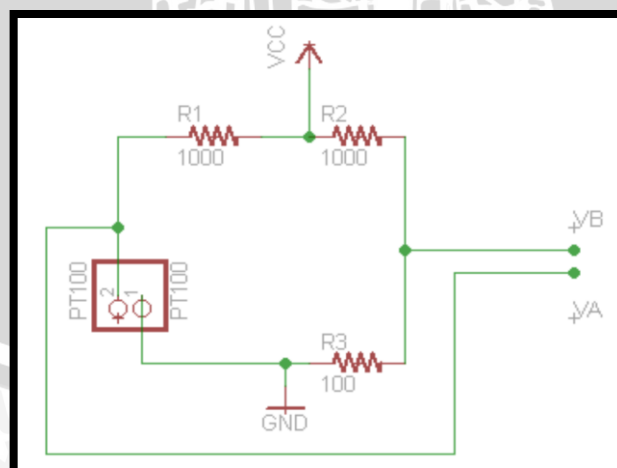
Sumber: Perancangan

4.4.3 Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100

Komponen rangkaian sensor suhu terdiri dari sensor suhu PT 100, rangkaian jembatan wheatstone, penguat instrumentasi, rangkaian *low-pass* filter, dan ADC 10 bit.

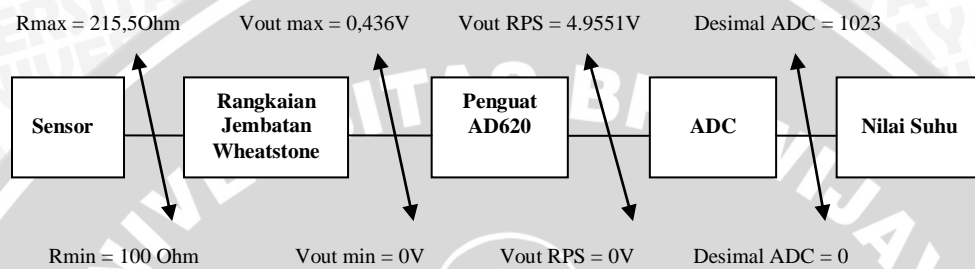
4.4.3.1 Sensor Suhu PT100 dan Rangkaian Jembatan Wheatstone

Gambar rangkaian jembatan wheatstone ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Rangkaian Jembatan Wheatstone

PT 100 adalah sensor suhu yang mengindera perubahan suhu dengan cara mengubah pula besar resistansinya sesuai dengan Persamaan (4.1). Karena itu dibutuhkan suatu rangkaian untuk mengubah besar resistansi PT 100 ke dalam suatu tegangan tertentu. Hal ini dilakukan agar perubahan suhu yang dideteksi oleh PT 100 dapat dideteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT 100 tersebut adalah rangkaian jembatan wheatstone. Diagram blok perancangan sensor suhu PT100 ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Diagram Blok Perancangan Sensor Suhu PT100

Sesuai dengan datasheet diketahui dua karakteristik PT 100 yaitu persamaan perubahan resistansi PT 100 terhadap perubahan suhu:

$$R_{pt} = 100 + (0.385 * \text{suhu}) \dots\dots\dots (4-1)$$

Selain itu PT 100 mampu mengukur suhu dari $0\ ^\circ\text{C}$ hingga $300\ ^\circ\text{C}$. Dari kedua keadaan batas tersebut didapatkan *range* resistansi PT 100 adalah 100 ohm hingga 215.5 ohm.

Berdasarkan perhitungan pembagian tegangan pada jembatan wheatstone didapatkan nilai V_B selalu tetap yaitu 0.45 V dan nilai maksimal V_A yaitu 0.886 V maka didapatkan *range* ΔV yaitu V_A dikurangi V_B adalah $0 - 0.436\ \text{V}$.

4.4.3.2 Penguat Instrumentasi

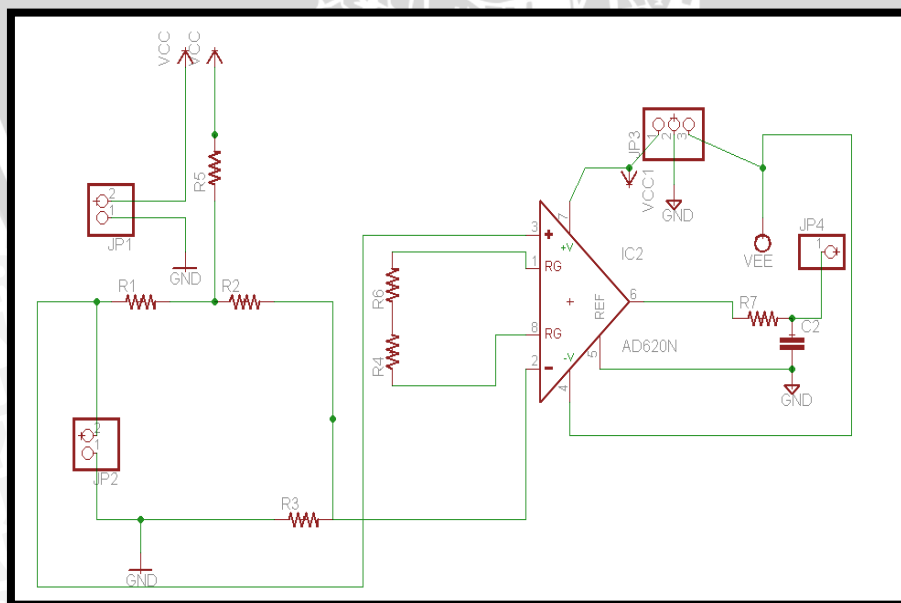
Setelah perubahan resistansi pada PT 100 dapat diubah menjadi perubahan tegangan pada *range* $0 - 0.436\ \text{V}$, maka dibutuhkan suatu rangkaian kembali yang dapat mengubah besar level tegangan $0 - 0.436\ \text{V}$ menjadi $0 - 4.9951\ \text{V}$. Hal ini disebabkan karena ADC bertegangan referensi 5V menerima *range* tegangan yaitu sebesar $0 - 4.9951\ \text{V}$. Rangkaian tersebut adalah rangkaian penguat instrumentasi.

Rangkaian penguat instrumentasi adalah rangkaian penguat diferensial yang ditambahkan *buffer* untuk memperbesar impedansi penguat dimana hal ini adalah salah satu syarat sebuah penguat dapat dikatakan baik.

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

Persamaan (4.2) adalah persamaan penguat instrumentasi AD 620 yang digunakan dalam perancangan ini. Dari perhitungan nilai R_g didapatkan hasil yaitu $R_g = 4766.081742 \Omega$. Resistansi tersebut kemudian dibulatkan menjadi 4700Ω menyesuaikan dengan nilai yang terdapat pada pasaran.

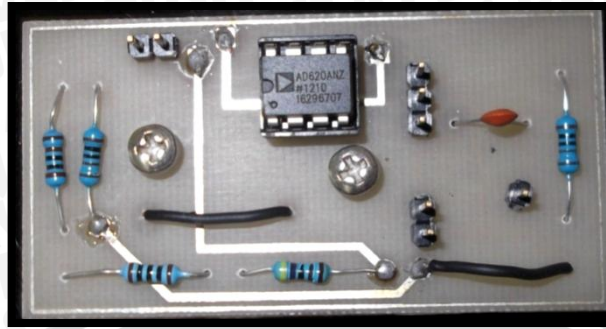
Keluaran penguat instrumentasi kemudian dimasukkan pada rangkaian *low pass filter* untuk meredam *noise*. Rangkaian *low pass filter* dibuat dengan komponen yang terdiri dari R dan C yang masing – masing bernilai 1000 ohm dan 220 nF agar dapat meredam frekuensi diatas 723,7985 Hz. Pada *datasheet* AD620 diketahui bahwa frekuensi diatas 1 kHz menimbulkan noise sebesar 2.8 μV (pada frekuensi 0.1 – 10 Hz). Maka dari itu, dirancang LPF dengan membatasi noise dibawah 1 kHz. Rangkaian keseluruhan pengkondisi sinyal sensor suhu PT100 ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Rangkaian pengkondisi sinyal sensor suhu PT100

Sumber: Perancangan

Modul rangkaian pengkondisi sinyal PT100 ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Modul Rangkaian Pengkondisi Sinyal PT100

4.4.3.3 Perhitungan Keseluruhan Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu PT100

Setelah sinyal pada sensor suhu dikondisikan sesuai syarat dan ketentuan ADC *internal* mikrokontroler, maka sinyal tersebut dimasukkan pada bagian *port analog* atau *port* ADC mikrokontroler Atmega 328 untuk dicacah menjadi suatu sinyal digital. Hasil cacahan tersebut menunjukkan besar resolusi suhu yang dapat diukur adalah 0.26 °C.

Pada saat keadaan 0 °C:

$$\begin{aligned} R_{pt} &= 100 + (0.385 * \text{suhu}) \\ &= 100 \, \Omega \end{aligned}$$

$$V_a = \frac{100}{1100} * 5 = 0.4545 \, \text{V}$$

$$V_b = \frac{100}{1100} * 5 = 0.4545 \, \text{V}$$

Pada saat keadaan 300 °C:

$$\begin{aligned} R_{pt} &= 100 + (0.385 * \text{suhu}) \\ &= 100 + (0.385 * 300) \\ &= 215.5 \, \Omega \end{aligned}$$

$$V_a = \frac{215.5}{1215.5} * 5 = 0.8864 \, \text{V}$$

$$V_b = \frac{100}{1100} * 5 = 0.4545 \, \text{V}$$

ΔV adalah $V_a - V_b$; G adalah besar penguatan penguat instrumentasi:

$$\Delta V_{\text{max}} = 0.4364 \, \text{V}$$

$$G = \frac{4.9551}{\Delta V_{\max}}$$

$$G = \frac{4.9551}{0.436} = 11.3649083$$

Dari datasheet AD 620 didapatkan persamaan resistor penguat dengan besar nilai penguat sesuai dengan persamaan:

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1$$

$$R_g = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G-1}$$

Untuk besar penguatan senilai 11.3649083 maka dibutuhkan resistansi penguat sebesar:

$$R_g = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{11.3649083-1} = 4766.081702 \Omega$$

Karena nilai 4766.081702 tidak terdapat di pasaran, maka diambil nilai yang mendekati yaitu sebesar 4700 Ω . Dengan demikian maka besar penguatan menjadi sebesar:

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{4700} + 1 = 11.5106383$$

Setelah didapatkan nilai G yang baru, maka :

$$\begin{aligned} \Delta V_{\max} &= \frac{V_{ADC}}{G} \\ &= \frac{4.9551}{11.5106383} \\ &= 0.43048 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta V_{\max} = V_{a \max} - V_b$$

$$\begin{aligned} V_{a \max} &= \Delta V_{\max} + V_b \\ &= 0.88498 \text{ V} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai R_{pt} dengan nilai G yang baru yaitu:

$$V_{a \max} = \frac{R_{pt}}{R_{pt}+1000} * 5$$

$$\text{dengan } C = \frac{V_{a \max}}{5}$$

$$\text{maka } \frac{R_{pt}}{R_{pt}+1000} = C$$

$$R_{pt} = \frac{1000 C}{1-C}$$

$$= 215.06 \Omega$$

Dari hasil tersebut, diperoleh nilai suhu yang ditunjukkan seperti pada rumus berikut:

$$R_{pt \text{ max}} = 100 + (0.385 * \text{Suhu})$$

$$\text{Suhu max} = \frac{R_{pt \text{ max}} - 100}{0.385}$$

$$= 298.86 \text{ } ^\circ\text{C}$$

V ADC adalah tegangan masukkan ADC. Sedangkan suhu adalah nilai suhu yang terukur.

$$V \text{ ADC} = \Delta V * G$$

$$\Delta V = V_a - V_b$$

$$\Delta V = \frac{R_{pt}}{R_{pt}+1000} * 5 + 0.4545$$

$$R_{pt} = R_0 + (\text{suhu} * 0.385), \text{ maka}$$

$$V \text{ ADC} = \left(\left(\frac{100 + (\text{suhu} * 0.385) * 5}{[(100 + \text{suhu} * 0.385) + 1000]} \right) - 0.4545 \right) * G$$

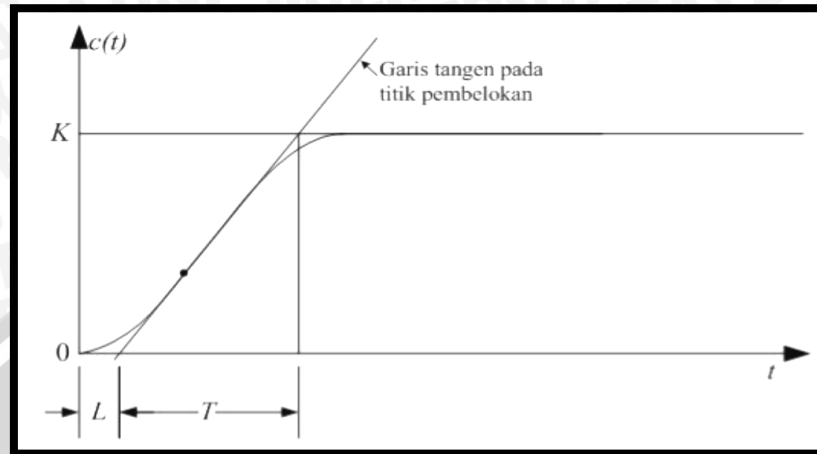
Besar persamaan tegangan masukkan ADC terhadap suhu dan sebaliknya menjadi:

$$V_{ADC} = \left(\left(\frac{(1.925 * \text{suhu}) + 500}{(0.385 * \text{suhu}) + 1100} \right) - 0.4545 \right) * 11.5106383$$

4.5 Perancangan Kontroler PID

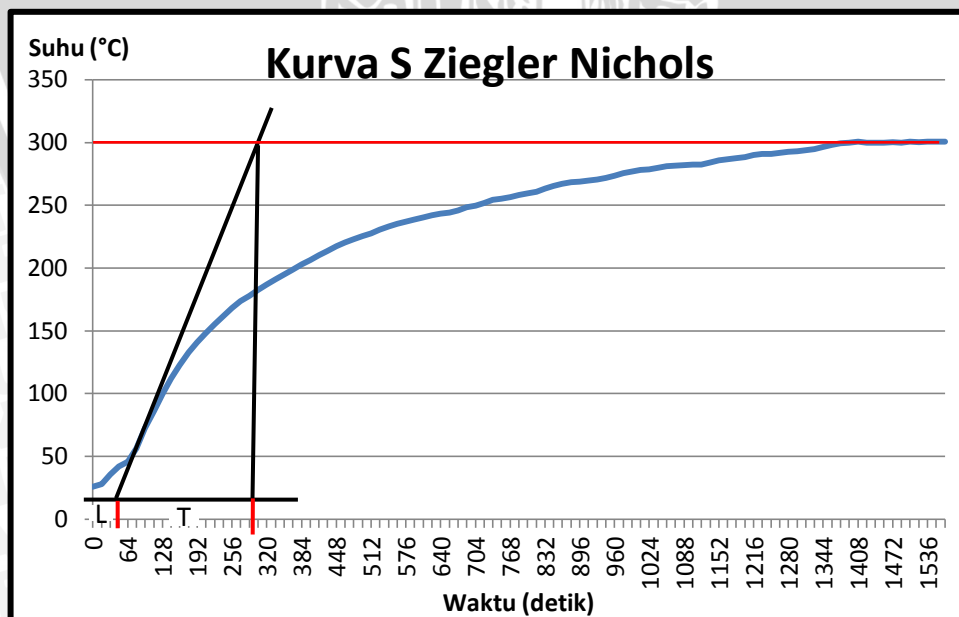
Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan. (Ogata, K., 1997).

Pada skripsi ini pertama digunakan metode ziegler-nichols ke 1 hingga memperoleh kurva berbentuk S seperti dalam Gambar 4.10.



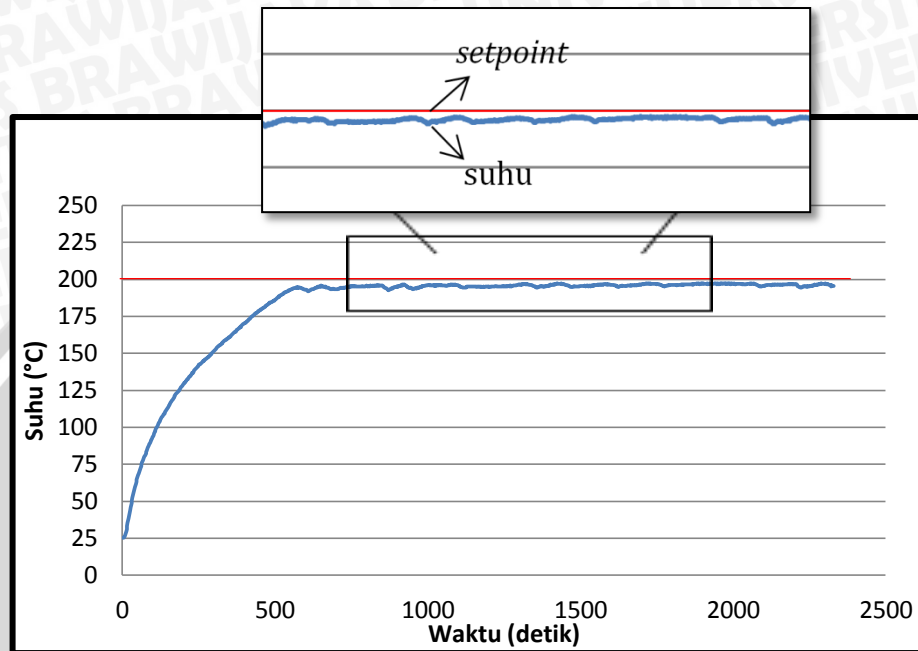
Gambar 4.10 Kurva Respon yang Berbentuk S
Sumber: Ogata, K. 1997

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan 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 $c(t) = K$. Hasil perancangan kontroler menggunakan ziegler-nichols ditunjukkan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil Kurva Respon yang Berbentuk S

Dari kurva tersebut, diperoleh nilai $L = 56$ s dan $T = 248$ s. Dari tabel aturan ziegler-nichols 1, didapatkan nilai $K_p = 3.98$ dan $T_i = 186.667$ sehingga nilai $K_i = 0.021$ dan $K_d = 0$. Hasil respons dengan nilai $K_p = 3.98$, $K_i = 0.021$ dan $K_d = 0$ ditunjukkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hasil Respon yang dengan Nilai K_p dan K_i Berdasarkan Ziegler Nichols

Dari grafik di atas, terjadi *offset* dengan nilai sebesar:

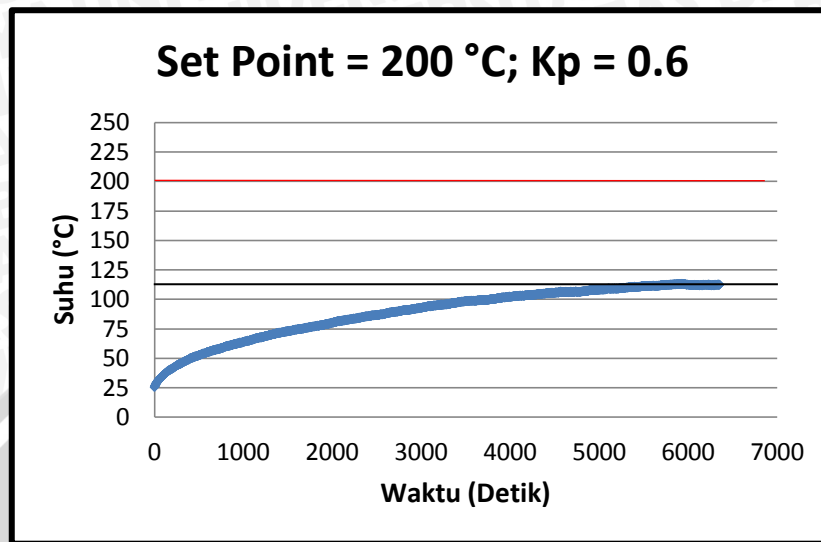
$$\begin{aligned} \text{Offset} &= \frac{|197.21 - 200|}{200} \times 100\% \\ &= 1.395\% \end{aligned}$$

Dikarenakan dengan nilai K_p dan K_i tersebut masih terdapat *offset*, maka dilakukan *hand tuning* (*tuning* eksperimen) untuk mendapatkan respons yang lebih baik.

Tuning eksperimen adalah proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil kontroler yang optimal dengan cara suatu percobaan. Inti dari *tuning* eksperimen adalah menentukan nilai dari tiga buah parameter yang terdapat pada kontroler PID yaitu konstanta proporsional (K_p), konstanta integral (K_i) dan konstanta diferensial (K_d). Pada perancangan kontroler PID sistem pengendalian suhu ini, menggunakan metode *hand tuning* untuk menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d .

Proses *tuning* parameter PID ini dilakukan dengan cara mengatur nilai K_p hingga didapatkan respon sistem yang mendekati *setpoint* 200 °C.

Untuk nilai $K_p = 0.6$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$ diperoleh grafik respon yang ditunjukkan dalam Gambar 4.13.

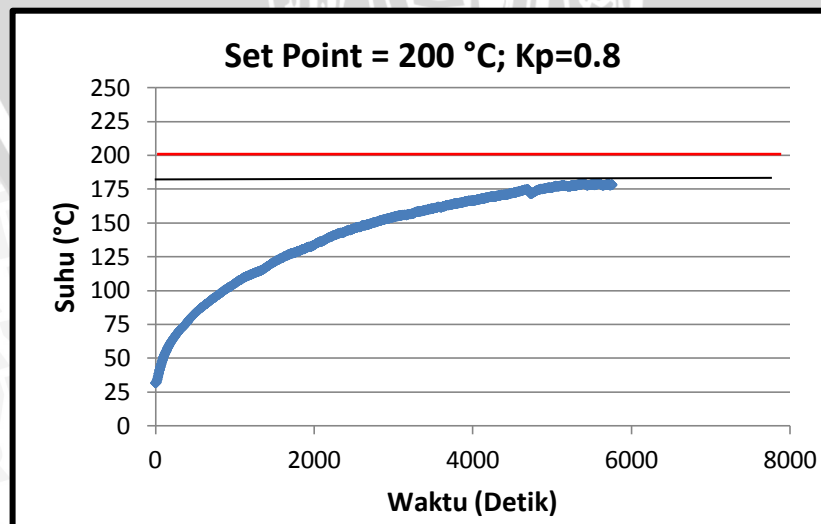


Gambar 4.13 Grafik Respon dengan $K_p = 0.6$, $K_i = 0$, $K_d = 0$

Untuk nilai $K_p = 0.6$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$ selisih antara setpoint dengan nilai suhu pada saat keadaan *steady* yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Offset} &= \frac{|112.56 - 200|}{200} \times 100\% \\ &= 0.4372 \times 100 \\ &= 43.72\% \end{aligned}$$

Untuk nilai $K_p = 0.8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$ diperoleh grafik respon yang ditunjukkan dalam Gambar 4.14.

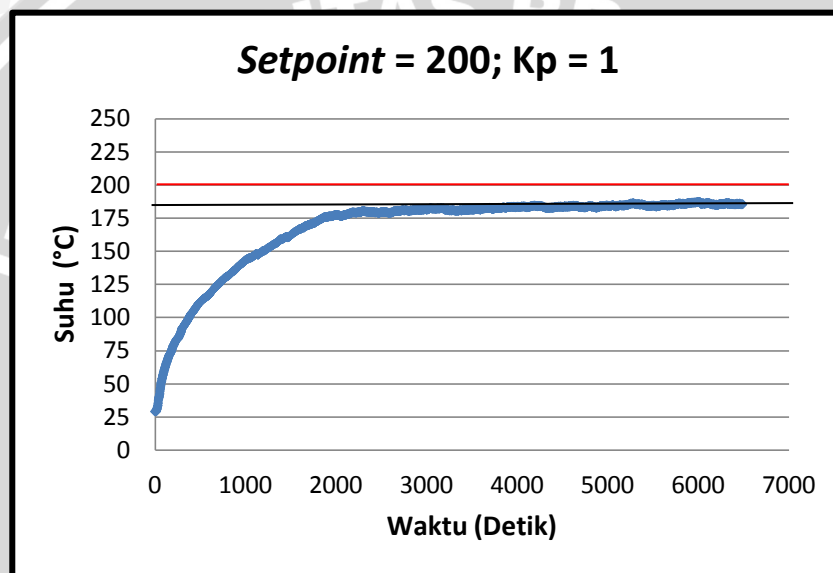


Gambar 4.14 Grafik Respon dengan $K_p = 0.8$, $K_i = 0$, $K_d = 0$

Untuk nilai $K_p = 0.8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$ selisih antara setpoint dengan nilai suhu pada saat keadaan *steady* yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Offset} &= \frac{|177.82 - 200|}{200} \times 100\% \\ &= 0.1109 \times 100 \\ &= 11.09\% \end{aligned}$$

Untuk nilai $K_p = 1$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$ diperoleh grafik respon yang ditunjukkan dalam Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik Respon dengan $K_p = 1$, $K_i = 0$, $K_d = 0$

Untuk nilai $K_p = 1$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$ selisih antara setpoint dengan nilai suhu pada saat keadaan *steady* yaitu:

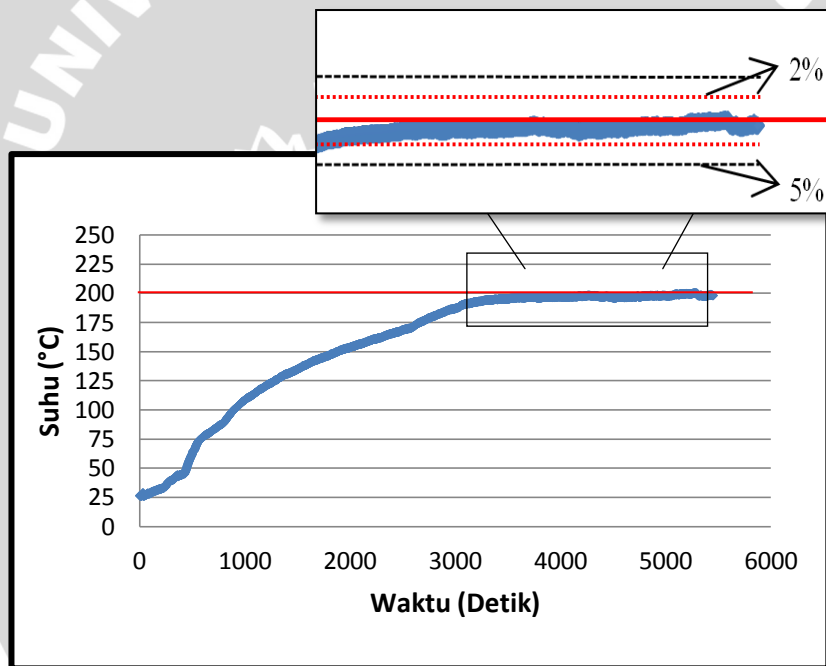
$$\begin{aligned} \text{Offset} &= \frac{|185.58 - 200|}{200} \times 100\% \\ &= 0.0721 \times 100 \\ &= 7.21\% \end{aligned}$$

Dari grafik respon didapatkan parameter K_p dan *offset* dengan nilai yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil *Tuning* Nilai Kp

Kp	Offset (%)
0,6	43.72
0,8	11.09
1	7.21

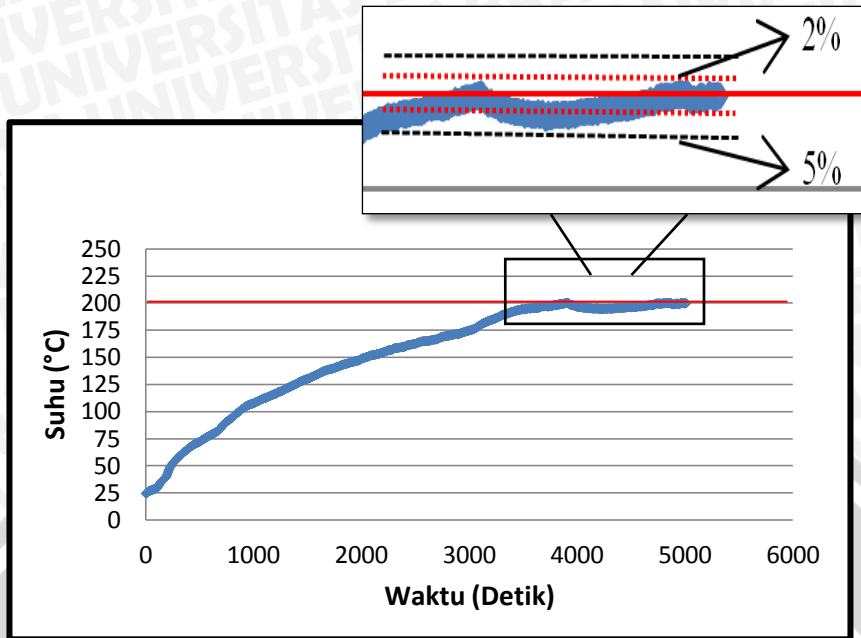
Dari hasil perancangan tersebut, didapatkan nilai $K_p = 1$ yang memiliki nilai *offset* paling kecil yaitu 7.21% . Setelah diperoleh nilai K_p yang cukup baik, berikutnya mencari nilai K_i dengan menggunakan nilai $K_p = 1$ dan setpoint tetap yaitu 200°C . Hasil respon dari nilai $K_p = 1$, $K_i = 0.11$ dan $K_d = 0$ ditunjukkan dalam Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik Respon dengan $K_p = 1$, $K_i = 0.11$, $K_d = 0$

Untuk nilai $K_p = 1$, $K_i = 0.11$ dan $K_d = 0$ terdapat osilasi saat *steady* dengan toleransi 2%. Suhu minimum pada saat *steady* = 196.17°C dan suhu maksimum *steady* = 200.29°C .

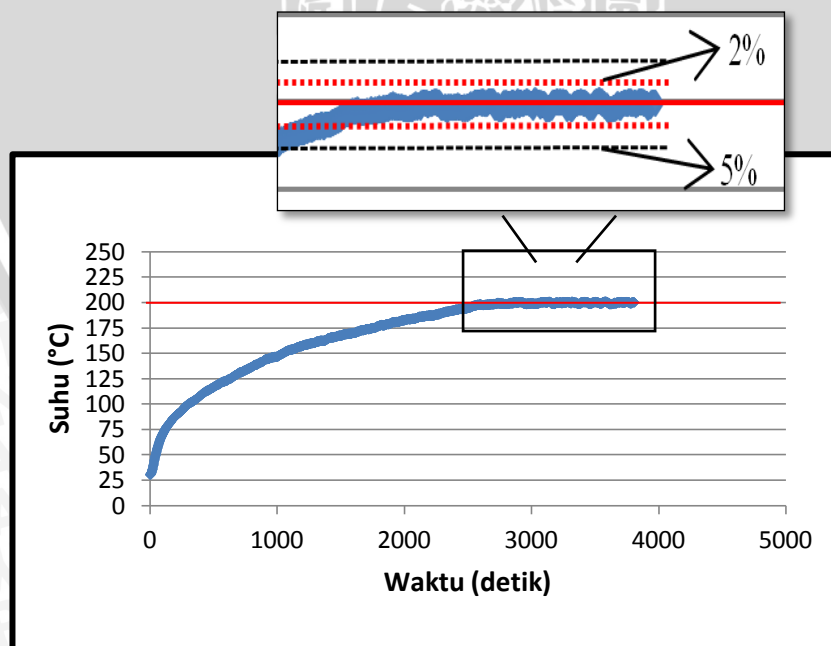
Hasil respon dari nilai $K_p=1$, $K_i=0.13$ dan $K_d = 0$ ditunjukkan dalam Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik Respon dengan $K_p = 1$, $K_i = 0.13$, $K_d = 0$

Untuk nilai $K_p = 1$, $K_i = 0.13$ dan $K_d = 0$ terdapat osilasi saat *steady* dengan toleransi 5%. Suhu minimum pada saat *steady* = 194.24 °C dan suhu maksimum *steady* = 200.48 °C.

Hasil respon dari nilai $K_p=1$, $K_i=0.15$ dan $K_d = 0$ ditunjukkan dalam Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Grafik Respon dengan $K_p = 1$, $K_i = 0.15$, $K_d = 0$

Untuk nilai $K_p = 1$, $K_i = 0.15$ dan $K_d = 0$ terdapat osilasi saat *steady* dengan batas toleransi 2%. Suhu minimum pada saat *steady* = 196.26 °C dan suhu maksimum *steady* = 200.78 °C.

Dari grafik respon didapatkan hasil nilai K_i dengan batas toleransi dan waktu *steady* yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

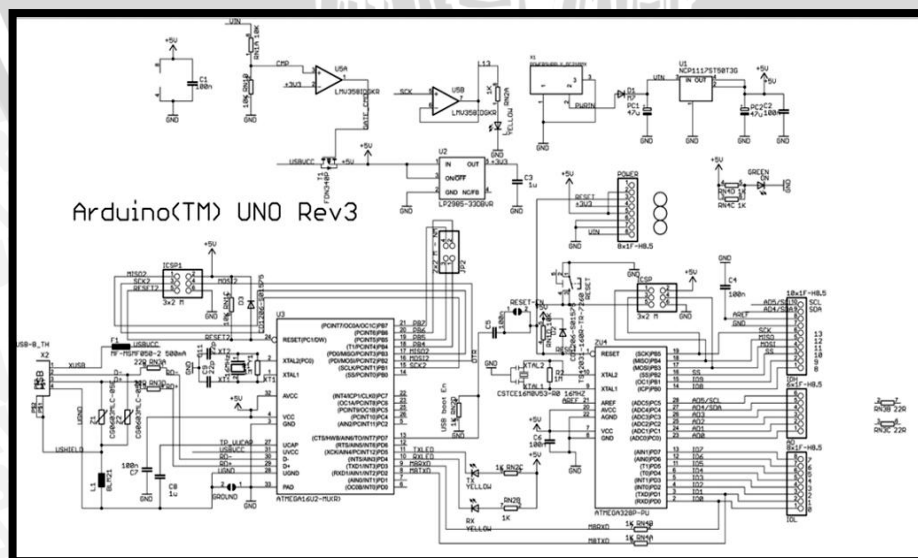
Tabel 4.2 Hasil *Tuning* Nilai K_p dan K_i

K_p	K_i	T_s (detik)	T_r (detik)	T_d (detik)	<i>offset</i>
3.98	0.021	980	485	242.5	Y_a
1	0.11	3662	2359	1179	Tidak
1	0.13	3512	2896	1448	Tidak
1	0.15	2540	1898	949	Tidak

Dari hasil *tuning* parameter kontroler diperoleh nilai $K_p = 1$ dan $K_i = 0,15$. Dengan nilai $K_p = 1$ dan $K_i = 0,15$ didapatkan respon yang baik dan tidak terjadi overshoot. Karena respon cukup baik, maka tidak memerlukan penggunaan nilai K_d atau nilai K_d dianggap = 0.

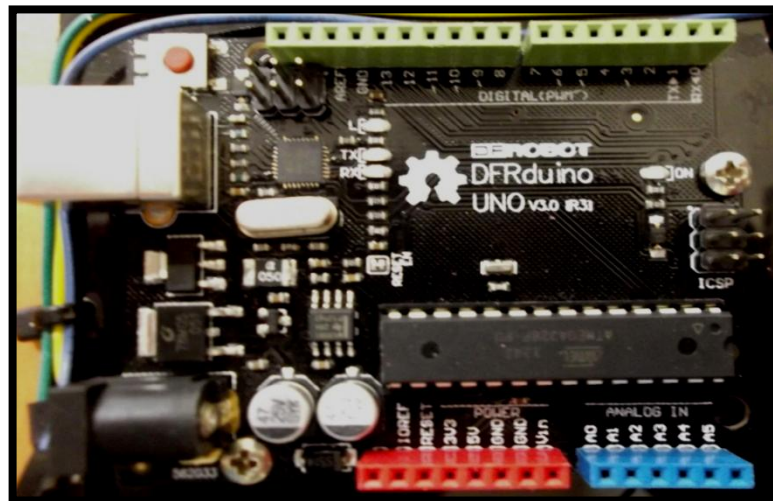
4.6 Modul Arduino Uno Rev.3

Pada sistem pengendalian suhu ini digunakan Arduino Uno Rev.3 sebagai pengolah data dalam proses pengaturan putaran motor servo dalam menggerakkan *valve* pada *burner*. Konfigurasi kaki I/O dari Arduino Uno Rev3 ditunjukkan dalam Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Desain Sistem Arduino Uno Rev3

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya. Modul arduino uno ditunjukkan dalam Gambar 4.20.



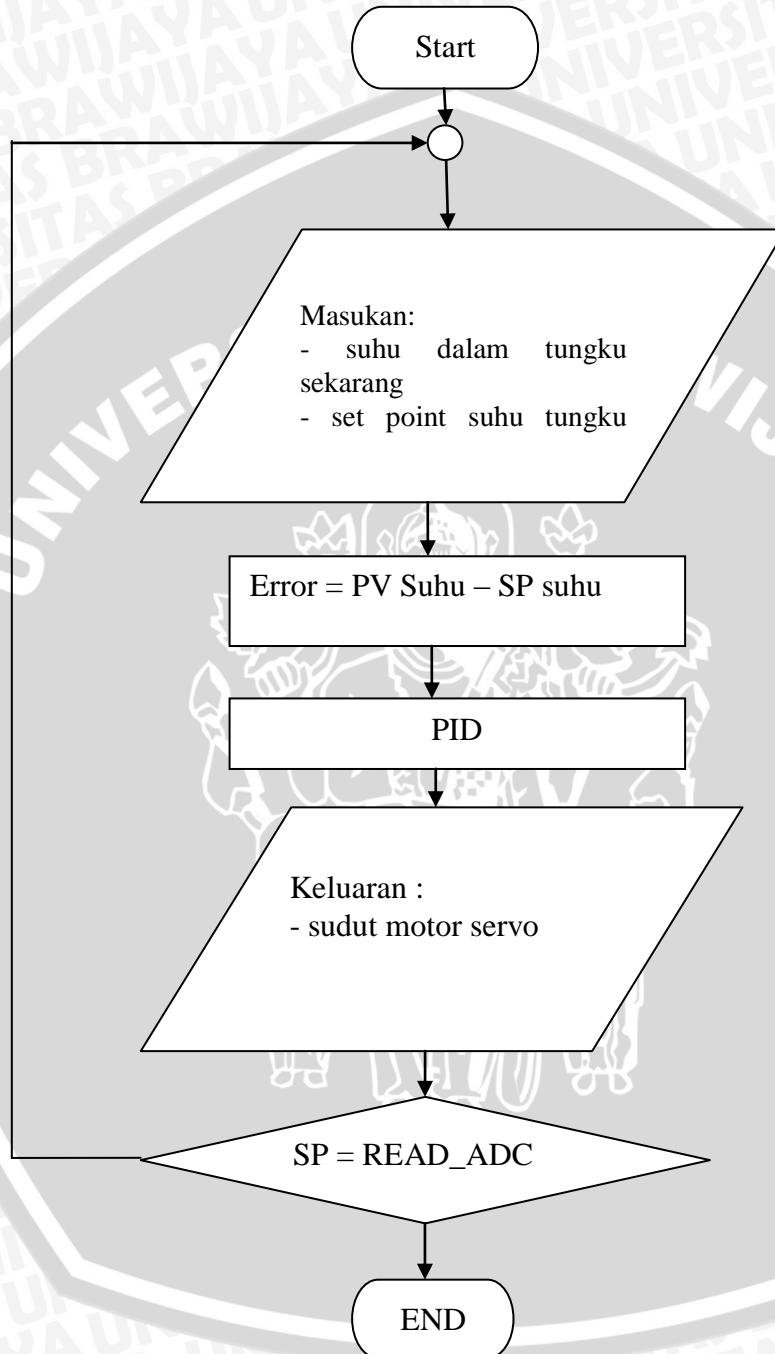
Gambar 4.20 Modul Arduino Uno

Tabel 4.3 Fungsi Pin Arduino Uno Rev3

No	Pin	Fungsi
1	2	LCD D7 pin
2	3	LCD D6 pin
3	4	LCD D5 pin
4	5	LCD D4 pin
5	7	Jalur masukan catu daya 5 V
6	8	Jalur masukan ground
7	11	LCD enable pin
8	12	LCD RS pin
9	15	Jalur keluaran motor servo
10	23	Jalur masukan RPS dari PT100

4.7 Perancangan Perangkat Lunak

Flowchart perancangan perangkat lunak ditunjukkan dalam Gambar 4.21 berikut:



Gambar 4.21 Flowchart Program

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

5.1 Pengujian Sensor Suhu

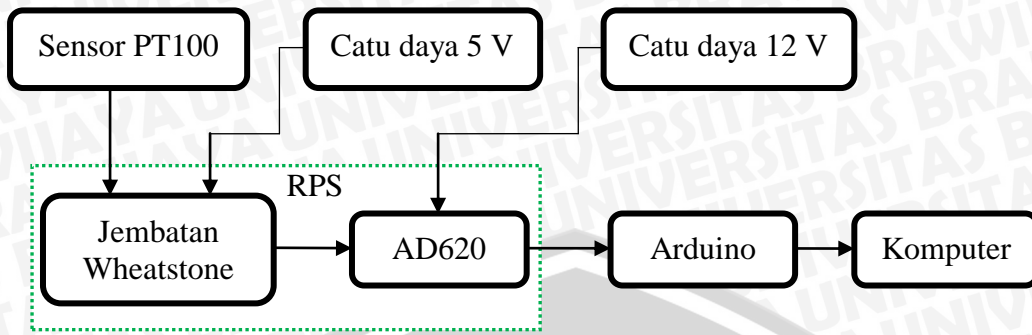
Pengujian sensor suhu dilakukan untuk melihat bagaimana penyimpangan yang dilakukan sensor suhu dalam beberapa kali pengukuran.

5.1.1 Peralatan yang digunakan

1. Catu daya 5 dan 12 V DC.
2. Rangkaian sensor suhu.
3. Komputer.
4. Program dan software arduino.

5.1.2 Prosedur Pengujian

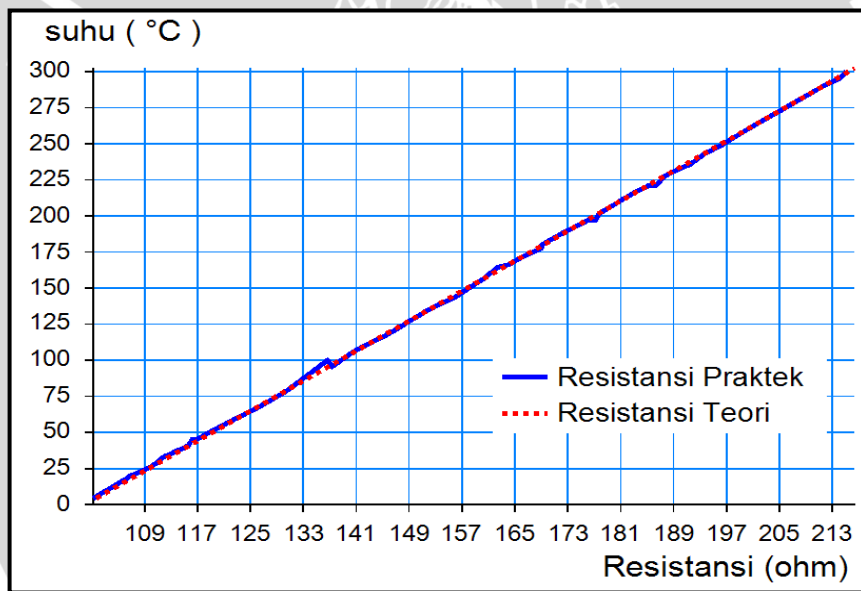
1. Merangkai peralatan seperti pada Gambar 5.1.
2. Mengunduh program pembacaan suhu pada arduino.
3. Mengamati tampilan serial monitor selama beberapa saat untuk mendapatkan pembacaan selama 20 kali.
4. Mencatat data yang diperoleh dari pembacaan.
5. Menghitung besar kesalahan relatif pembacaan berdasarkan standar deviasi.
6. Melakukan pengujian berupa uji-T untuk mengetahui tingkat keakurasian sensor PT100.



Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor Suhu PT100

5.1.3 Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan data hasil pengujian. Dari pengujian diperoleh grafik hubungan antara Resistansi secara praktek dan teori dengan suhu yang ditunjukkan dalam Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Nilai pembacaan Suhu Secara Praktek dan Teori

Data hasil pengujian selengkapnya ditunjukkan dalam lampiran I Tabel I.1.

Dalam menguji nilai resistansi yang dikeluarkan sensor PT100, dilakukan uji t untuk mengetahui apakah resistansi yang dikeluarkan PT100 sesuai dengan datasheet. Data hasil pengukuran resistansi tiap kenaikan suhu 10°C selengkapnya ditunjukkan dalam lampiran I Tabel I.2.

Setelah melakukan pengukuran resistansi sebanyak 10 kali, dilakukan uji t dengan rumus sebagai berikut:

1. Membuat hipotesis yaitu:
 - H₀ = dapat diterima, hasil pengujian = data sheet
 - H₁ = ditolak, hasil pengujian tidak sama dengan data sheet
2. Menghitung rata-rata dari data yang telah diambil.
3. Menghitung standart deviasi.
 - = STDEV [data(n), data (n+1)], digunakan dalam Ms. Excel
4. Mencari nilai T-hitung dengan rumus :

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \dots\dots\dots(5.1)$$

Dengan:

- x = Rata – rata tiap resistansi
- μ = Resistansi pada data sheet
- s = Standart deviasi
- n = Jumlah pengambilan data

5. Mencari nilai T-tabel
 - = TINV [0.05,(n-1)], digunakan dalam Ms. Excel

Dari data di atas, didapatkan perhitungan dengan sampel pada suhu 100 °C sebagai berikut:

1. Menghitung rata-rata.

140.89 140 141 140.89 140.77 140.22 139.34 139.67 138.69 140

10

x = 140.47

2. Menghitung standart deviasi
 - = STDEV [data(n), data (n+1)], digunakan dalam Ms. Excel. Sehingga didapat nilai standart deviasi sebesar 0.765216745

3. Mencari nilai T-hitung dengan rumus :



$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

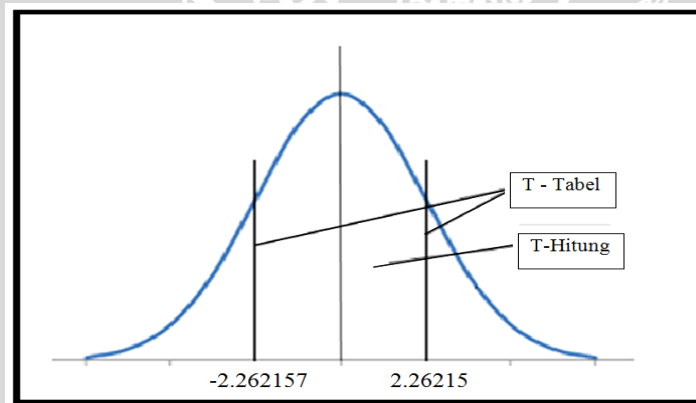
$$t = \frac{(140.47 - 139.64)}{\frac{0.765216745}{\sqrt{10}}}$$

$$t = 2.095190395$$

4. Mencari nilai T-tabel

= TINV [0.05, (n-1)], digunakan dalam Ms. Excel. Sehingga didapat nilai standart deviasi sebesar 2.262157

Data hasil pengujian dapat dilihat dalam lampiran I tabel I.3. Dari tabel diperoleh nilai resistansi dengan batas nilai t-tabel seperti pada gambar 5.3. Untuk mengetahui apakah nilai resistansi sesuai dengan datasheet, dapat dilihat pada tabel nilai t hitung. Jika nilai t hitung \leq t tabel (dari sumbu x positif – sumbu x negatif) maka dapat dikatakan pembacaan dari resistansi diterima sesuai dengan hipotesis H₀. Gambar 5.3 menunjukkan batas kisaran nilai t tabel.



Gambar 5.3 Batas Nilai t-Tabel

Dari tabel 5.3 dapat disimpulkan bahwa pembacaan resistansi dari sensor PT100 dapat diterima karena nilai t hitung berada di kisaran angka -2.262157 sampai 2.262157 dengan *level of confident* sebesar 1% .

5.2 Pengujian Sinyal Kontrol Motor Servo

Pengujian sinyal kontrol motor servo ini bertujuan untuk melihat bagaimana bentuk sinyal saat berada pada posisi sudut yang telah ditentukan

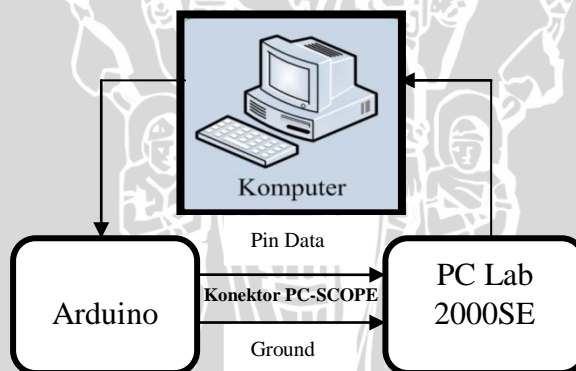
untuk memutar *valve burner* serta melihat tegangan yang dikeluarkan untuk setiap perubahan sudut motor servo.

5.2.1 Peralatan yang Digunakan

1. Catu Daya 5V DC.
2. Komputer
3. Hardware dan software PC Lab 2000SE.
4. Program dan software arduino.

5.2.2 Prosedur Pengujian

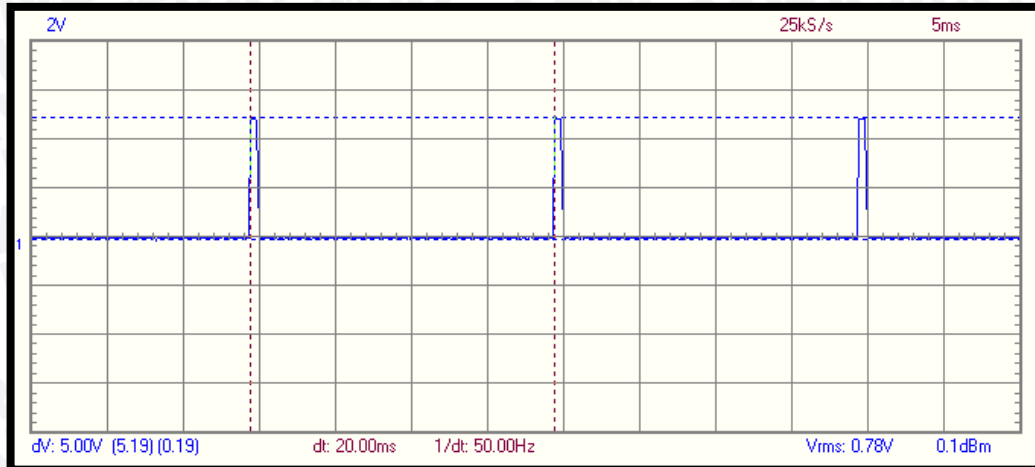
1. Merangkai peralatan seperti Gambar 5.4.
2. Mengunduh program pengatur sudut servo dengan sudut 0, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 180 derajat pada software arduino ERW 1.0.5.
3. Menjalankan software PC Lab 2000SE.
4. Memilih mode osiloskop lalu pilih *Run* untuk menjalankan osiloskop.
5. Mengamati sinyal kontrol dan parameter motor servo pada osiloskop.



Gambar 5.4 Rangkaian Pengujian Sinyal Kontrol Servo

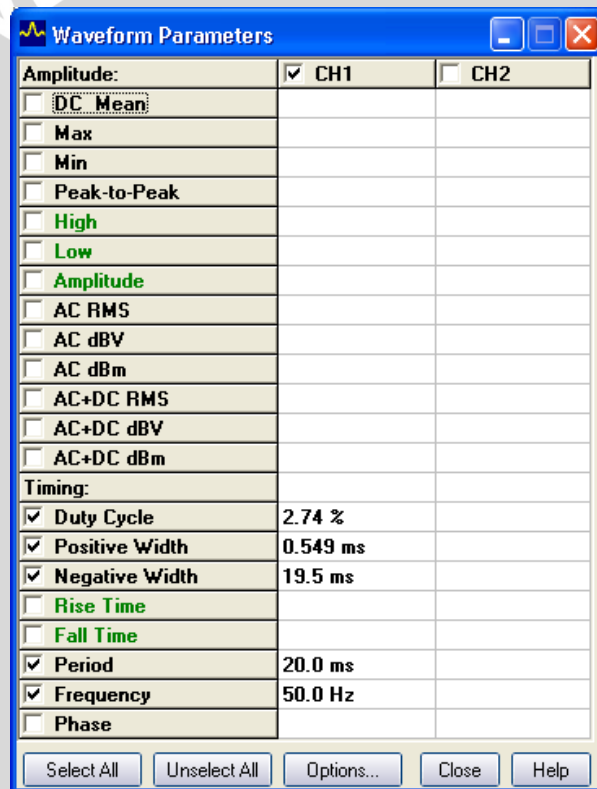
5.2.3 Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil sinyal dan tampilan parameter. Parameter yang dihasilkan adalah amplitudo, duty cycle, dan lebar sinyal. Sinyal pada sudut 0° ditunjukkan dalam Gambar 5.5:



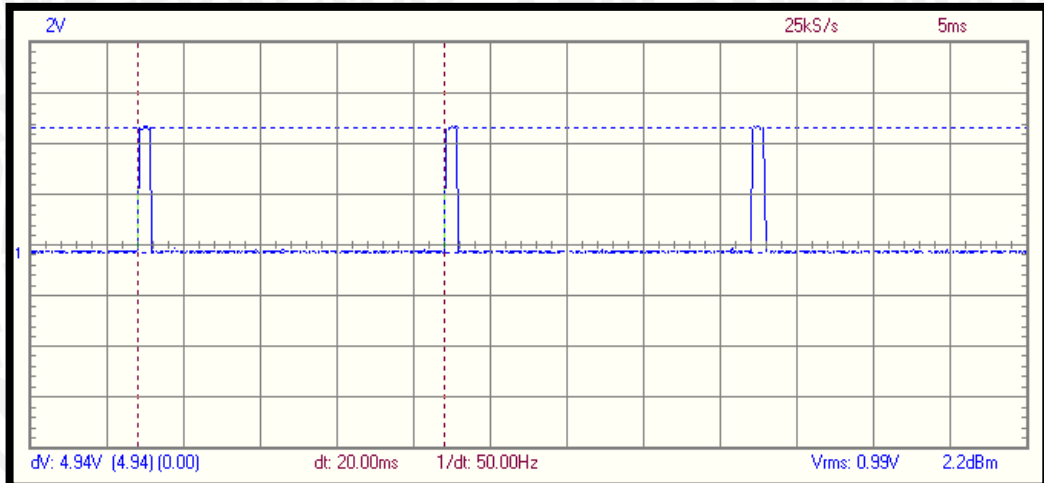
Gambar 5.5 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 0°

Tampilan parameter sudut 0° ditunjukkan dalam Gambar 5.6



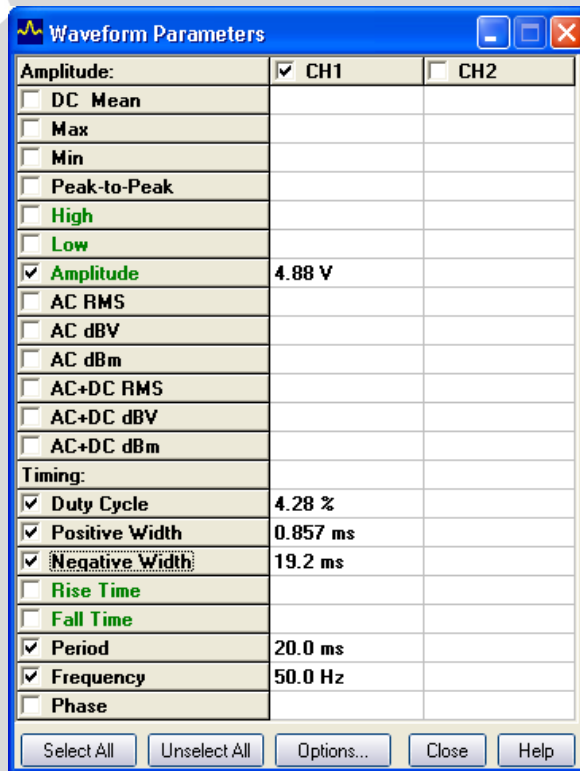
Gambar 5.6 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 0°

Sinyal motor servo pada sudut 30° ditunjukkan dalam Gambar 5.7:



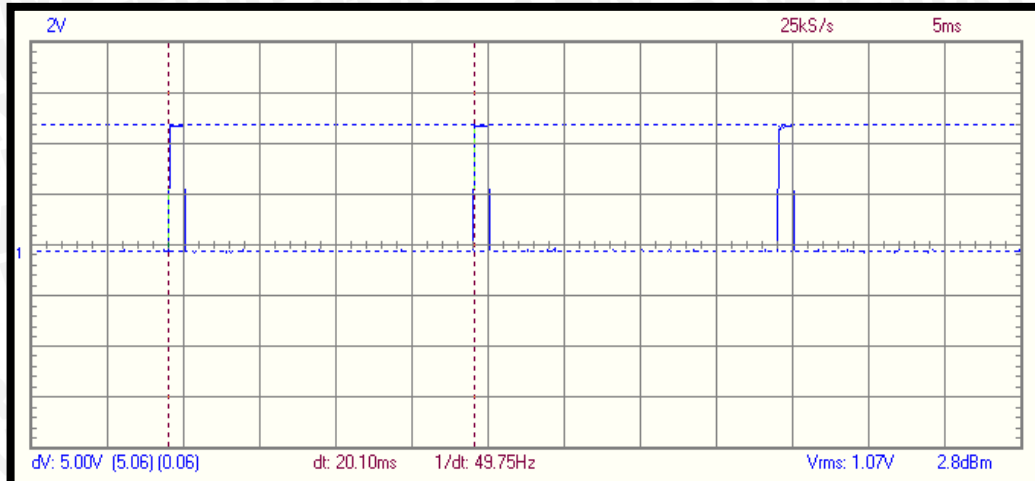
Gambar 5.7 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 30°

Tampilan parameter pada sudut 30 ditunjukkan dalam Gambar 5.8:



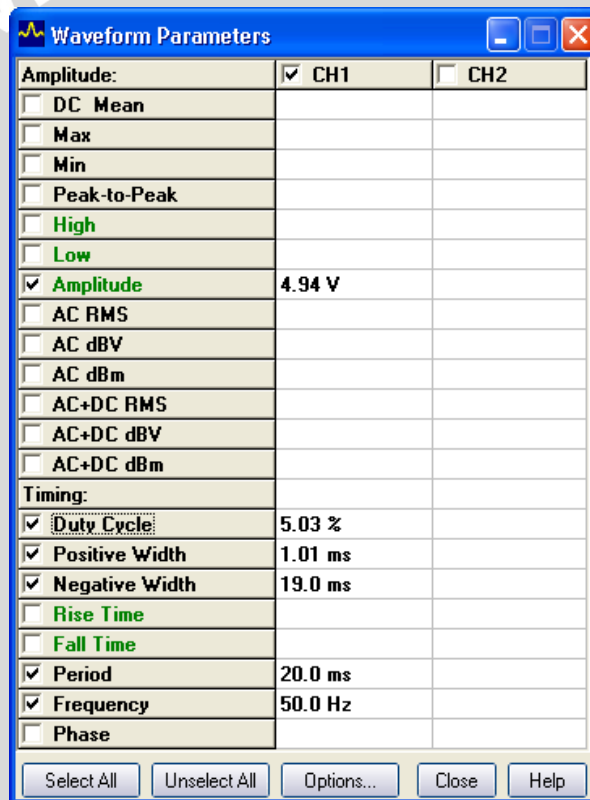
Gambar 5.8 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 30°

Sinyal motor servo pada sudut 45° ditunjukkan dalam Gambar 5.9:



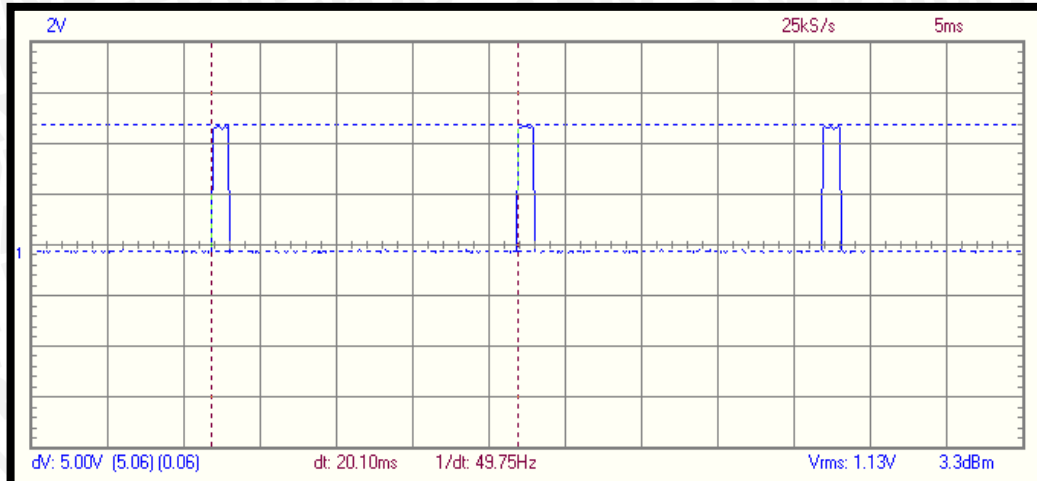
Gambar 5.9 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 45°

Tampilan parameter pada sudut 45 ditunjukkan dalam Gambar 5.10:



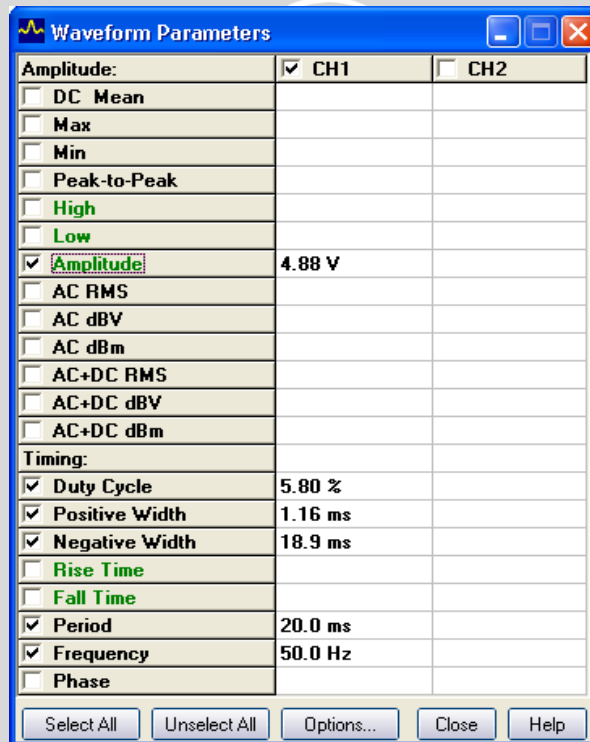
Gambar 5.10 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 45°

Sinyal motor servo pada sudut 60° ditunjukkan dalam Gambar 5.11:



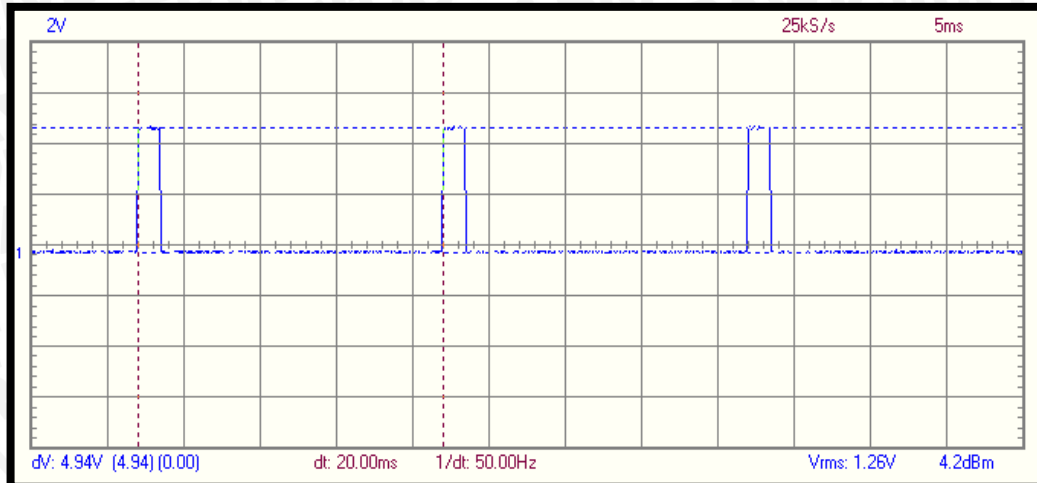
Gambar 5.11 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 60°

Tampilan parameter pada sudut 60 ditunjukkan dalam Gambar 5.12:



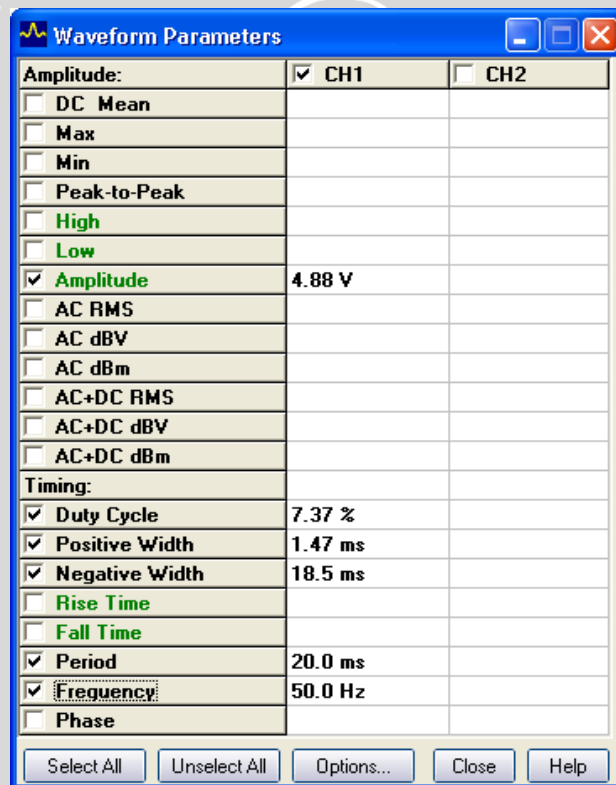
Gambar 5.12 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 60°

Sinyal motor servo pada sudut 90° ditunjukkan dalam Gambar 5.13:



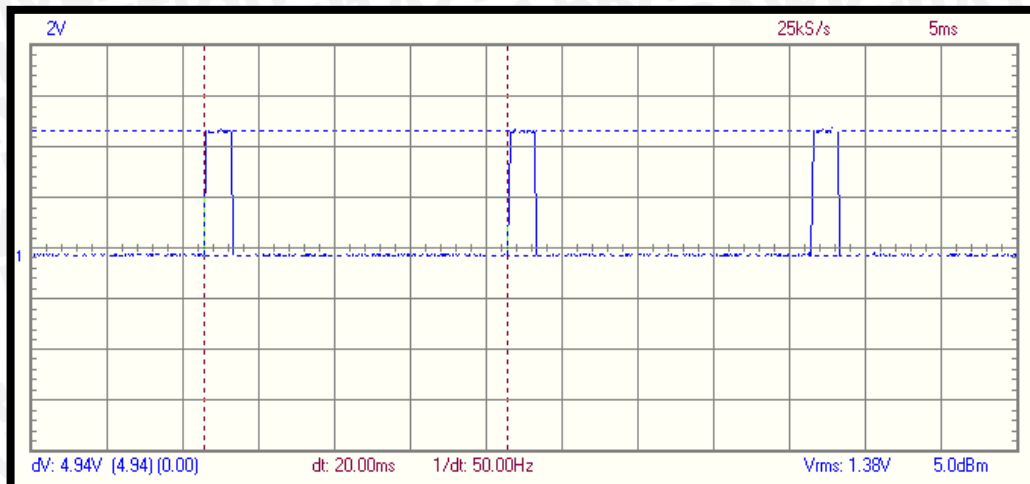
Gambar 5.13 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 90°

Tampilan parameter pada sudut 90 ditunjukkan dalam Gambar 5.14:



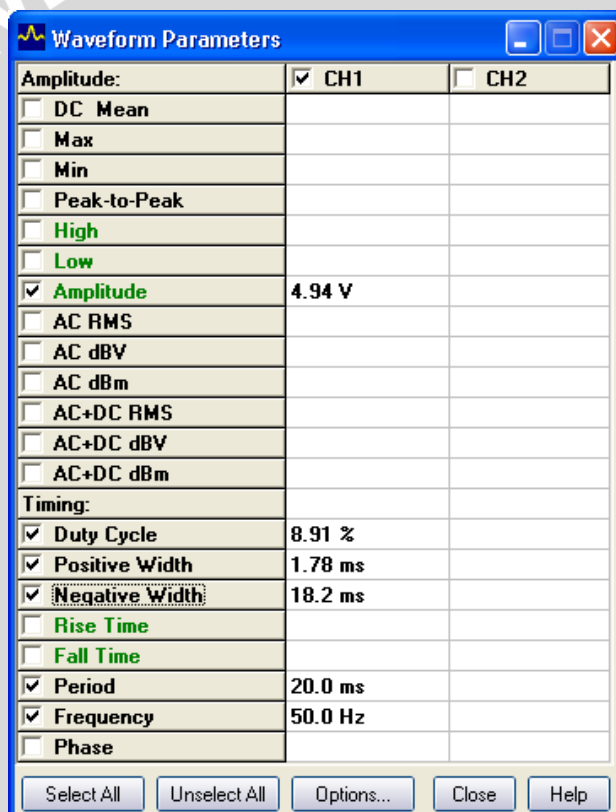
Gambar 5.14 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 90°

Sinyal motor servo pada sudut 120° ditunjukkan dalam Gambar 5.15:



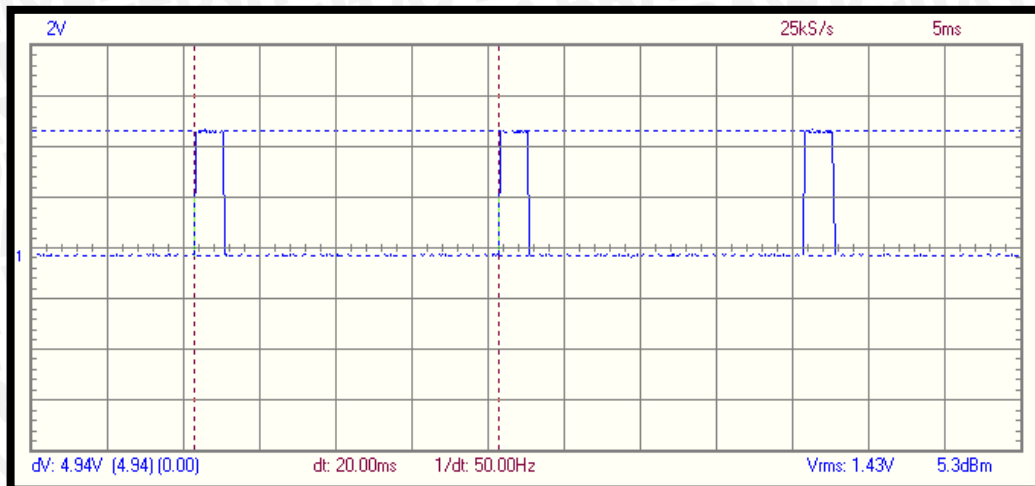
Gambar 5.15 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 120°

Tampilan parameter pada sudut 120 ditunjukkan dalam Gambar 5.16:



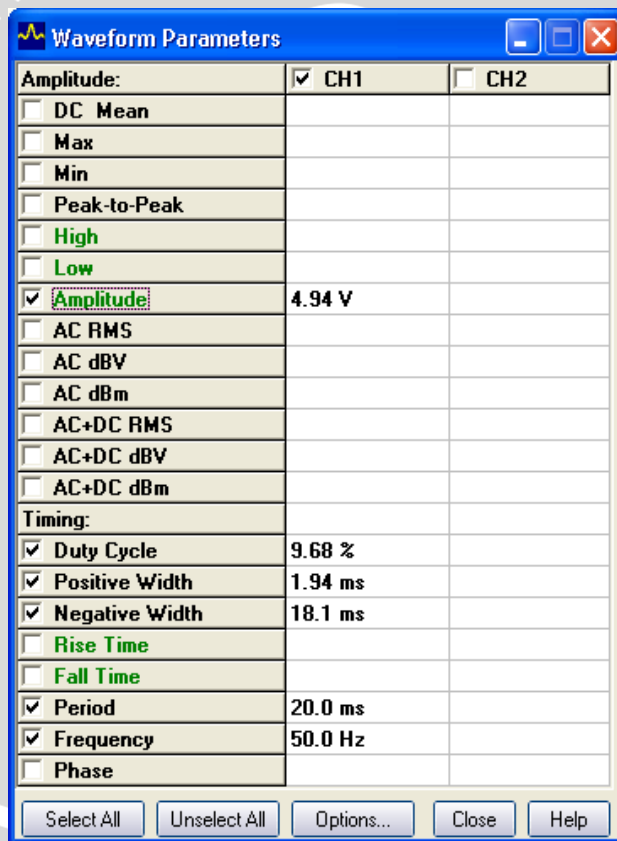
Gambar 5.16 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 120°

Sinyal motor servo pada sudut 135° ditunjukkan dalam Gambar 5.17:



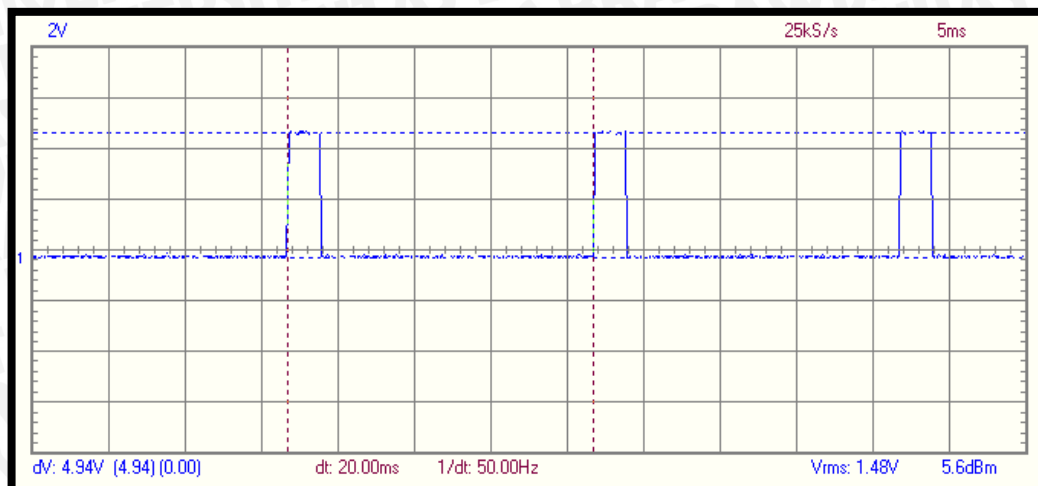
Gambar 5.17 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 135°

Tampilan parameter pada sudut 135 ditunjukkan dalam Gambar 5.18:



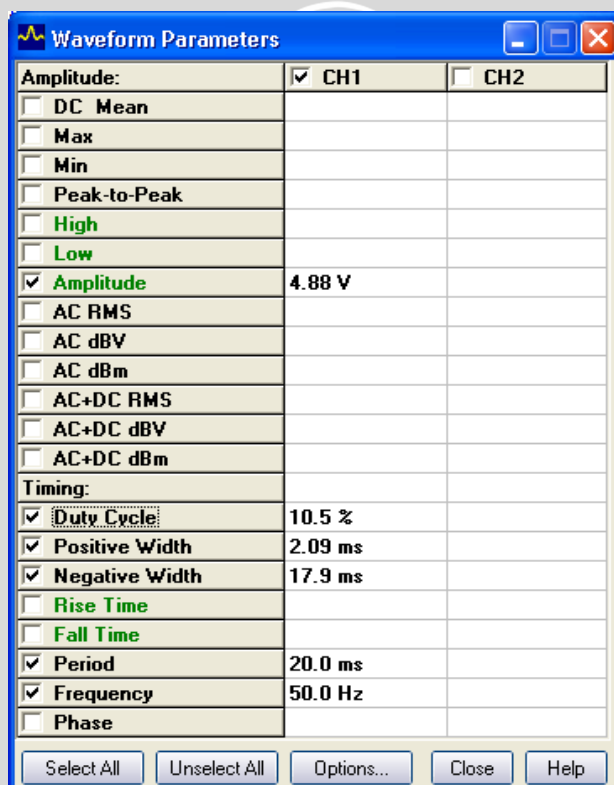
Gambar 5.18 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 135°

Sinyal motor servo pada sudut 150° ditunjukkan dalam Gambar 5.19:



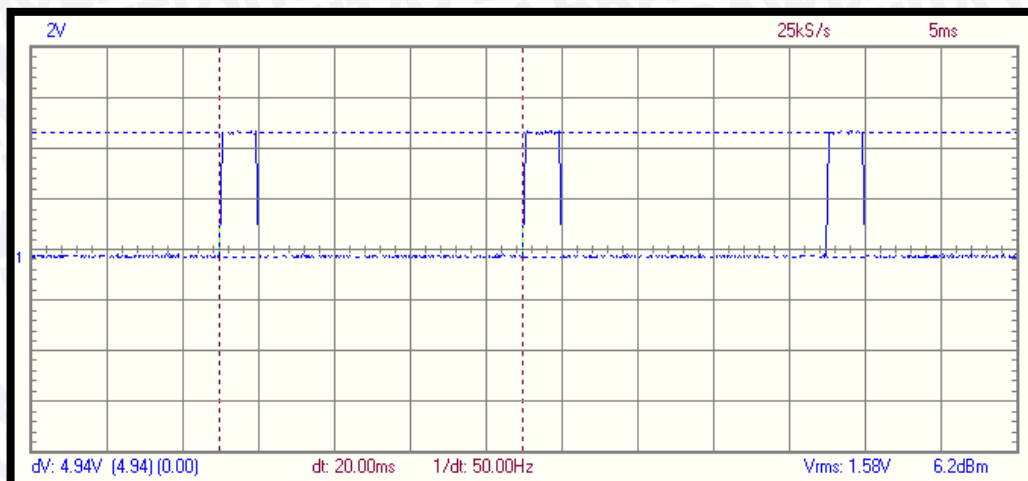
Gambar 5.19 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 150°

Tampilan parameter pada sudut 135 ditunjukkan dalam Gambar 5.20:



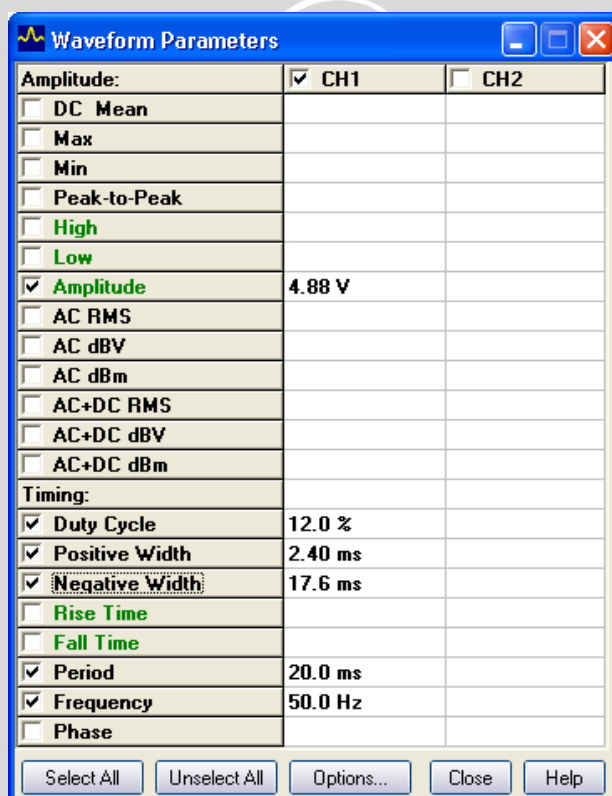
Gambar 5.20 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 150°

Sinyal motor servo pada sudut 180° ditunjukkan dalam Gambar 5.21:



Gambar 5.21 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 180°

Tampilan parameter pada sudut 180 ditunjukkan dalam Gambar 5.22:



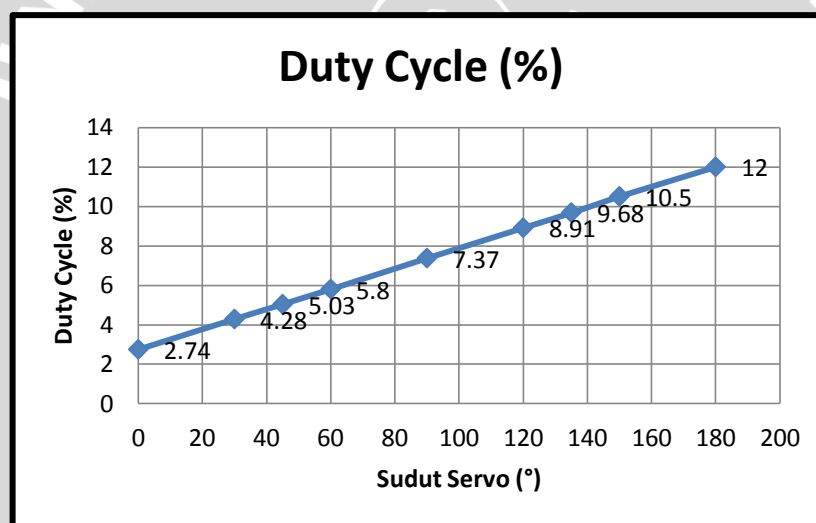
Gambar 5.22 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 180°

Hasil pengujian *duty cycle* ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Pengujian *Duty Cycle* Motor Servo

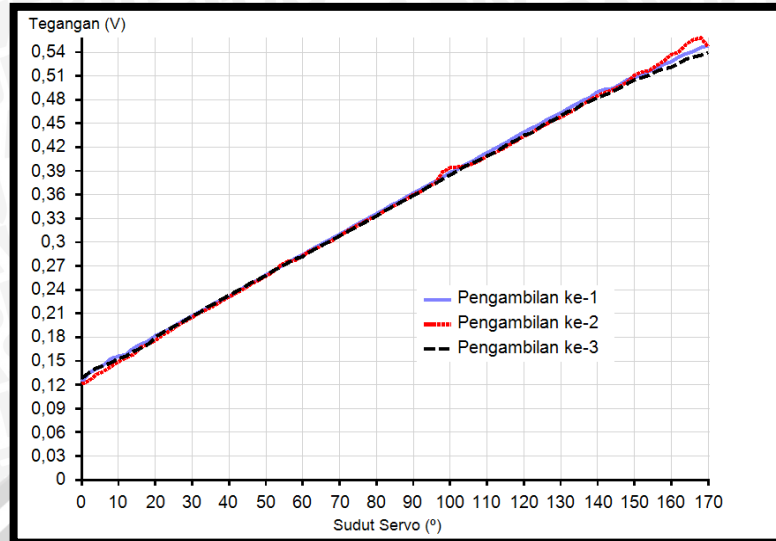
Sudut (°)	<i>Duty Cycle</i> (%)
0	2.74
30	4.28
45	5.03
60	5.8
90	7.37
120	8.91
135	9.68
150	10.5
180	12

Grafik *duty cycle* motor servo ditunjukkan dalam Gambar 5.23.

**Gambar 5.23** Grafik *Duty Cycle* Motor Servo

Setelah melakukan pengujian pada motor servo untuk melihat *duty cycle*, berikutnya melihat besar tegangan servo yang dikeluarkan tiap kenaikan sudut 2° . Tabel hasil pengujian tegangan motor servo ditunjukkan dalam lampiran I tabel I.4.

Grafik hubungan antara sudut servo dengan keluaran tegangan ditunjukkan dalam Gambar 5.24 berikut.



Gambar 5.24 Grafik Hubungan Antara Tegangan dengan Sudut Servo

5.3 Pengujian Kenaikan Suhu Terhadap Pembukaan *Valve Burner*

Pengujian ini bertujuan untuk melihat suhu maksimal yang dicapai ketika *valve* dibuka dengan sudut yang ditentukan.

5.3.1 Peralatan yang Digunakan

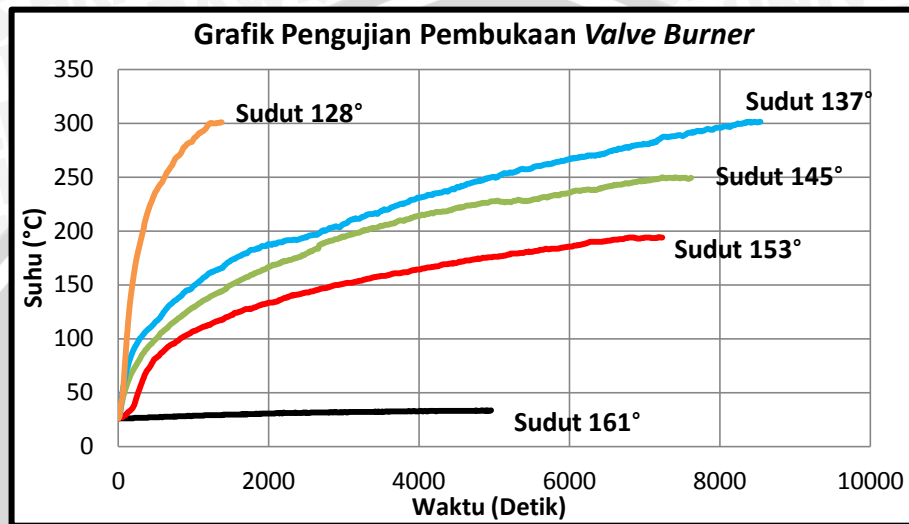
1. Catu daya 12 V DC.
2. Tungku bakar dengan bahan bakar elpiji.
3. Motor servo.
4. Rangkaian sensor suhu PT100.
5. Komputer.
6. Program dan software arduino.

5.3.2 Prosedur Pengujian

1. Memutar motor servo dengan mengunduh program pada *software* arduino ERW 1.0.5.
2. Memberikan putaran servo pada sudut 161°, 153°, 145°, 137°, 128°.
3. Menampilkan hasil keluaran suhu pada serial monitor arduino.
4. Mencatat hasil tampilan pada serial monitor arduino untuk dibuat grafik.

5.3.3 Hasil Pengujian

Pada pengujian ini, putaran sudut servo dimulai dari yang terkecil bukaannya yaitu 161° sampai yang terbesar yaitu 128° . Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan dalam Gambar 5.25 berikut.



Gambar 5.25 Grafik Hasil Pengujian Pembukaan valve burner

5.4 Pengujian dengan Setpoint Berbeda

Pengujian ini dilakukan untuk melihat bagaimana bentuk respon ketika diberi setpoint berbeda dengan nilai $K_p = 1$, $K_i = 0.15$ dan $K_d = 0$.

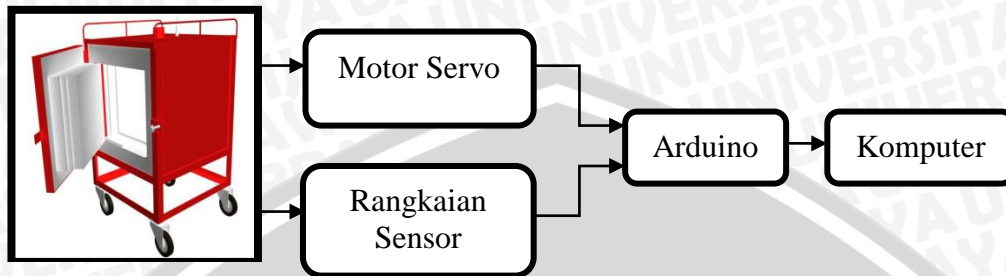
5.4.1 Peralatan yang digunakan

1. Catu daya 12 V DC.
2. Tungku bakar dengan bahan bakar elpiji.
3. Motor servo.
4. Rangkaian sensor suhu PT100.
5. Komputer.
6. Program dan software arduino.

5.4.2 Prosedur Pengujian

1. Merangkai peralatan seperti Gambar 5.26.
2. Mengunduh program dengan nilai setpoint yang berbeda-beda pada *software* arduino ERW 1.0.5.

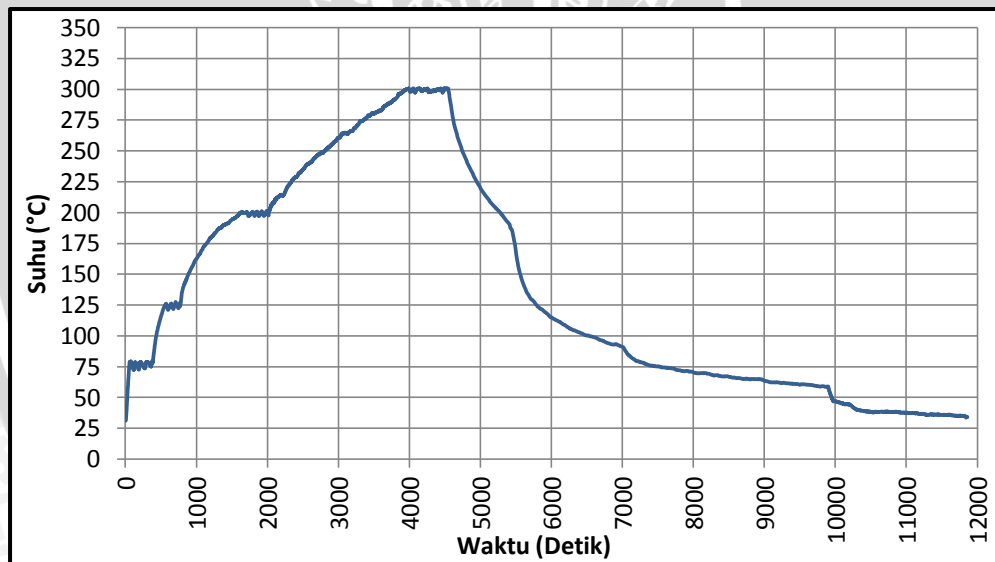
3. Menampilkan keluaran nilai suhu pada serial monitor *software* Arduino.
4. Mengamati hasil keluaran nilai suhu kemudian membuat grafik suhu terhadap waktu.



Gambar 5.26 Rangkaian Pengujian dengan Setpoint Berbeda

5.4.3 Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon keluaran suhu dengan *setpoint* yang berbeda. Dari pengujian diperoleh grafik seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.27.



Gambar 5.27 Grafik Respons Pengujian Setpoint

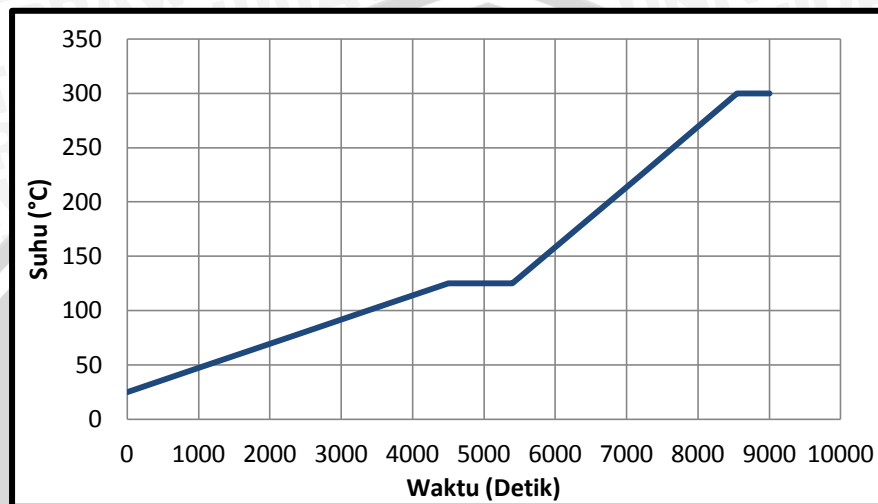
Hasil Pengujian ditunjukkan dalam Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Pengujian dengan Setpoint Berbeda

Setpoint (°C)	T steady (°C)	ESS (%)
75	75.88426	1.179
125	123.8817	0.894
200	199.3246	0.337
300	299.6661	0.111

5.5 Pengujian Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respons kontroler ketika mengikuti trayek pembakaran yang ditentukan. Rancangan trayek pembakaran ditunjukkan dalam Gambar 5.32 berikut.



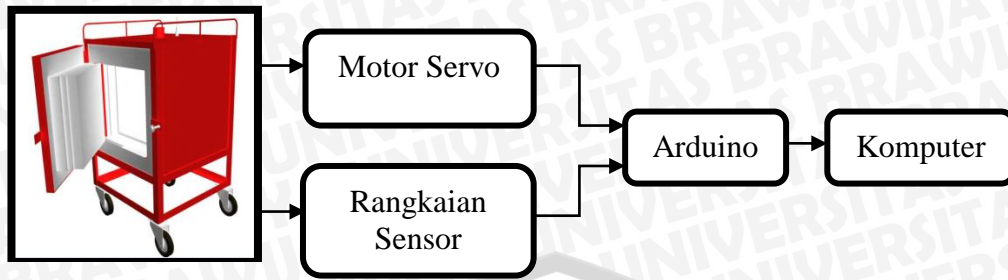
Gambar 5.28 Desain Trayek Pembakaran

5.5.1 Peralatan yang digunakan

1. Catu daya 12 V DC.
2. Tungku bakar dengan bahan bakar elpiji.
3. Motor servo.
4. Rangkaian sensor suhu PT100.
5. Komputer.
6. Program dan software arduino.

5.5.2 Prosedur Pengujian

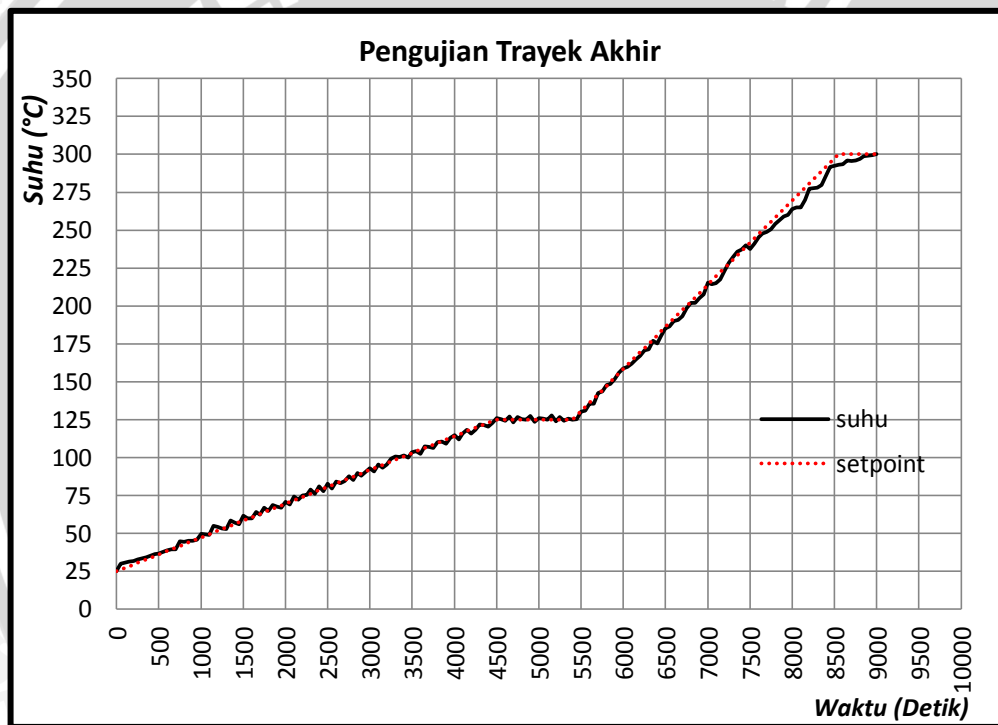
1. Merangkai peralatan seperti Gambar 5.33.
2. Mengunduh program dengan nilai $k_p = 1$ dan $k_i = 0,15$ pada *software* arduino ERW 1.0.5.
3. Menampilkan keluaran nilai suhu pada serial monitor *software* Arduino.
4. Mengamati hasil keluaran nilai suhu kemudian membuat grafik suhu terhadap waktu.



Gambar 5.29 Rangkaian Pengujian Trayek Pembakaran

5.5.3 Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon keluaran suhu dengan trayek yang telah ditentukan. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5.30 Grafik Respon Pengujian Trayek Pembakaran

Dari grafik di atas, diketahui bahwa hasil respon memiliki nilai % error sebagai berikut.

$$\% \text{ Error} = \frac{|T_c - T_x|}{T_x} \times 100\%$$

Keterangan : T_c = Suhu yang dicapai

T_x = Setpoint

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan *error* sebesar 1.877 % dan sistem dapat dikatakan berhasil untuk mengikuti trayek pembakaran yang telah ditentukan. Hasil dari pengujian selengkapnya ditunjukkan dalam lampiran I Tabel I.5.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian suhu maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data respons sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode *hand tuning*, maka parameter kontroler PID dapat ditentukan dengan gain $K_p = 1$, $K_i = 0,15$, dan $K_d = 0$ dan toleransi error sebesar 2% - 5%.
2. Hasil pengujian terhadap kontroler PID berbasis arduino ini menunjukkan bahwa respons sistem untuk kenaikan suhu dengan acuan trayek pembakaran yang telah ditentukan didapatkan rata-rata *error* sebesar 1.877%. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kontroler PID berbasis arduino menghasilkan respons sesuai yang direncanakan dan dapat diaplikasikan pada sistem pengendalian suhu untuk mencapai trayek pembakaran yang diinginkan.

6.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan:

1. Disarankan untuk menggunakan lebih dari 1 sensor suhu agar pembacaan suhu lebih presisi.
2. Disarankan melakukan pengontrolan saat proses pendinginan menggunakan kipas angin agar tungku lebih cepat mencapai suhu kamar setelah dipergunakan.



DAFTAR PUSTAKA

- Amstrom, K. J., & Hagglund, Tore. 1995 *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America: Research Triangle Park.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Parallax, Inc. *Standard Servo*.
- Camelia, Risa Pradita. 2012. *Aplikasi Kontrol Logika Fuzzy untuk Pengaturan Posisi Sudut Putar Motor DC pada Model system Rotary Parking*. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Nugraha, Mahendra Surya. 2012. *Otomatisasi Miniatur Pengendali Suhu Ruang Pengovenan Kerangka Dasar Mobil Menggunakan Kontroler PID Berbasis PLC*. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Kosasih, Alva. 2013. *Alat Pengaturan Kekentalan Tinta*. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Rosdianto, Rio. 2012. *Pengendalian Keseimbangan Per. Axis pada Quardcopter Menggunakan Kontroler PID Berbasis Mikrokontroler ATmega 168-20AU*. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Hartono, Antom J. 2006. *Mengenal Keramik modern*. Malang: Andi Offset Yogyakarta
- Setiabudi D.P, Natas. 2006. *Belajar Sendiri Membuat Keramik*. Malang: Bejana.

LAMPIRAN I

TABEL

Tabel I.1 Hasil Perbandingan Nilai Pembacaan Suhu Secara Teori dan Praktek

Suhu Praktek (°C)	Resistansi Praktek (Ω)	Resistansi Teori (Ω)
4.36	101.2	101.6786
5.3	101.5	102.0405
12.95	104.4	104.98575
16.4	105.6	106.314
18.23	106.4	107.01855
19.91	106.7	107.66535
21.24	107.6	108.1774
22.38	108.1	108.6163
25.95	109.8	109.99075
26.92	110.2	110.3642
33.15	111.9	112.76275
40.01	115.2	115.40385
41.42	115.7	115.9467
45.23	116.2	117.41355
45.63	117.1	117.56755
50.19	118.8	119.32315
58.24	122.2	122.4224
66.67	125.9	125.66795
78.2	130.3	130.107
95.7	137.4	136.8445
100	136.65	138.5
105.67	140.5	140.68295
109.45	142	142.13825
116.78	145.3	144.9603
123.96	147.99	147.7246
127.34	149.1	149.0259
130.12	150.21	150.0962
133.86	151.42	151.5361
143.92	156.01	155.4092
157.25	160.5	160.54125
160.29	162.3	161.71165
166.26	164.11	164.0101
171.93	166.23	166.19305
177.48	168.99	168.3298
180.01	169.1	169.30385
188.72	172.42	172.6572

192.42	174.1	174.0817
197.3	176.23	175.9605
201.82	177.4	177.7007
207.37	179.87	179.83745
211.75	181.42	181.52375
216.62	183.23	183.3987
220.72	185.11	184.9772
227.53	187.6	187.59905
230.05	188.6	188.56925
235.68	191.51	190.7368
243.47	193.82	193.73595
248.3	196.01	195.5955
256.77	197.87	198.85645
261.3	200.67	200.6005
268.51	203.38	203.37635
274.25	205.67	205.58625
279.64	207.56	207.6614
285.32	209.75	209.8482
289.41	211.2	211.42285
290.67	211.9	211.90795
294.64	213.87	213.4364
299.87	215.1	215.44995



Tabel I.2 Pengambilan Data Resistansi Sebanyak 10 kali

Suhu (°C)	Data sheet (Ω)	Nilai Resistansi (Ω)									
		Pengukuran ke-									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	101,17	102,3	101,15	101	100,93	100,72	101,15	101,3	101,42	101,34	101,42
10	105,07	106,51	105,78	104,95	104,85	104,75	104,95	104,85	104,57	104,78	104,85
20	108,96	109,94	109,42	109,63	109,11	109	108,9	108,9	108,69	108,17	108,7
30	112,83	113,72	112,67	112,9	113,19	113,3	111,09	113,19	112,56	113,4	113,3
40	116,7	116,88	116,87	116,99	117,2	116,25	117,31	117,41	117,1	117,31	116,36
50	120,55	121,56	120,71	120,12	120,6	120,71	121,24	120,92	120,92	121,24	120,07
60	124,39	124,99	124,99	123,87	124,77	125,09	126,42	124,99	124,56	124,45	124,32
70	128,22	128,76	128,33	128,87	128,43	128,33	130,16	129,41	127,68	127,14	125,2
80	132,04	127,57	131,9	133,1	129,73	132,12	131,9	132,66	132,12	132,77	132,66
90	135,84	136,92	136,81	134,95	131,47	137,25	134,08	135,83	136,61	135,83	136,27
100	139,64	140,89	140	141	140,89	140,77	140,22	139,34	139,67	138,69	140
110	143,42	141,33	143,54	144,43	144,1	143,87	144	144,43	144,43	143,99	143,32
120	147,19	147,7	148,44	146,1	146,88	148,33	147,21	147,55	147,55	147,33	148,56
130	150,95	152,26	151,36	152,15	151,25	151,02	151,02	145,99	149,45	151,14	151,25
140	154,7	155,08	154,74	154,63	154,97	154,63	155,33	155,65	155,08	155,08	152,94
150	158,43	158,83	159,06	158,83	158,38	157,98	159,86	159,29	158,6	158,26	157,44
160	162,16	161,8	162,03	163,61	162,03	163,06	161	162,83	163,29	163,98	161,57
170	165,87	166,17	165,4	165,94	167,32	166,63	165,59	166,28	166,4	165,02	165,48
180	169,57	170,45	169,41	169,53	168,83	168,48	169,19	168,83	170,11	168,25	169,18
190	173,26	174,65	173,72	173,22	173,83	173,6	173,37	173,6	172,9	173,2	173,37
200	176,94	175,47	176,88	176,12	177,47	177,23	177,01	177,18	176,2	176,9	177,2
210	180,61	180,3	180,77	180,89	181,48	181,25	180,06	180,3	180,2	180,13	180,64
220	184,26	186,24	185,28	183,26	184,57	185,64	183,38	184,09	183,62	184,12	184,08
230	187,91	188,15	187,43	187,67	186,98	187,67	188,1	188,3	188,35	188,4	188,41
240	191,54	191,03	192,24	192,72	191,64	191,1	191,15	190,9	191,98	191,45	191,3
250	195,16	195,62	196,72	195,45	195,25	195,67	196,01	196,11	195	194,67	194,68
260	198,77	197,81	199,03	196,84	198,79	198,65	198,98	198,77	198,99	199,5	199,67
270	202,36	202,95	201,3	202,56	202,45	202,35	202,1	202,56	202,66	202,78	202,72
280	205,95	205,9	206,64	203,93	206,89	206,1	206,12	205,13	206,34	206,23	206,33
290	209,52	210,61	209,78	209,86	210,73	208,87	210,36	210,61	209,17	209,61	209,49
300	213,09	212,22	213,47	213,35	213,9	214,47	215,85	214,47	213,11	213,35	213,44

Tabel I.3 Hasil Uji T pada Sensor PT100

Suhu (°C)	Nilai rata-rata (x)	Standar deviasi (s)	Jumlah pengambilan data (n)	T hitung	T tabel
0	101,273	0,425755538	10	0,765027276	2,262157
10	105,084	0,595001401	10	0,074406358	2,262157
20	109,046	0,510211285	10	0,533025997	2,262157
30	112,932	0,733708995	10	0,439618873	2,262157
40	116,968	0,394906459	10	2,146053564	2,262157
50	120,809	0,476595566	10	1,718500911	2,262157
60	124,845	0,672710108	10	2,138865343	2,262157
70	128,231	1,35561753	10	0,025659932	2,262157
80	131,653	1,709340679	10	-0,715949412	2,262157
90	135,602	1,741441293	10	-0,432183437	2,262157
100	140,147	0,765216745	10	2,095190395	2,262157
110	143,744	0,926717025	10	1,105599589	2,262157
120	147,565	0,756912589	10	1,566698904	2,262157
130	150,689	1,817216736	10	-0,454186038	2,262157
140	154,813	0,729292656	10	0,489978026	2,262157
150	158,653	0,686942501	10	1,026560326	2,262157
160	162,52	0,972499643	10	1,170612211	2,262157
170	166,023	0,680180532	10	0,711323626	2,262157
180	169,226	0,685730754	10	-1,586371195	2,262157
190	173,546	0,476193238	10	1,899252947	2,262157
200	176,766	0,630558835	10	-0,872616927	2,262157
210	180,602	0,490346816	10	-0,051592506	2,262157
220	184,428	0,996881805	10	0,532924409	2,262157
230	187,946	0,48614584	10	0,234172519	2,262157
240	191,551	0,593098268	10	0,058649732	2,262157
250	195,518	0,652938656	10	1,733846498	2,262157
260	198,703	0,824581375	10	-0,256945657	2,262157
270	202,443	0,466024558	10	0,563208615	2,262157
280	205,961	0,852453322	10	0,040805817	2,262157
290	209,909	0,647206819	10	1,900669112	2,262157
300	213,763	0,983904354	10	2,163028202	2,262157

Tabel I.4 Pengujian Tegangan Motor Servo

Sudut (°)	Data 1	Data 2	Data 3	Standar Deviasi
0	0,123	0,121	0,128	0,003605551
2	0,135	0,125	0,135	0,005773503
4	0,14	0,133	0,141	0,004358899
6	0,145	0,137	0,144	0,004358899
8	0,153	0,143	0,148	0,005
10	0,156	0,149	0,153	0,003511885
12	0,158	0,154	0,156	0,002
14	0,166	0,158	0,162	0,004
16	0,171	0,167	0,166	0,002645751
18	0,175	0,171	0,171	0,002309401
20	0,182	0,176	0,18	0,003055505
22	0,186	0,183	0,186	0,001732051
24	0,191	0,188	0,191	0,001732051
26	0,197	0,195	0,196	0,001
28	0,202	0,2	0,201	0,001
30	0,207	0,205	0,207	0,001154701
32	0,212	0,211	0,211	0,00057735
34	0,217	0,215	0,218	0,001527525
36	0,223	0,22	0,222	0,001527525
38	0,227	0,226	0,228	0,001
40	0,231	0,231	0,233	0,001154701
42	0,238	0,236	0,238	0,001154701
44	0,243	0,241	0,243	0,001154701
46	0,248	0,247	0,249	0,001
48	0,253	0,252	0,253	0,00057735
50	0,259	0,257	0,258	0,001
52	0,264	0,263	0,264	0,00057735
54	0,269	0,271	0,269	0,001154701
56	0,274	0,276	0,274	0,001154701
58	0,28	0,277	0,279	0,001527525
60	0,284	0,283	0,282	0,001
62	0,29	0,289	0,288	0,001
64	0,295	0,293	0,293	0,001154701
66	0,3	0,298	0,298	0,001154701
68	0,305	0,302	0,303	0,001527525
70	0,31	0,308	0,308	0,001154701
72	0,315	0,314	0,313	0,001
74	0,321	0,319	0,318	0,001527525
76	0,326	0,324	0,323	0,001527525
78	0,331	0,329	0,328	0,001527525
80	0,336	0,333	0,333	0,001732051
82	0,341	0,339	0,339	0,001154701

84	0,347	0,344	0,344	0,001732051
86	0,351	0,349	0,349	0,001154701
88	0,357	0,354	0,354	0,001732051
90	0,362	0,36	0,359	0,001527525
92	0,367	0,364	0,364	0,001732051
94	0,372	0,37	0,37	0,001154701
96	0,377	0,375	0,374	0,001527525
98	0,382	0,389	0,38	0,004725816
100	0,388	0,394	0,385	0,004582576
102	0,392	0,395	0,39	0,002516611
104	0,398	0,396	0,395	0,001527525
106	0,402	0,399	0,4	0,001527525
108	0,408	0,403	0,404	0,002645751
110	0,413	0,409	0,409	0,002309401
112	0,418	0,413	0,413	0,002886751
114	0,423	0,417	0,419	0,00305505
116	0,428	0,423	0,425	0,002516611
118	0,434	0,428	0,429	0,00321455
120	0,439	0,434	0,435	0,002645751
122	0,444	0,438	0,438	0,003464102
124	0,448	0,444	0,444	0,002309401
126	0,454	0,449	0,451	0,002516611
128	0,459	0,454	0,454	0,002886751
130	0,463	0,458	0,46	0,002516611
132	0,469	0,463	0,465	0,00305505
134	0,474	0,468	0,468	0,003464102
136	0,479	0,474	0,475	0,002645751
138	0,483	0,48	0,478	0,002516611
140	0,49	0,485	0,483	0,003605551
142	0,493	0,489	0,486	0,003511885
144	0,494	0,492	0,49	0,002
146	0,499	0,497	0,495	0,002
148	0,505	0,502	0,5	0,002516611
150	0,508	0,511	0,505	0,003
152	0,511	0,515	0,508	0,003511885
154	0,516	0,517	0,511	0,00321455
156	0,52	0,523	0,516	0,003511885
158	0,525	0,529	0,519	0,005033223
160	0,528	0,537	0,521	0,008020806
162	0,534	0,54	0,526	0,007023769
164	0,538	0,55	0,531	0,009609024
166	0,541	0,556	0,534	0,01123981
168	0,546	0,558	0,536	0,011015141
170	0,548	0,547	0,54	0,004358899

Tabel I.5 Hasil Pengujian Trayek Keseluruhan

Waktu (detik)	Suhu (C)	Setpoint (C)	Error (C)	% Error
0	25.01	25	0.01	0.04
50	29.88	26.085	3.795	14.54859
100	30.57	27.205	3.365	12.36905
150	31.43	28.325	3.105	10.96205
200	31.66	29.41	2.25	7.650459
250	32.66	30.53	2.13	6.976744
300	33.66	31.65	2.01	6.350711
350	34.18	32.77	1.41	4.302716
400	35.2	33.89	1.31	3.865447
450	36.18	35.01	1.17	3.341902
500	36.64	36.095	0.545	1.509904
550	37.82	37.215	0.605	1.625689
600	38.96	38.335	0.625	1.630364
650	39.45	39.455	0.005	0.012673
700	39.57	40.575	1.005	2.476895
750	44.92	41.695	3.225	7.73474
800	44.52	42.78	1.74	4.067321
850	44.96	43.9	1.06	2.414579
900	45.17	45.02	0.15	0.333185
950	45.84	46.14	0.3	0.650195
1000	49.82	47.26	2.56	5.416843
1050	49.23	48.38	0.85	1.756924
1100	48.86	49.465	0.605	1.223087
1150	54.8	50.585	4.215	8.33251
1200	54.2	51.705	2.495	4.825452
1250	53.18	52.825	0.355	0.67203
1300	52.77	53.945	1.175	2.178144
1350	58.38	55.03	3.35	6.087589
1400	56.95	56.15	0.8	1.424755
1450	56.2	57.27	1.07	1.868343
1500	61.67	58.39	3.28	5.6174
1550	59.75	59.51	0.24	0.403294
1600	59.9	60.63	0.73	1.204024
1650	63.95	61.715	2.235	3.621486
1700	62.2	62.835	0.635	1.010583
1750	67.1	63.955	3.145	4.91752
1800	64.95	65.075	0.125	0.192086
1850	68.87	66.195	2.675	4.041091
1900	67.71	67.315	0.395	0.586793
1950	66.8	68.4	1.6	2.339181
2000	70.98	69.52	1.46	2.100115
2050	68.97	70.64	1.67	2.3641

2100	74.18	71.76	2.42	3.372352
2150	72.33	72.88	0.55	0.754665
2200	74.87	74	0.87	1.175676
2250	75.45	75.085	0.365	0.486116
2300	78.74	76.205	2.535	3.326553
2350	76.02	77.325	1.305	1.687682
2400	80.87	78.445	2.425	3.091338
2450	77.81	79.565	1.755	2.205744
2500	82.77	80.65	2.12	2.628642
2550	79.53	81.77	2.24	2.739391
2600	84.03	82.89	1.14	1.375317
2650	83.11	84.01	0.9	1.071301
2700	84.49	85.13	0.64	0.751791
2750	87.86	86.25	1.61	1.866667
2800	85.17	87.335	2.165	2.47896
2850	89.79	88.455	1.335	1.509242
2900	88.07	89.575	1.505	1.680156
2950	90.59	90.695	0.105	0.115773
3000	92.84	91.815	1.025	1.116375
3050	90.82	92.935	2.115	2.275784
3100	95.42	94.02	1.4	1.489045
3150	93.19	95.14	1.95	2.049611
3200	95.57	96.26	0.69	0.716809
3250	99.19	97.38	1.81	1.858698
3300	100.57	98.5	2.07	2.101523
3350	100.48	99.62	0.86	0.86328
3400	101.43	100.705	0.725	0.719925
3450	100.14	101.825	1.685	1.6548
3500	103.56	102.945	0.615	0.597406
3550	104.24	104.065	0.175	0.168164
3600	102.59	105.185	2.595	2.467082
3650	107.3	106.27	1.03	0.969229
3700	107.15	107.39	0.24	0.223484
3750	106.22	108.51	2.29	2.110405
3800	110.33	109.63	0.7	0.638511
3850	110.52	110.75	0.23	0.207675
3900	109.23	111.87	2.64	2.359882
3950	113.19	112.955	0.235	0.208047
4000	114.87	114.075	0.795	0.69691
4050	111.95	115.195	3.245	2.816963
4100	115.84	116.315	0.475	0.408374
4150	118.27	117.435	0.835	0.711032
4200	115.72	118.555	2.835	2.391295
4250	118.3	119.64	1.34	1.120027

4300	121.85	120.76	1.09	0.902617
4350	121.31	121.88	0.57	0.467673
4400	120.33	123	2.67	2.170732
4450	122.92	124.12	1.2	0.966806
4500	126.12	125	1.12	0.896
4550	125.21	125	0.21	0.168
4600	124.13	125	0.87	0.696
4650	127	125	2	1.6
4700	123.39	125	1.61	1.288
4750	126.73	125	1.73	1.384
4800	125.31	125	0.31	0.248
4850	124.86	125	0.14	0.112
4900	127.59	125	2.59	2.072
4950	123.7	125	1.3	1.04
5000	126.16	125	1.16	0.928
5050	125.64	125	0.64	0.512
5100	124.84	125	0.16	0.128
5150	127.94	125	2.94	2.352
5200	123.83	125	1.17	0.936
5250	126.64	125	1.64	1.312
5300	124.14	125	0.86	0.688
5350	125.73	125	0.73	0.584
5400	124.94	125	0.06	0.048
5450	125.38	127.7936	2.4136	1.88867
5500	130.42	130.5872	0.1672	0.128037
5550	131	133.3808	2.3808	1.784965
5600	135.51	136.1744	0.6644	0.487904
5650	135.58	138.968	3.388	2.437971
5700	142.71	141.6743	1.0357	0.731043
5750	143.69	144.4679	0.7779	0.538459
5800	147.68	147.2615	0.4185	0.284188
5850	148.41	150.0551	1.6451	1.096331
5900	151.88	152.8487	0.9687	0.633764
5950	155.77	155.6423	0.1277	0.082047
6000	158.82	158.3486	0.4714	0.297698
6050	159.67	161.1422	1.4722	0.913603
6100	161.96	163.9358	1.9758	1.205228
6150	164.59	166.7294	2.1394	1.283157
6200	167.07	169.523	2.453	1.447001
6250	170.72	172.2293	1.5093	0.876332
6300	171.33	175.0229	3.6929	2.109952
6350	176.88	177.8165	0.9365	0.526667
6400	175.28	180.6101	5.3301	2.951164
6450	180.1	183.4037	3.3037	1.801327

6500	185.12	186.1973	1.0773	0.57858
6550	186.61	188.9036	2.2936	1.214164
6600	189.92	191.6972	1.7772	0.927087
6650	190.6	194.4908	3.8908	2.000506
6700	193.09	197.2844	4.1944	2.126068
6750	198.64	200.078	1.438	0.71872
6800	201.93	202.8716	0.9416	0.464136
6850	202.01	205.5779	3.5679	1.735546
6900	205.28	208.3715	3.0915	1.483648
6950	207.67	211.1651	3.4951	1.65515
7000	215.39	213.9587	1.4313	0.668961
7050	214.41	216.7523	2.3423	1.080634
7100	215.19	219.5459	4.3559	1.98405
7150	217.32	222.2522	4.9322	2.219191
7200	223.06	225.0458	1.9858	0.882398
7250	228.42	227.8394	0.5806	0.254829
7300	232.11	230.633	1.477	0.640411
7350	235.64	233.4266	2.2134	0.948221
7400	237.21	236.2202	0.9898	0.419016
7450	239.88	238.9265	0.9535	0.399077
7500	237.67	241.7201	4.0501	1.675533
7550	241.18	244.5137	3.3337	1.3634
7600	245.16	247.3073	2.1473	0.868272
7650	247.77	250.1009	2.3309	0.931984
7700	248.73	252.8072	4.0772	1.612771
7750	250.61	255.6008	4.9908	1.952576
7800	254.06	258.3944	4.3344	1.677436
7850	256.55	261.188	4.638	1.775732
7900	258.84	263.9816	5.1416	1.947712
7950	259.98	266.7752	6.7952	2.547163
8000	263.95	269.4815	5.5315	2.052646
8050	265.08	272.2751	7.1951	2.642585
8100	265.01	275.0687	10.0587	3.656796
8150	269.8	277.8623	8.0623	2.901545
8200	277.33	280.6559	3.3259	1.185045
8250	277.63	283.4495	5.8195	2.053099
8300	278.03	286.1558	8.1258	2.839642
8350	279.6	288.9494	9.3494	3.235653
8400	285.71	291.743	6.033	2.067916
8450	291.87	294.5366	2.6666	0.905354
8500	292.54	297.3302	4.7902	1.611071
8550	292.98	300.1238	7.1438	2.380284
8600	293.33	300	6.67	2.223333
8650	296.09	300	3.91	1.303333

8700	295.67	300	4.33	1.443333
8750	296.08	300	3.92	1.306667
8800	297.17	300	2.83	0.943333
8850	298.6	300	1.4	0.466667
8900	299.04	300	0.96	0.32
8950	299.6	300	0.4	0.133333
9000	300.27	300	0.27	0.09
Rata-rata error (%)				1.877482



LAMPIRAN II FOTO ALAT



Gambar 1 Foto Tungku dan Kotak Kontroler Tampak Samping



Gambar 2 Foto Tungku dan Kotak Kontroler Tampak Belakang



Gambar 3 Foto Tungku dan Kotak Kontroler Tampak Atas



Gambar 3 Foto Pemasangan Motor Servo pada Valve Burner

LAMPIRAN III

LISTING PROGRAM

```

#include <Servo.h>
#include <LiquidCrystal.h>

Servo servoMain;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
int banyakData;
float totalSuhu,nilaiSuhu,totalVoltage,nilaiVADC;
double SensorValue;
float setpoint;
float error = 0;
double PV, Output;
double kp, ki, kd;
long X = 0;
long interval = 9001000;
volatile double errSum=0;
void PID();

void setup() {
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  servoMain.attach(7);
  Serial.begin(9600);

  kp = 1;
  ki = 0.15;
  kd = 0.0;
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  int sensorValue = analogRead(A1);
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0);
  if (banyakData <50) {
    totalVoltage = voltage + totalVoltage;
    banyakData++;
  }
  Else {
    nilaiVADC = totalVoltage/50.0;
    banyakData=0;
    totalVoltage=0.0;
  }
  delay(6);
}

```



```
float constanta = ((0.454545+(nilaiVADC / 11.5106383)) /5);  
float resistance = ((1000 * constanta) / (1-constant));  
float temperature = ((resistance - 100)/0.385);
```

```
if (temperature<=10){  
    temperature = temperature - (3.168831169+1.308038961); // (komp.suhu +  
    average(Tpraktek-Tperhitungan))  
}  
else if (temperature<=20){  
    temperature = temperature - (3.272727273+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=30){  
    temperature = temperature - (3.324675325+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=40){  
    temperature = temperature - (3.376623377+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=50){  
    temperature = temperature - (3.376623377+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=60){  
    temperature = temperature - (3.350649351+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=70){  
    temperature = temperature - (3.298701299+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=80){  
    temperature = temperature - (3.220779221+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=90){  
    temperature = temperature - (3.090909091+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=100){  
    temperature = temperature - (2.961038961+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=110){  
    temperature = temperature - (2.779220779+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=120){  
    temperature = temperature - (2.571428571+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=130){  
    temperature = temperature - (2.337662338+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=140){  
    temperature = temperature - (2.077922078+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=150){  
    temperature = temperature - (1.766233766+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=160){  
    temperature = temperature - (1.454545455+1.308038961);
```



```
}  
else if (temperature<=170){  
    temperature = temperature - (1.090909091+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=180){  
    temperature = temperature - (0.701298701+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=190){  
    temperature = temperature - (0.285714286+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=200){  
    temperature = temperature - (-0.155844156+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=210){  
    temperature = temperature - (-0.623376623+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=220){  
    temperature = temperature - (-1.142857143+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=230){  
    temperature = temperature - (-1.662337662+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=240){  
    temperature = temperature - (-2.233766234+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=250){  
    temperature = temperature - (-2.831168831+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=260){  
    temperature = temperature - (-3.454545455+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=270){  
    temperature = temperature - (-4.12987013+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=280){  
    temperature = temperature - (-4.805194805+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=290){  
    temperature = temperature - (-5.532467532+1.308038961);  
}  
else if (temperature<=300){  
    temperature = temperature - (-6.25974026+1.308038961);  
}  
  
if (banyakData <50){  
    totalSuhu = totalSuhu + temperature;  
    banyakData++;  
}  
else{  
    nilaiSuhu = totalSuhu/50.0;
```

```

Serial.println("Setpoint");
Serial.println(setpoint);
Serial.println(" ");
Serial.println("NILAI SUHU");
Serial.println(nilaiSuhu);
Serial.println(" ");
Serial.println("-----");

        banyakData=0;
        totalSuhu=0.0;

delay(3);
    }

```

```

PID();
}
void PID()
{

    unsigned long currentMillis = millis();
    X=currentMillis;

    if (currentMillis<= 4500000)
    {
        setpoint=((X/45000.0)+25.0);
    }

    if ((currentMillis>= 4501000) && (currentMillis<= 5400000))
    {
        setpoint=125.0;
    }

    else if ((currentMillis>= 5401000) && (currentMillis<= 8550000))
    {
        setpoint=((X*175/3150000.0)-175.0);
    }

    else if ((currentMillis>=8551000) && (currentMillis<=9000000))
    {
        setpoint=300.0;
    }
    else if (currentMillis>=9001000)
    {
        Output = 168;
    }

    error = setpoint - nilaiSuhu;
    errSum += error;

    /*Compute PID Output*/
    if(errSum>200)errSum=200;
    if(errSum<-200)errSum=-200;

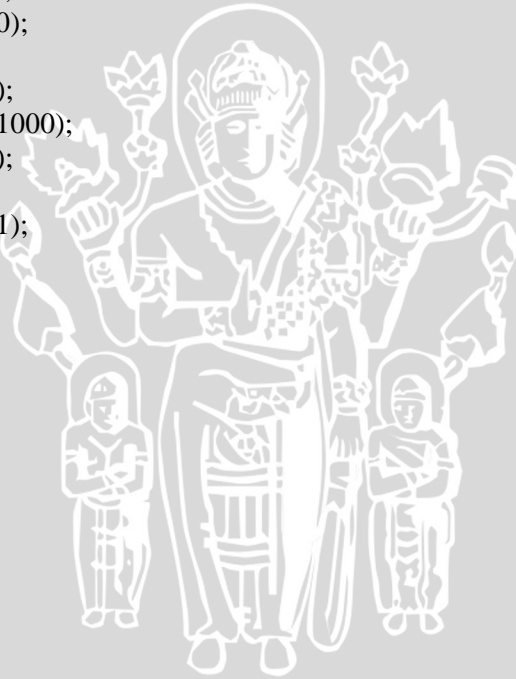
```

```
if(currentMillis<= 9000000)
{
Output = (168 - (kp * error + ki * errSum));
}

if(Output>161 && currentMillis<=9000000){Output =161;}
else if(Output <128){Output =128;}

servoMain.write(Output);
delay(3);

//for lcd//
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(nilaiSuhu);
lcd.setCursor(6,0);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print(setpoint);
lcd.setCursor(15,0);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(millis()/1000);
lcd.setCursor(6,1);
lcd.print(Output);
lcd.setCursor(13,1);
lcd.print("der");
}
```



LAMPIRAN IV DATASHEET

