

**SISTEM PENGENDALIAN SUHU PADA TUNGKU BAKAR
MENGUNAKAN KONTROL LOGIKA FUZZY**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DISUSUN OLEH :

ACHMAD ROCHMAN PUTRA

NIM. 0910633025

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2013

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan memberikan dampak positif pada perkembangan dunia elektronik khususnya pada 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 pada 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 berbahan bakar gas.

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 tentunya memiliki resiko yang cukup tinggi, karena tungku yang dikendalikan secara manual memiliki tingkat kesalahan yang besar dibandingkan dengan tungku bakar yang dikendalikan secara otomatis.

Sehubungan dengan banyaknya tungku bakar berbahan bakar gas yang dioperasikan secara manual, kami ingin memberikan suatu inovasi dengan merancang suatu tungku bakar berbahan bakar gas yang dapat dikendalikan secara otomatis. Pada penelitian ini, diharapkan dapat merancang suatu sistem pengendalian suhu pada tungku bakar otomatis yang disesuaikan dengan trayek kenaikan suhu pada proses pembakaran keramik.

Dengan mempertimbangkan keterbatasan waktu perancangan, pengujian serta keterbatasan suhu, maka hasil yang ingin kami capai adalah pengaturan suhu yang disesuaikan dengan trayek kenaikan suhu pada tungku bakar keramik yang diskalakan lebih kecil.

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 kontrol logika fuzzy?
2. Bagaimana merancang hardware dan software sistem pengendalian suhu pada tungku bakar menggunakan kontrol logika fuzzy?

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 dengan perbandingan skala suhu dan waktu 1:4.
2. Digunakan 1 buah motor servo.
3. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu PT100 dengan range (26 – 300)°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 logika *fuzzy* pada sistem.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem pengendalian suhu pada tungku bakar menggunakan kontrol logika fuzzy dengan menggunakan trayek pembakaran tungku bakar keramik yang diskala 1:4 (suhu dan waktu pembakaran).

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

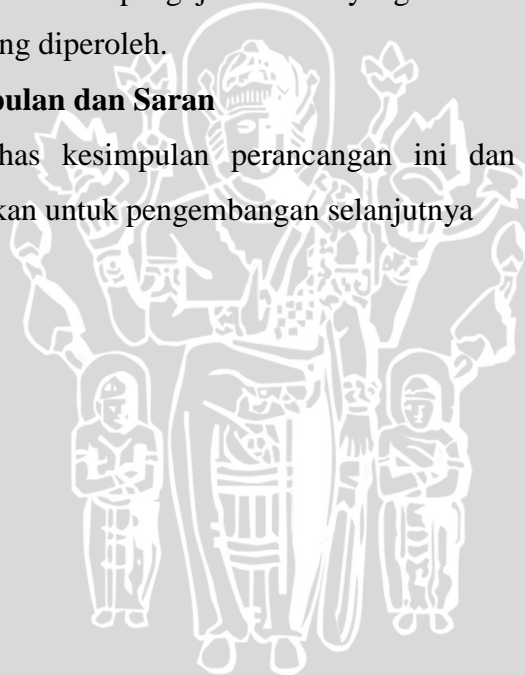
Membahas perancangan alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan pembuatan alat. Setelah itu, bagaimana penerapannya dalam sistem secara keseluruhan.

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

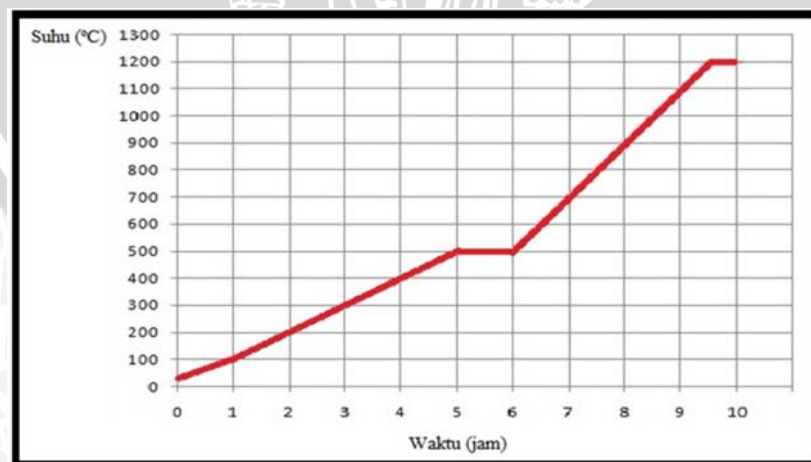
Pada Bab II ini akan dijelaskan teori penunjang yang digunakan dalam penulisan ini, dengan tujuan untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan alat ini. Teori penunjang yang akan dijelaskan dalam Bab II ini adalah:

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

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.

Membakar benda yang terbuat dari tanah liat tidaklah mudah, maka untuk melakukan kegiatan ini dibutuhkan teknik dan media yang tepat. Hal ini dilakukan pada keramik atau gerabah yang telah dibuat agar tidak mengalami keretakan atau bahkan pecah dan rusak. Berikut ini Trayek Pembakaran dalam Gambar 2.1 pada tungku bakar keramik:



Gambar 2.1 Trayek Pembakaran
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. Tujuan penggunaan tungku gas adalah untuk mencapai kondisi pembakaran netral, oksidasi atau reduksi dapat dengan mudah dicapai, dengan mengatur gas, saluran udara primer dan damper.



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 m^3 . 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.

(Sumber : Belajar Sendiri Membuat Keramik, Setiabudi D.P, Natas. 2006)

Berikut ini kami jelaskan tahap-tahap kenaikan suhu pada proses pembakaran keramik dalam keadaan yang sebenarnya:

1. Tahap Pembakaran Biskuit

Perubahan yang terjadi dalam pembakaran barang-barang keramik akan tergantung dari komposisi campuran bahan yang dipakai untuk bodi, suhu pemanasan dan kondisi pembakaran/suasana pembakaran (oksidasi, reduksi dan netral). Secara keseluruhan pembakaran biskuit dapat di bagi menjadi lima tahap yaitu:

2. Tahap Penguapan (*water smoking*)

Adalah tahapan pelepasan air mekanis, untuk menetapkan suhu berapa berakhirnya tahap pengeringan sangatlah sulit, tetapi 150 °C dianggap sebagai suhu akhir tahap pelepasan air mekanis.

3. Tahap *Dehidrasi*

Pada tahap ini pembakaran dilakukan secara perlahan-lahan karena apabila pada tahap ini tungku terlalu cepat dipanaskan bisa mengakibatkan barang-barang keramik meledak/pecah. Air yang terkombinasi secara kimia dilepaskan dari badan keramik pada suhu antara 200 °C dan 460 °C.

4. Tahap Oksidasi

Tahap ini terjadi pada suhu berkisar antara 400 °C – 410 °C. Saat tanah liat dibakar, apabila oksidasi kandungan karbon tak sempurna maka akan mengakibatkan adanya bintik-bintik hitam dan lubang-lubang kecil pada permukaan badan keramik. Hal ini akan berdampak pula pada gerakan dan panas glasir menjadi tidak merata.

5. Tahap vitrifikasi

Pada tahap pematangan bodi ini suhu sekitar 900 °C. Pada tahap ini terjadi peleburan dan rekristalisasi. Bila suhunya dinaikkan lagi, leburan akan menembus kepori-pori yang lebih dalam dan menghasilkan bahan padat. Pada tahap ini *flux*, akan bereaksi dengan tanah liat dan cenderung melunak, akhirnya bila suhunya diatas titik *vitrifikasi* akan keluar gas sehingga muncul gelembung yang kemudian meledak. Hal ini karena *flux* dalam badan mendidih.

6. Tahap *soaking*

Proses pembakaran yang telah cukup temperaturnya perlu dipertahankan beberapa saat (*soaking period*), agar reaksi-reaksi yang terjadi merata pada seluruh bagian keramik. Apabila proses *soaking period* dianggap telah cukup, tungku dapat dimatikan dan didinginkan dalam waktu yang cukup, atau minimal 18 jam. Setelah tungku dingin, dan suhu telah mencapai dibawah 100 °C, tungku dapat di buka sedikit, beberapa saat kemudian barang-barang dapat dibongkar/di keluarkan.

2.2 Jenis Tanah Untuk Keramik

Pada dasarnya tanah untuk keramik dibagi menjadi 3, yaitu :

1). Tanah Earthen ware/ Gerabah

Merupakan jenis tanah bakaran rendah , warna bakaran yang ditimbulkan yaitu merah muda, merah, atau coklat. Temperatur bakar dari jenis ini yaitu antara 900 – 1100 °C.

2). Tanah Stone Ware

Merupakan jenis tanah bakaran tinggi, warna bakaran yang ditimbulkannya kelabuan dan krem. Temperatur bakar jenis ini yaitu antara 1100 – 1200 °C.

3). Tanah Porcelain

Tanah ini adalah jenis tanah atau bahan tertentu juga merupakan racikan sendiri yang tidak dapat diperoleh dari sumber bahan alam secara langsung seperti halnya pada jenis tanah diatas, warna bakar yang ditimbulkan adalah putih. Temperatur bakar jenis ini yaitu lebih dari 1200 °C.

2.3 Sensor Suhu *Resistive Temperature Detector* (RTD) PT100

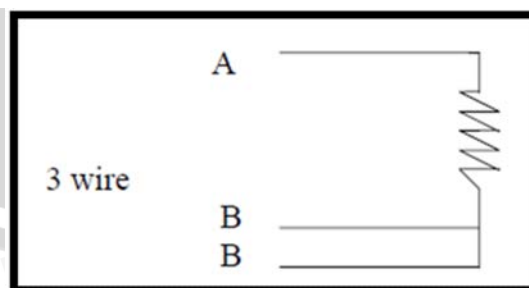
Sensor adalah elemen yang menghasilkan sinyal yang berhubungan dengan kuantitas yang diamati atau akan diukur. Memberikan tanggapan terhadap fenomena fisika, atau kimia dengan besaran besaran fisik yang akan diukur atau diamati dengan menghasilkan output suatu sinyal.

PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. Rangkaian Dasar sensor suhu dapat dilihat dalam gambar 2.3.

PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C.

Menurut keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yakni Class-A dan Class-B. PT100 Class-A memiliki akurasi $\pm 0,06$ ohm dan PT100 Class-B memiliki akurasi $\pm 0,12$ ohm. Keakurasiannya ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Akurasi PT100 Class-A bisa menurun hingga $\pm 0,43$ ohm ($\pm 1,45^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C, dan PT100 Class-B bisa menurun hingga $\pm 1,06$ ohm ($\pm 3,3^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C.

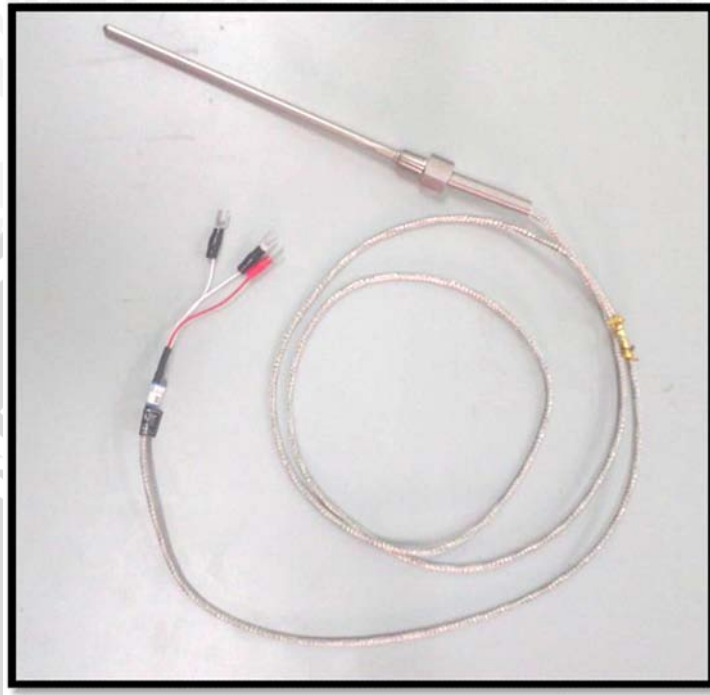
PT100 tipe DIN (Standard Eropa) memiliki resolusi 0,385 ohm per 1°C. Jadi resistansinya akan naik sebesar 0,385 ohm untuk setiap kenaikan suhu 1°C. Untuk mengukur suhu secara elektronik menggunakan sensor suhu PT100, maka kita harus mengeksitasinya dengan arus yang tidak boleh melebihi nilai 1mA. Hal 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.



Gambar 2.3 Rangkaian Dasar Sensor Suhu PT100

Sumber : Datasheet RTD PT100

Dari Gambar 2.3 diatas diketahui bahwa RTD PT100 merupakan resistor yang nilai resistansinya berubah-ubah sesuai dengan kenaikan suhu. Kabel RTD PT100 berjumlah 3 buah yang terdiri dari 2 jenis yaitu, A dan B. Kabel B memiliki dua cabang yang memiliki fungsi sama, karena ujungnya dipararel.



Gambar 2.4 Sensor Suhu PT100

Sumber : [Foto](#) Observasi

2.4 Motor Servo

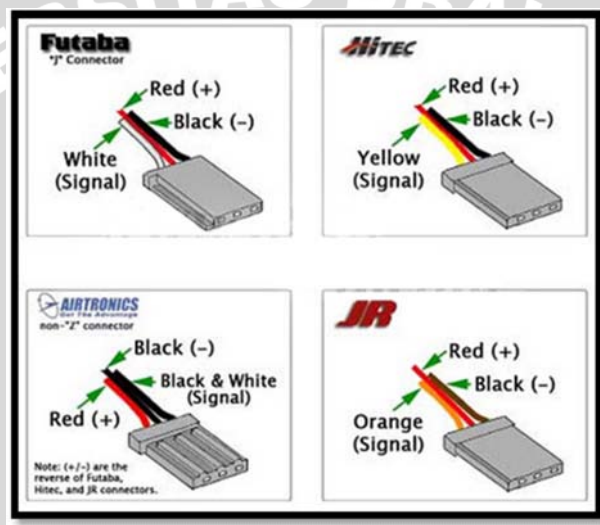
Motor servo adalah motor dengan sistem *closed feedback* yang berarti posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada dalam motor servo. Motor ini terdiri atas sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan 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.



Gambar 2.5 Motor Servo

Sumber: Parallax, Inc.



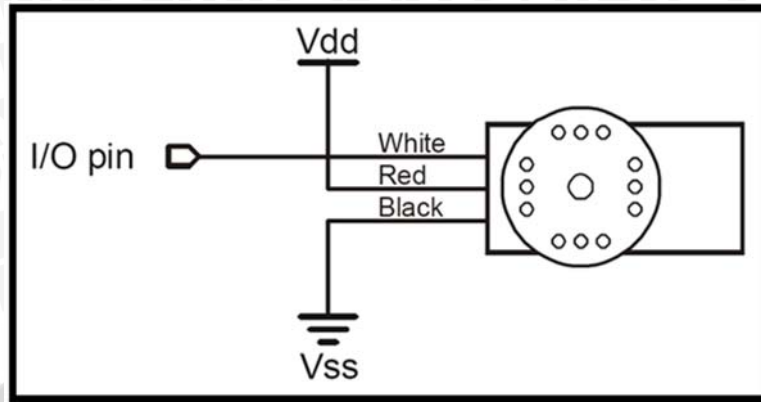
Gambar 2.6 Jalur Kabel Motor Servo

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 2.6.
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*.

Gambar 2.7 menunjukkan konfigurasi pin pengabelan motor servo.



Gambar 2.7 Konfigurasi Pin Pengkabelan Motor Servo

Sumber: Parallax, Inc.

Secara umum terdapat dua jenis motor servo, yaitu:

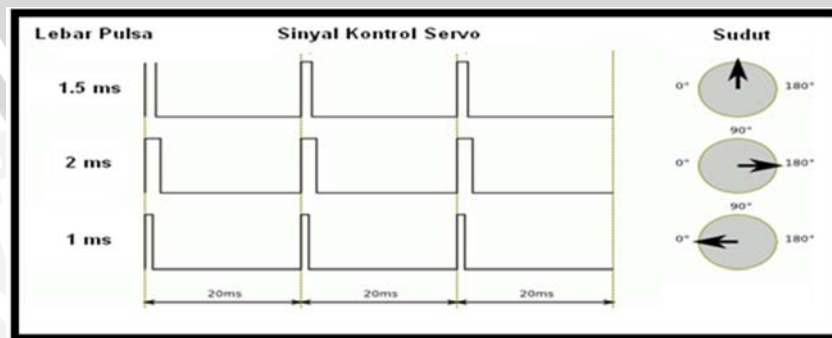
1. Motor Servo *Standar 180°*

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:

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

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

Dengan

S = Lebar Pulsa dalam μs

D = Sudut putar servo dalam derajat

2.5 Kontrol Logika Fuzzy

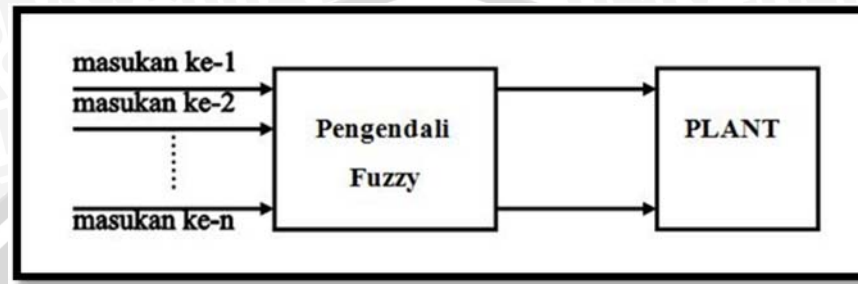
Fuzzy secara harfiah berarti samar, sedangkan kebalikannya dalam hal ini adalah *Crisp* yang secara harfiah berarti tegas. Dalam kehidupan sehari-hari nilai samar lebih akrab daripada nilai tegas. Temperatur tertentu biasa dinyatakan sebagai panas, agak panas, atau sangat dingin daripada dinyatakan dalam nilai terukur tertentu.

Tahun 1965 L.A. Zadeh memodifikasi teori himpunan yang disebut himpunan kabur (*fuzzy Set*). Himpunan *fuzzy* di dasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sehingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0,1]$. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu nilai dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak diantaranya. Dengan kata lain nilai kebenaran suatu hal tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 0 menunjukkan salah, nilai 1 menunjukkan benar dan masih ada nilai-nilai yang terletak diantaranya.

Sejak tahun 1982 pengendalian berbasis logika *fuzzy* mengalami perkembangan pesat, terutama dalam hubungannya dengan penyelesaian masalah kendali yang bersifat tak linier, sulit dimodelkan, berubah karakteristiknya terhadap waktu (*time varying*) dan kompleks (Sivanandam, 2006).

2.5.1 Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy

Dalam sistem pengendalian dengan logika *fuzzy* dilibatkan suatu blok pengendali yang menerima satu atau lebih masukan dan mengumpukan satu atau lebih keluaran ke plant atau blok lain sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pengendali Fuzzy

Sumber : Coughanowr,1991

Komponen utama penyusun kontrol logika *fuzzy* adalah unit fuzzifikasi, *fuzzy inference*, dan unit defuzzifikasi. Basis pengetahuan terdiri dari dua jenis (Yan, 1994).

2.5.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan menotasikan nilai kebenaran anggota-anggota himpunan *fuzzy*. Interval nilai yang digunakan untuk menentukan fungsi keanggotaan, yaitu nol dan satu. Tiap fungsi keanggotaan memetakan elemen himpunan *crisp* ke semesta himpunan *fuzzy*.

Suatu himpunan *fuzzy* A dalam semesta pembicaraan U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan, μ_A yang harganya berada dalam interval $[0,1]$. Secara matematika hal ini dinyatakan dengan :

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1]$$

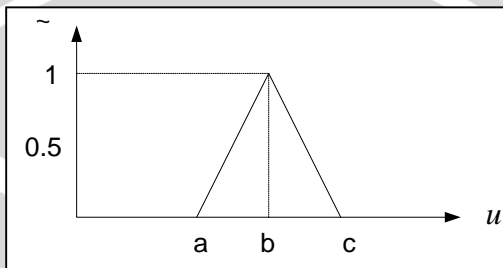
(Kuswadi, 2000)

- Fungsi keanggotaan bentuk Triangular

Definisi fungsi triangular sebagai berikut:

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (2.1)$$

Fungsi keanggotaan bentuk Tringular ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Fungsi Keanggotaan Bentuk Triangular

Sumber : Yan, 1994

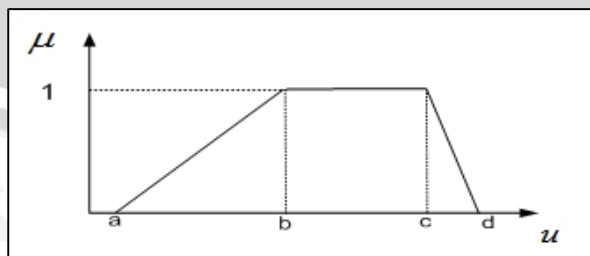
Fungsi keanggotaan bentuk triangular ini digunakan bila diinginkan himpunan *fuzzy* mempunyai nilai proporsional terhadap nol maupun satu.

➤ Fungsi keanggotaan bentuk Trapezium

Definisi fungsi trapesium sebagai berikut :

$$T(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \frac{d-u}{d-c} & c \leq u \leq d \\ 0 & d \leq u \end{cases} \quad (2.2)$$

Fungsi keanggotaan bentuk Trapezium ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Fungsi Keanggotaan Bentuk Trapezium

Sumber : Yan, 1994



2.5.3 Kontroler Logika Fuzzy

Kontroler logika *fuzzy* adalah sistem berbasis aturan (*rule based system*) yang didalamnya terdapat himpunan aturan *fuzzy* yang mempresentasikan mekanisme pengambilan keputusan. Aturan yang dibuat digunakan untuk memetakan variabel input ke variabel output dengan pernyataan *If - Then*.

Kontroler ini akan menggunakan data tertentu (*crisp*) dari sejumlah sensor kemudian mengubahnya menjadi bentuk linguistik atau fungsi keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Lalu dengan aturan *fuzzy*, *inference engine* yang akan menentukan hasil keluaran *fuzzy*. Setelah itu hasil ini akan diubah kembali menjadi bentuk numerik melalui proses *defuzzifikasi*.

2.5.3.1 Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan-masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali logika *fuzzy* harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun, maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara *fuzzy* pula. Proses ini disebut fuzzifikasi (Yan,1994). Proses fuzzifikasi diekspresikan sebagai berikut:

$$x = \text{fuzzifier}(x_0)$$

dengan:

$$x_0 = \text{nilai } \textit{crisp} \text{ variabel masukan}$$

$$x = \text{himpunan } \textit{fuzzy} \text{ variabel yang terdefinisi}$$

fuzzifier = operator fuzzifikasi yang memetakan himpunan *crisp* ke himpunan *fuzzy*

Pedoman memilih fungsi keanggotaan untuk proses fuzzifikasi, menurut Jun Yan, menggunakan :

1. Himpunan *fuzzy* dhnengan distribusi simetris.

2. Gunakan himpunan *fuzzy* dengan jumlah ganjil, berkaitan erat dengan jumlah kaidah (*rules*).
3. Mengatur himpunan *fuzzy* agar saling menumpuk.
4. Menggunakan fungsi keanggotaan bentuk segitiga atau trapesium.

2.5.3.2 Kaidah Aturan Fuzzy (Fuzzy Rule)

Fuzzy rule adalah bagian yang menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan yang dikarakteristikan oleh sekumpulan variabel-variabel linguistik dan berbasis pengetahuan seorang operator ahli. Pernyataan tersebut umumnya dinyatakan oleh suatu pernyataan bersyarat.

Dalam pengendali berbasis *fuzzy*, aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk aturan “IF – THEN”. Untuk sebuah sistem *Multi Input Single Output* (MISO) basis aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk seperti berikut ini,

Rule 1 IF X is A_1 AND Y is B_1 THEN Z is C_1

Rule 2 IF X is A_2 AND Y is B_2 THEN Z is C_2

Rule n IF X is A_n AND Y is B_n THEN Z is C_n

Dengan X, Y, Z merupakan variabel linguistik, dimana X dan Y merupakan variabel masukan, dan Z merupakan variabel keluaran sistem. A_n , B_n , dan C_n merupakan nilai linguistik dari X, Y, dan Z (Lee, 1990).

2.5.3.3 Metode Inferensi MIN-MAX

Metode inferensi merupakan proses untuk mendapatkan keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan yang telah ditetapkan. Keputusan yang didapatkan pada proses ini masih dalam bentuk *fuzzy* yaitu derajat keanggotaan keluaran.

Pada metode Min–Max aturan operasi minimum Mamdani digunakan untuk implikasi *fuzzy*. Persamaan aturan minimum adalah

$$\sim c_i = \bigcup_1^n r_i \wedge \sim c_i \quad (2.3)$$

dengan $r_i = \sim A_i(x_0) \wedge \sim B_i(y_0)$

Sebagai contoh, terdapat dua basis kaidah atur *fuzzy*, yaitu :

R_1 : Jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka z adalah C_1

R_2 : Jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka z adalah C_2

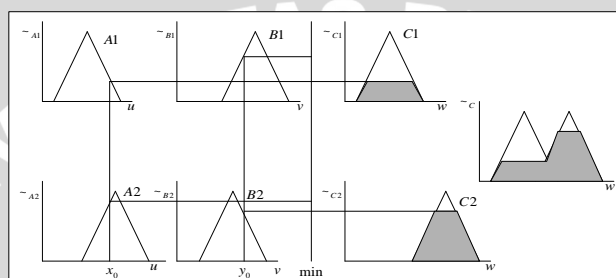
Pada metode penalaran MIN-MAX fungsi keanggotaan konsekuen dinyatakan dengan

$$\sim c_1'(W) = \sim c_1' \vee \sim c_2' = [\Gamma_1 \wedge \sim c_1(w)] \vee [\Gamma_2 \wedge \sim c_2(w)] \quad (2.4)$$

$$\text{dimana } \Gamma_1 = \sim_{A_1}(x_0) \wedge \sim_{B_1}(y_0) \quad (2.5)$$

$$\Gamma_2 = \sim_{A_2}(x_0) \wedge \sim_{B_2}(y_0) \quad (2.6)$$

Lebih jelas metode ini dideskripsikan dalam Gambar 2.12



Gambar 2.12 Inferensi *Fuzzy* dengan Metode MIN-MAX

Sumber : Yan, 1994

2.5.3.4 Metode Defuzzifikasi Center Of Gravity (COG)

Defuzzifikasi adalah proses untuk mendapatkan nilai numerik dari data *fuzzy* yang dihasilkan dari proses inferensi (Yan, 1994). Proses defuzzifikasi dinyatakan sebagai berikut :

$$y_0 = \text{defuzzifier}(y) \quad (2.7)$$

dengan:

- y : aksi kontrol *fuzzy*
- y_0 : aksi kontrol *crisp*
- defuzzifier* : operator defuzzifikasi

Metode (*Center Of Gravity*)

Metode ini didefinisikan sebagai berikut:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.8)$$

dengan:

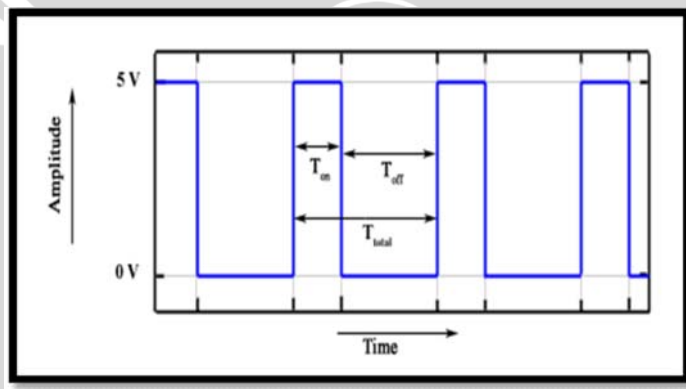


- U = Keluaran
- w_i = Bobot nilai benar w_i
- u_i = Nilai linguistik pada fungsi keanggotaan keluaran
- n = Banyak derajat keanggotaan

2.6 (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 dapat dilihat dalam Gambar 2.13 berikut:



Gambar 2.13 Sinyal PWM Secara Umum

Sumber: electronics-scheme.com

$$Duty\ cycle = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

T_{on} = Periode logika tinggi

T = Periode keseluruhan

$$V_{dc} = Duty\ cycle \times V_{cc} \dots\dots\dots (2.10)$$

Sedangkan frekuensi sinyal dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$f_{on} = \frac{f_{clk}/O}{N.256} \dots\dots\dots (2.11)$$

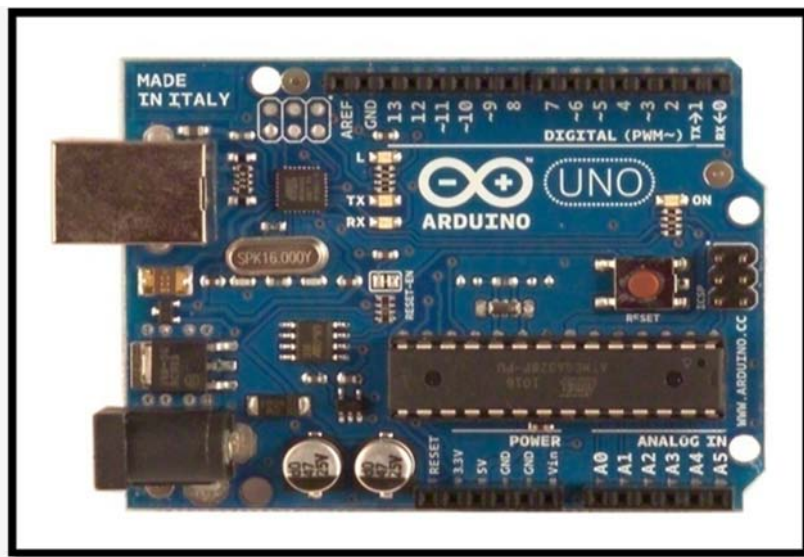
2.7 Arduino Uno

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.



Gambar 2.14 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.

2.7.1 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.

Pin listrik adalah sebagai berikut:

VIN. Tegangan masukan kepada board Arduino ketika itu menggunakan sumber daya eksternal (sebagai pengganti dari 5 volt koneksi USB atau sumber daya lainnya). 5V. Catu daya digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya. Sebuah pasokan 3,3 volt dihasilkan oleh regulator on-board.

GND. Ground pin.

2.7.2 Memori

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

2.7.3 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. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) TTL data serial. Pin ini dihubungkan ke pin yang berkaitan dengan chip Serial ATmega8U2 USB-to-TTL.

Eksternal menyela: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interrupt pada nilai yang rendah, dengan batasan tepi naik atau turun, atau perubahan nilai.

PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Menyediakan output PWM 8-bit dengan fungsi *analogWrite* ().

SPI: 10 (SS), 11 (Mosi), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan *SPI library*.

LED: 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai nilai HIGH, LED on, ketika pin bernilai LOW, LED off.

Uno memiliki 6 masukan analog, berlabel A0 sampai dengan A5, yang masing-masing menyediakan 10 bit dengan resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

I2C: A4 (*SDA*) dan A5 (*SCL*). Dukungan I2C (*TWI*) komunikasi menggunakan perpustakaan Wire.

Aref. Tegangan referensi (0 sampai 5V saja) untuk input analog. Digunakan dengan fungsi *analogReference()*.

Reset. Bawa baris ini LOW untuk me-reset mikrokontroler.

2.7.4 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

Kajian dalam skripsi ini merupakan penelitian yang bersifat aplikatif, yaitu merancang suatu sistem pengendalian menggunakan kontroler *fuzzy* yang bertujuan agar dapat menampilkan performansi sistem sesuai dengan yang direncanakan.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

3.1 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. 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 logika fuzzy.
6. Arduino Uno Rev.3 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.

3.2 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 logika fuzzy dan rangkaian elektronik pendukung.
 - c. Perancangan program pada *Arduino* sebagai pusat pengontrol dengan kontrol logika fuzzy.

3.3 Realisasi Pembuatan Sistem

3.3.1 Perangkat Keras

Komponen utama perangkat keras adalah tungku yang ukurannya sudah diperkecil, motor servo, sensor suhu dalam tungku menggunakan sensor suhu *PT100*, *valve* pada *burner*, *Arduino Uno Rev. 3*.

3.3.2 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 kontrol logika fuzzy.

3.4 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. Menggabungkan beberapa blok rangkaian menjadi sebuah sistem.
4. Mengadakan pengujian sistem secara keseluruhan.
5. Mengevaluasi hasil pengujian sistem secara keseluruhan

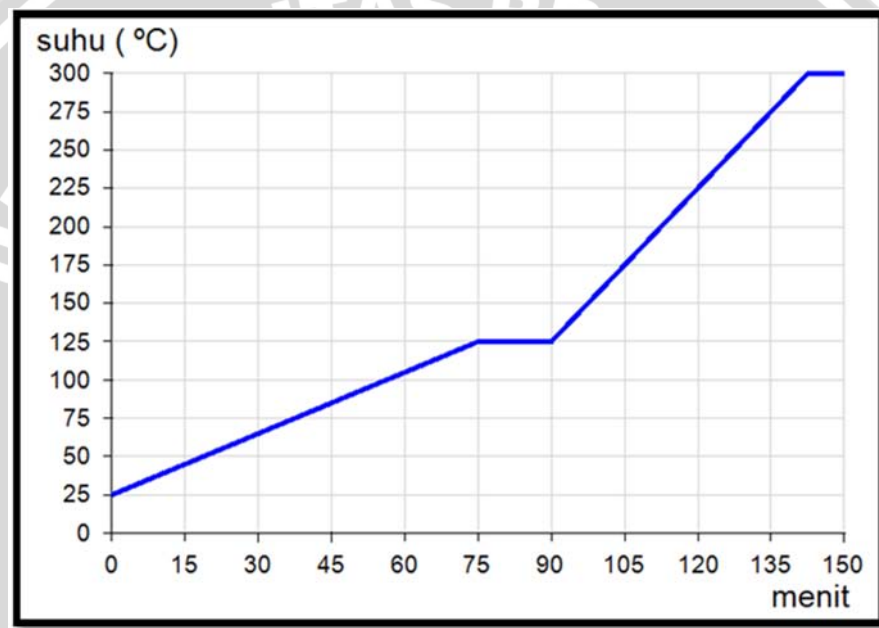
3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

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

Dalam gambar 4.1 merupakan trayek pembakaran yang sebenarnya pada tungku bakar keramik. Di sini kami akan merancang alat berupa miniatur pada proses pembakaran keramik dengan memperkecil skala dimana perbandingan skala tersebut yaitu 1:4 dengan skala asli. Trayek dengan skala perbandingan tersebut dapat dilihat dalam Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Grafik Pembakaran dalam Skala Perbandingan 1:4

4.1 Perancangan Sistem

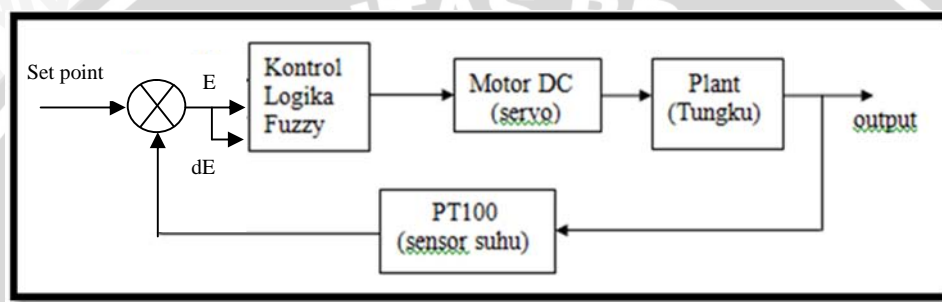
Perancangan dan pembuatan alat ini terdiri dari dua bagian, yaitu perancangan dan pembuatan perangkat keras serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap untuk memudahkan analisis sistem. Beberapa aspek yang perlu dijelaskan dalam bab ini meliputi:

1. Cara kerja alat.
2. Spesifikasi alat.

3. Perancangan perangkat keras (mekanik tungku bakar, rangkaian penkondisi sinyal sensor suhu PT100, motor servo sebagai pemutar valve)
4. Perancangan perangkat lunak (perancangan algoritma kontrol logika fuzzy pada *software arduino ERW 1.0.5*)

1.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Blok Diagram Sistem

Keterangan dari blok diagram sistem diatas adalah sebagai berikut:

1. PT100 berfungsi sebagai pendeteksi suhu dalam tungku. Agar arduino dapat menerima sinyal yang diberikan oleh PT100, maka diperlukan (RPS) Rangkaian Pengkondisi Sinyal.
2. Motor yang digunakan adalah motor servo TowerPro MG995 yang digunakan sebagai aktuator untuk menggerakkan *valve* burner.
3. Pusat pengendalian sistem menggunakan Arduino Uno Rev. 3 yang memberikan keluaran berupa PWM kepada motor servo.

1.3 Prinsip Kerja Alat

Cara kerja alat ini yaitu sebagai berikut:

1. Catu daya yang digunakan sebesar 5 volt.
2. PT100 sebagai sensor suhu di dalam tungku. Sensor PT100 akan memberikan keluaran berupa level tegangan yang berubah-ubah sesuai dengan perubahan suhu.

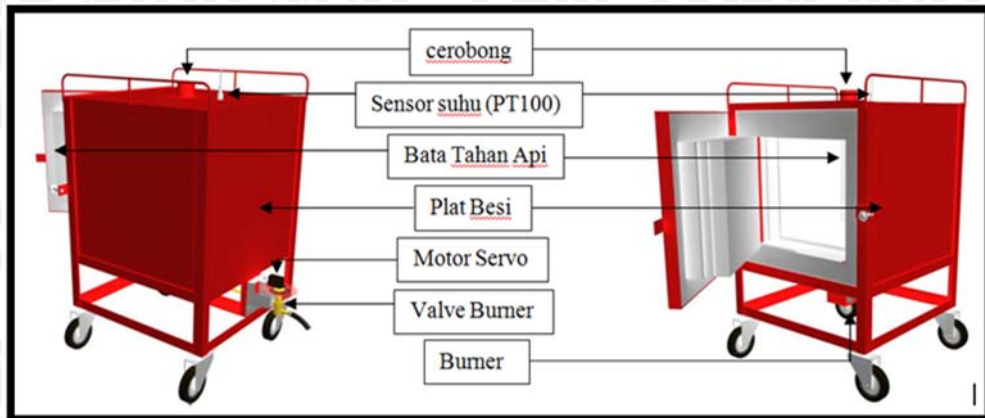
3. Untuk memulai, kami menyesuaikan suhu awal sebesar 25 °C. Saat itu sensor PT100 akan mendeteksi suhu di dalam tungku kemudian memberikan sinyal kepada arduino untuk mulai memutar motor servo sebesar 140 derajat. Ketika motor servo berputar, maka *valve* akan terbuka dan gas mulai mengalir.
4. Dipicu pemantik api pada ujung *burner* (kompor), kemudian api mulai menyala dan terjadi proses pembakaran.
5. Tahap berikutnya yaitu *tracking* trayek suhu yang disesuaikan dengan trayek pembakaran keramik yang dimulai dari suhu 26 °C sampai dengan 300 °C. PT100 akan mulai mensensor suhu yang ada didalam tungku, lalu digunakan 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 sesuai perintah arduino. Di saat yang bersamaan, valve juga akan membuka lebih besar sehingga api yang dihasilkan semakin besar.
6. Saat suhu telah mencapai 300 °C kontroler akan memberi sinyal kepada motor servo untuk menutup valve.

1.4 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
 - Bahan : Plat besi dengan tebal 1.5 mm
 - Volume ruang : 2,7 liter
 - Dinding bagian dalam : Bata tahan api dengan tebal 11 cm



Gambar 4.3 Perancangan Tungku Bakar



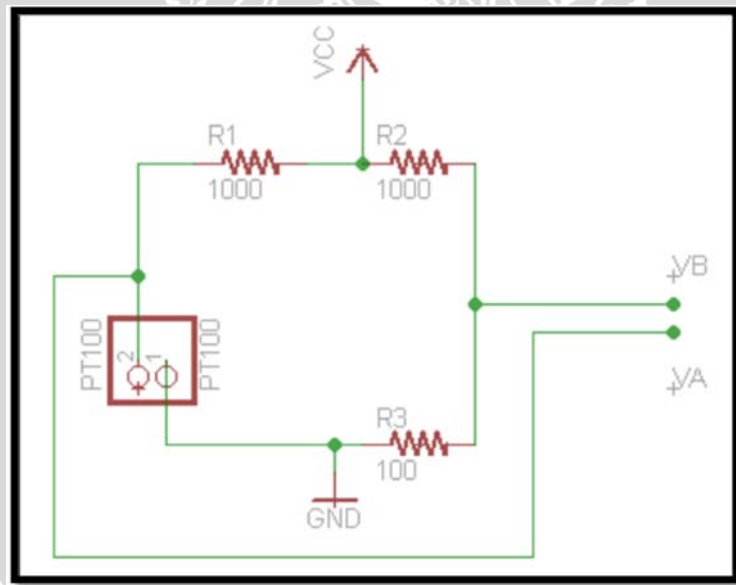
Gambar 4.4 Tungku Bakar

2. Proses pembakaran tungku menggunakan sebuah *burner* (kompor) yang berbahan bakar gas elpiji dimana burner tersebut dilengkapi dengan sebuah valve untuk mengatur besar kecil nya api.
3. Sensor yang digunakan untuk memantau suhu di dalam tungku adalah sensor suhu termokopel PT100.
4. Kontroler yang digunakan adalah kontroler logika fuzzy.
5. Menggunakan satu buah mikrokontroler Arduino Uno Rev. 3
6. Software yang digunakan sebagai pemrograman yaitu Arduino ERW 1.0.5

4.4.2 Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu *Resistive Temperature Detector (RTD) PT100*

Untuk menghubungkan arduino dengan RTD PT100 diperlukan sebuah rangkaian pengkondisi sinyal yang mampu menghasilkan sinyal keluaran yang berupa tegangan. Hal ini dikarenakan hanya tegangan dengan range 0 – 5 volt yang dapat dibaca *input* arduino. Rangkaian pengkondisi sinyal terdiri dari rangkaian jembatan *wheatstone* yang mengubah keluaran dari PT100 menjadi tegangan, karena tegangan yang dikeluarkan rangkaian jembatan *wheatstone* terlalu kecil maka diperlukan rangkaian op-amp yang menggunakan AD620 sebagai penguat tegangan. Pemasangan *Low-Pass Filter* yang berfungsi untuk mengurangi *noise* dari PT100. Berikut adalah gambar rangkaian (RPS) Rangkaian Pengkondisi Sinyal.

4.4.2.1 PT 100 dan Rangkaian Jembatan *Wheatstone*



Gambar 4.5 Skematik PT 100 dalam 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*.

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

$$R_{pt} = 100 + (0.385 * \text{suhu}) \quad (4.1)$$

PT 100 mampu mengukur suhu dari 0 °C hingga 400 °C. Namun, untuk sistem yang kami buat ini, hanya menggunakan *range* antara 0 °C hingga 300 °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* V yaitu V_A dikurangi V_B adalah 0 – 0.436466.

Dalam perancangan ini juga digunakan sistem dimana suhu dijaga agar tidak melebihi batas tertentu yang nilainya dapat dimasukkan oleh operator. Apabila nilai suhu melebihi kondisi batas atas maka pendingin akan dijalankan hingga suhu kembali ke keadaan batas bawah yang nilainya dimasukkan juga oleh operator.

4.4.2.2 Penguat Instrumentasi dan Rangkaian *Low Pass filter*

Setelah perubahan resistansi pada PT 100 dapat diubah menjadi perubahan tegangan pada *range* 0 - 0.436 V, maka dibutuhkan suatu rangkaian kembali yang dapat mengubah besar level tegangan 0 - 0.436 V menjadi 0 - 4.9551 V. Hal ini disebabkan karena ADC bertegangan referensi 5V menerima *range* tegangan yaitu sebesar 0 – 4.9551 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. Persamaan penguat instrumentasi ditunjukkan dalam Persamaan (4.2).

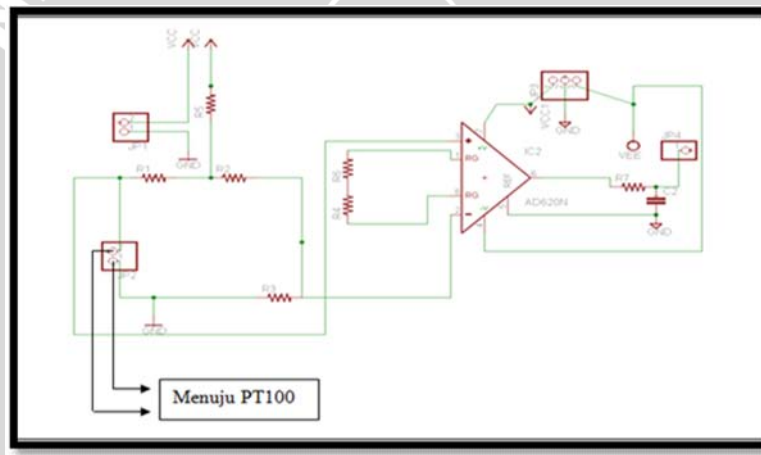
$$V_o = \text{Penguatan} * (V_+ - V_-) \quad (4.2)$$

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1 \quad (4.3)$$

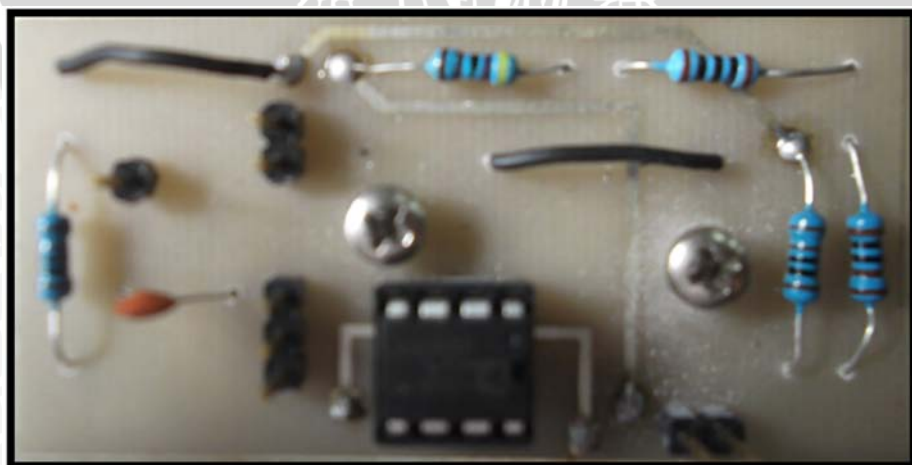
Persamaan (4.3) adalah persamaan penguat instrumentasi AD 620 yang digunakan dalam perancangan ini. Dari perhitungan nilai R_G didapatkan hasil yaitu $R_G = 4766.082$. Resistansi tersebut kemudian dibulatkan menjadi 4700 menyesuaikan dengan nilai yang terdapat pada pasaran.

Keluaran penguat instrumentasi kemudian dimasukkan pada rangkaian *low pass filter* untuk meredam *noise*. Rangkaian *low pass filter* dibuat dengan komponen pasif yaitu R dan C yang masing – masing bernilai 1000 ohm dan 220 nF agar dapat meredam frekuensi diatas 723.7985 Hz.

Rangkaian keseluruhan pengondisi sinyal sensor suhu ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Rancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor Suhu PT100



Gambar 4.7 Rangkaian Pengkondisi Sinyal pada Sensor Suhu PT100

4.4.2.3 ADC 10 bit dan Perhitungan Keseluruhan Rangkaian Penkondisi Sinyal Sensor Suhu

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 0.182725792 °C.

Pada saat keadaan 0 °C:

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

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

Pada saat keadaan 300 °C:

$$V_b = \frac{215.5}{1100} * 5 = 0.886$$

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

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

$$V_{max} = 0.436$$

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

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

$$V_{ADC} = V * G$$

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

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

$$V + V_a = \frac{(\text{suhu} * 0.385) + 100}{[(\text{suhu} * 0.385) + 100] + 1000} * 5$$

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

$$V_{ADC} = \left(\frac{(1.925 * \text{suhu}) + 500}{(0.385 * \text{suhu}) + 1100} \right) * 11.3649083$$

$$\text{Suhu} = \left[\frac{1100V_{ADC}}{(51.721143 - V_{ADC})} \right] * 0.385$$

$$\text{Suhu} = \left[\frac{1100V_{ADC}}{(51,721143 - V_{ADC}) * 0,385} \right]$$

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:

$$R_g = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{11,3649083-1} = 4766,081702$$

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

$$G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{4700} + 1 = 11,5106383$$

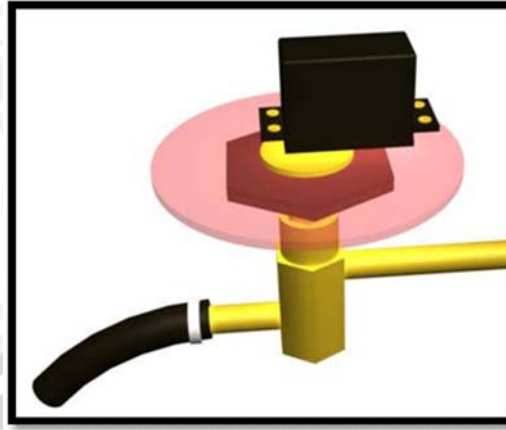
Besar persamaan tegangan masukkan ADC terhadap suhu dan sebaliknya menjadi:

$$V_{ADC} = \left(\frac{(1,925 * \text{suhu}) + 500}{(0,385 * \text{suhu}) + 1100} \right) * 11,5106383$$

$$\text{Suhu} = \left[\frac{1100V_{ADC}}{(52,321143 - V_{ADC}) * 0,385} \right]$$

4.4.3 Motor Servo

Motor servo yang digunakan adalah GWS servo S04 BBM. Motor servo berfungsi untuk memutar *valve burner*. Cara kerja dari motor servo ini yaitu dengan mengatur sudut pembukaan *valve* agar sesuai dengan perintah kontroler. Berikut adalah gambar perancangan pemasangan motor servo pada *valve burner*.



Gambar 4.8 Rancangan Pemasangan Servo pada *Valve Burner*



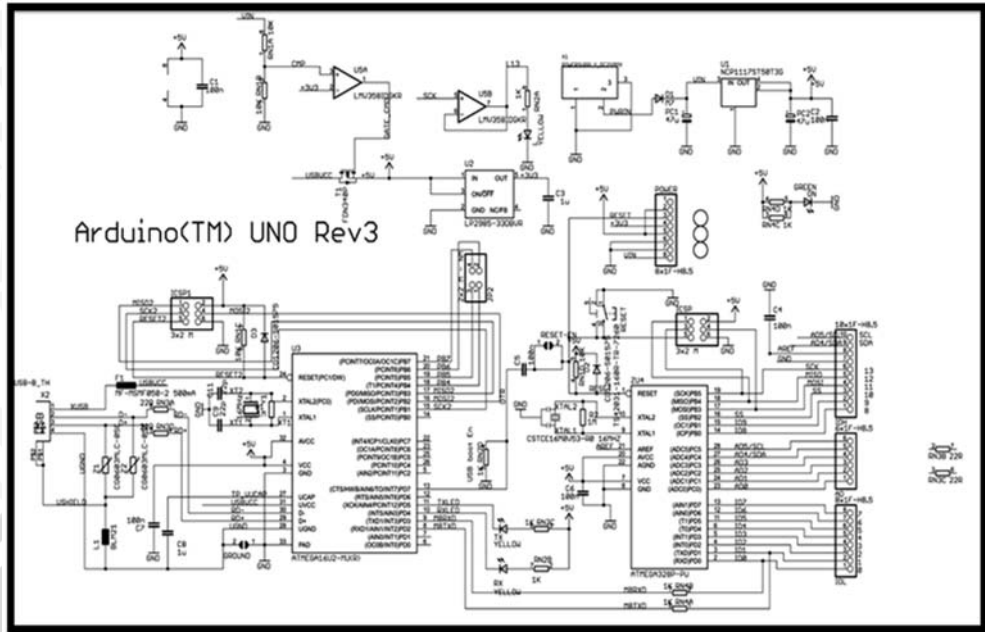
Gambar 4.9 Pemasangan servo pada *Valve Burner*

Motor servo dipasang diatas *valve burner* dengan tujuan sudut yang dibentuk oleh motor servo sama dengan sudut yang dibentuk oleh *valve burner*.

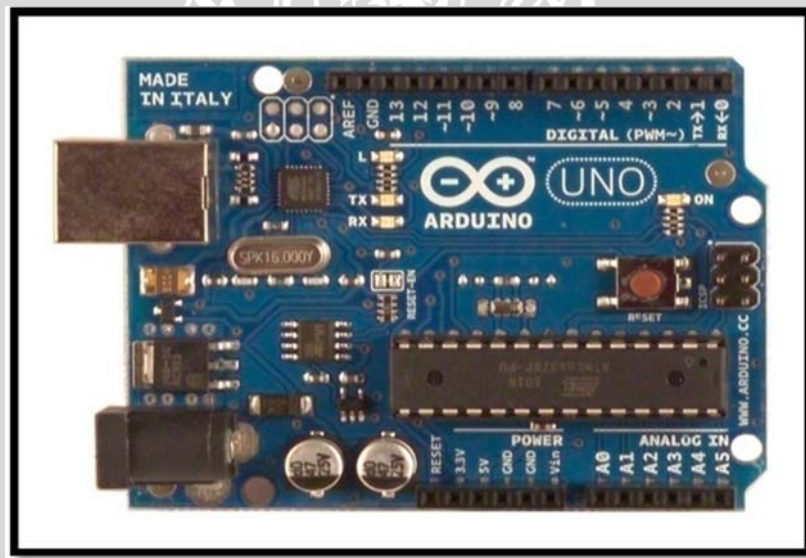
4.4.4 Modul Arduino Uno Rev.3

Modul arduino yang digunakan adalah jenis Arduino Uno Rev-3. Arduino tersebut digunakan sebagai ADC, kontroler, dan pemberi sinyal PWM. Arduino mampu menerima tegangan masuk ke ADC yang ada pada arduino, yaitu antara 0-5V. Untuk mengontrol plan, Arduino perlu diprogram menggunakan Arduino ERW 1.0.5. Sedangkan output yang dikeluarkan oleh arduino dapat berupa sinyal PWM.

Konfigurasi kaki I/O dari Arduino Uno Rev3 ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Konfigurasi Kaki I/O Arduino Uno Rev3



Gambar 4.11 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. Sedangkan sumber dapat melalui adaptor-DC, baterai untuk menjalankannya atau cukup dengan tegangan dari kabel USB. Pin masukan dan keluaran Arduino Uno Rev3 ini akan difungsikan sesuai Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 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	5v	Jalur masukan catu daya 5 volt
6	GND	Jalur masukan ground
7	11	LCD Enable pin
8	12	LCD RS pin
9	7	Jalur keluaran untuk motor servo
10	A1	Jalur masukan RPS dari PT100

4.5 Perancangan Sistem Kontrol Logika Fuzzy

4.5.1 Variabel Masukan dan Keluaran

Sistem kontrol logika *fuzzy* yang dikembangkan dalam penelitian ini mempunyai dua *crisp input* yaitu *error* posisi dan *delta error* posisi serta satu *crisp output* yaitu perubahan tegangan. *Error* dan *Error*, didefinisikan dengan perumusan sebagai berikut:

$$Error(t) = SP - PV(t) \dots \dots \dots (4.4)$$

Dimana,

SP = *Set point* (Nilai yang diinginkan)

$PV(t)$ = *Present Value* pada waktu t (Nilai aktual)

$$Error(t) = Error(t) - Error(t-1) \dots \dots \dots (4.5)$$

Dimana,

$Error(t)$ = *Error* pada waktu t

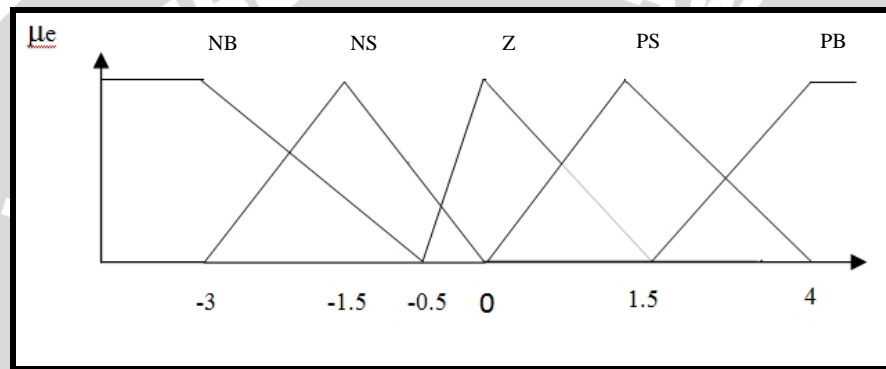
$Error(t-1)$ = *Error* pada waktu $(t-1)$

4.5.2 Fungsi Keanggotaan Masukan

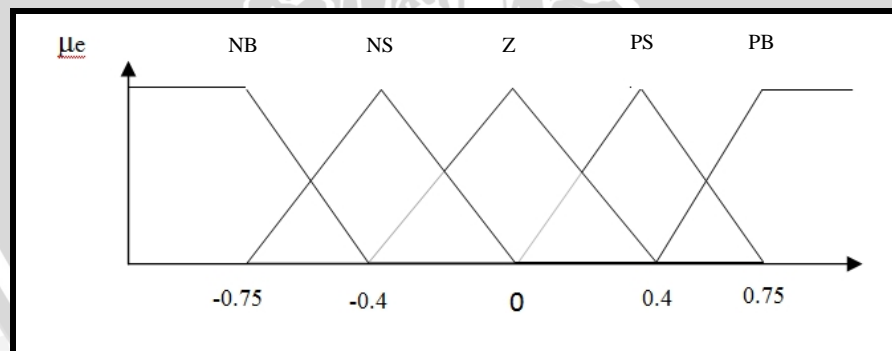
Fungsi keanggotaan dari *error* dan *delta error* terdiri dari lima label, yaitu *Negative Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS), *Positive Big* (PB). *Error* adalah nilai *set point* dikurangi nilai

sebenarnya, sedangkan delta error didapat dari error nilai suhu sekarang dikurangi dengan error nilai suhu yang sebelumnya. Data masukan dari fungsi keanggotaan didapat dari nilai suhu yang dikeluarkan oleh sensor suhu *Resistive Temperature Detector (RTD) PT100*.

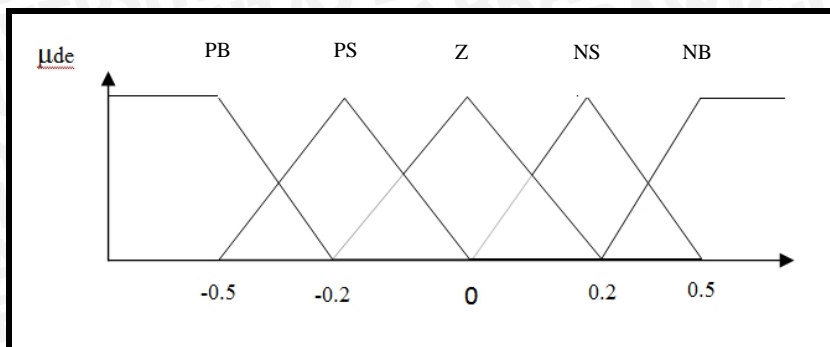
Label masing-masing fungsi keanggotaan masukan berjumlah 5 dengan tujuan agar rule yang dihasilkan semakin banyak. Semakin banyak rule maka semakin banyak juga kemungkinan kondisi yang tercipta. *Membership function* error dan delta error dirancang lebih dari satu untuk menyesuaikan dengan karakteristik kenaikan suhu di dalam tungku bakar. Berikut gambar *membership function* untuk beberapa kondisi :



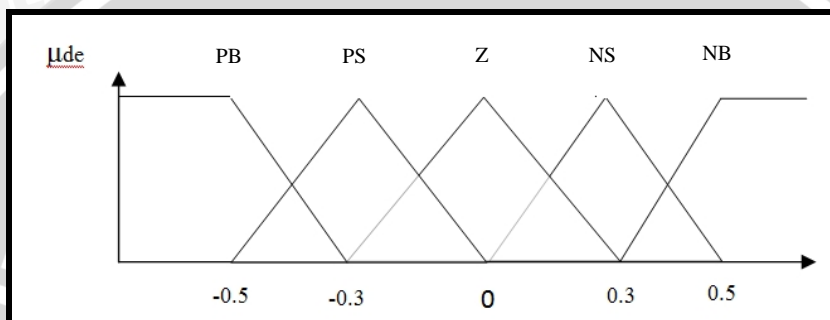
Gambar 4.12 Fungsi Keanggotaan Masukan Error Saat Set Point Ramp 30-125 dan Saat Set Point Ramp 125-300



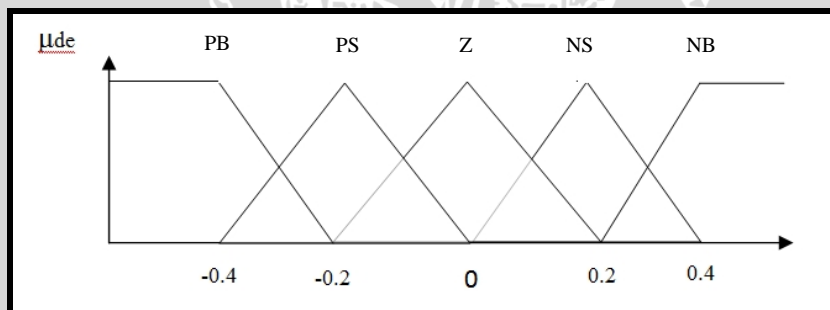
Gambar 4.13 Fungsi Keanggotaan Masukan Error Saat Set Point =125 dan Saat Set Point = 300



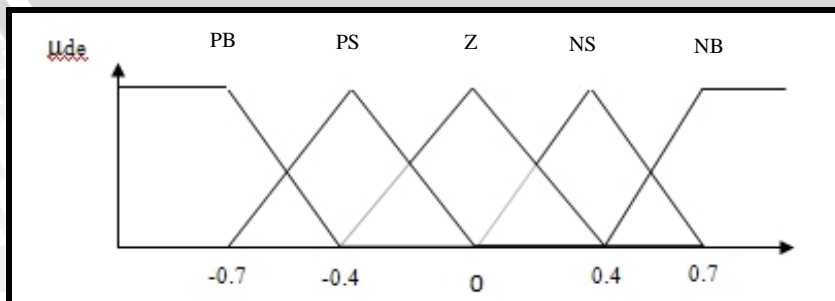
Gambar 4.14 Fungsi Keanggotaan Masukan Delta Error Saat Set Point Ramp ≤ 50



Gambar 4.15 Fungsi Keanggotaan Masukan Delta Error Saat Set Point Ramp > 50 Sampai ≤ 125



Gambar 4.16 Fungsi Keanggotaan Masukan Delta Error Saat Set Point = 125 dan Saat Set Point = 300



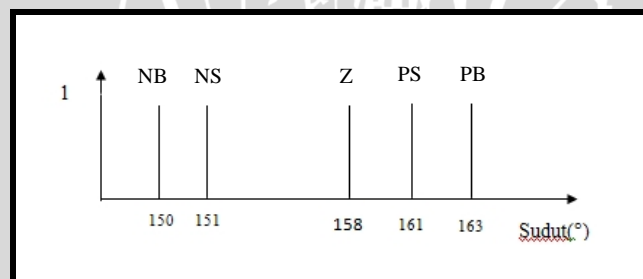
Gambar 4.17 Fungsi Keanggotaan Masukan Delta Error Saat Set Point Ramp > 125 Sampai < 300

4.5.3 Fungsi Keanggotaan Keluaran

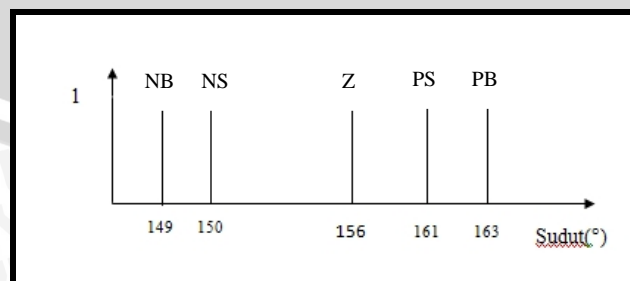
Fungsi keanggotaan keluaran motor DC Servo merupakan representasi sudut pembukaan *valve* dan besarnya nilai PWM yang dikeluarkan oleh Arduino berupa hasil dari perhitungan Metode *Defuzzifikasi Center Of Gravity (COG)* yang telah dibulatkan oleh integer di dalam pemrograman. Pemilihan *Defuzzifikasi* sebagai penentu keluaran dipilih dengan alasan agar mempercepat eksekusi program dan kapasitas program yang ditulis tidak melebihi kapasitas memori dari Arduino sebesar 32 kilobyte.

Sudut yang mampu dihasilkan oleh motor servo antara 0° - 170° . Dengan sudut 0° untuk api terbesar dan sudut 170° untuk mematikan *burner* (kompor). Dalam pemrograman sudut yang terpakai antara 125° - 163° , dengan 125° untuk api besar dan 163° untuk api terkecil.

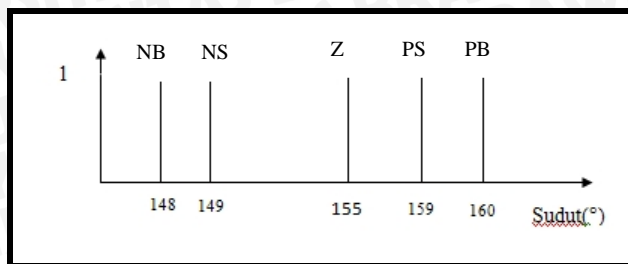
Sama seperti fungsi keanggotaan pada masukan, perlu dibuat beberapa fungsi keanggotaan keluaran dengan tujuan menyesuaikan karakteristik kenaikan suhu pada tungku bakar. Berikut fungsi keanggotaan keluaran tersebut.



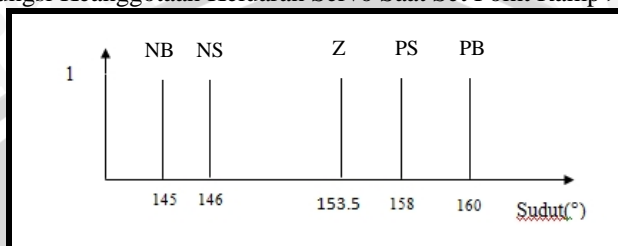
Gambar 4.18 Fungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp ≤ 50



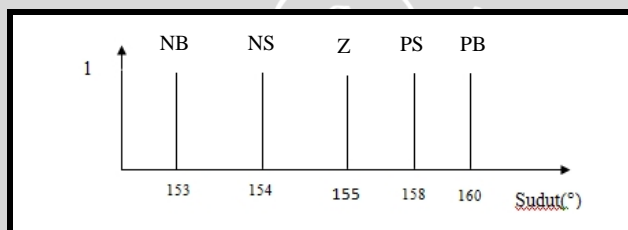
Gambar 4.19 Fungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp > 50 Sampai ≤ 75



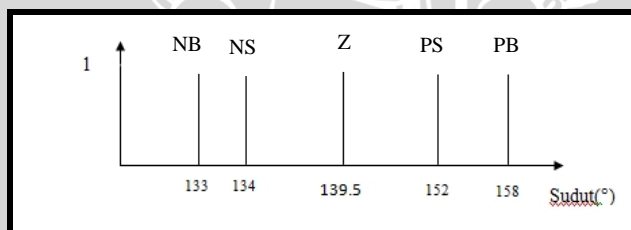
Gambar 4.20 Fungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp >75 Sampai <=100



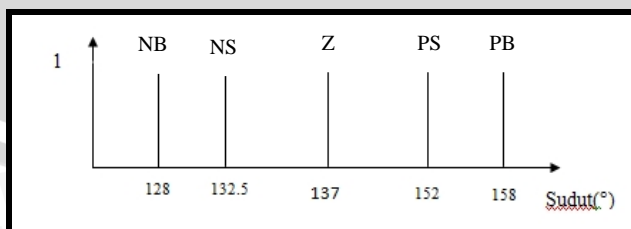
Gambar 4.21 Fungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp >100 Sampai <=125



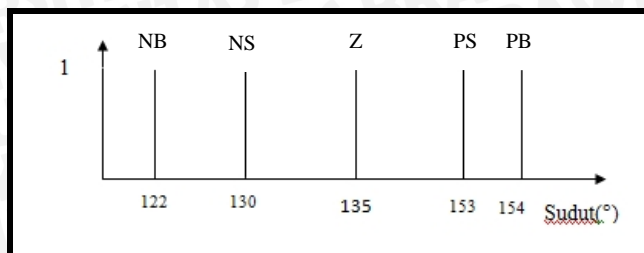
Gambar 4.22 Fungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point = 125



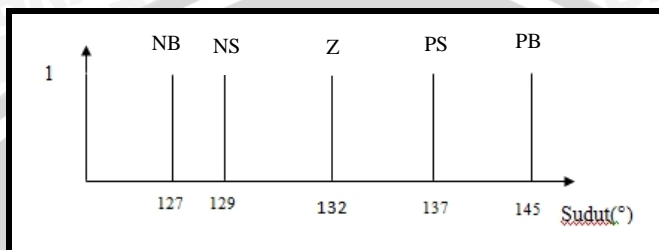
Gambar 4.23 Fungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp >125 Sampai <=150



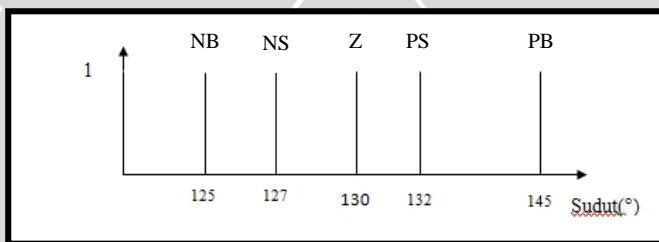
Gambar 4.24 Fungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp >150 Sampai <=175



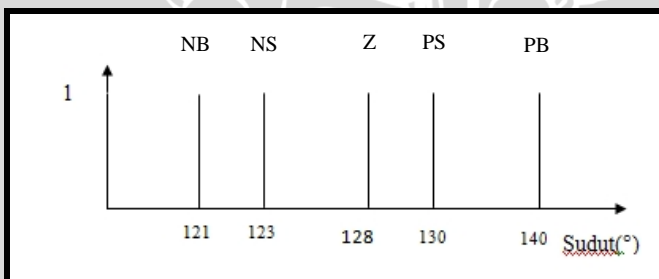
Gambar 4.25 F ungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp >175 Sampai <=200



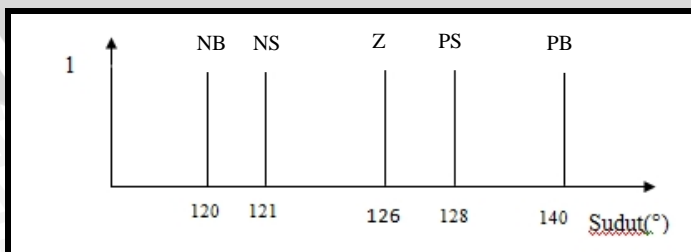
Gambar 4.26 F ungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp >200 Sampai <=225



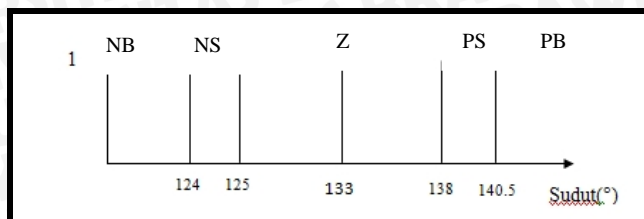
Gambar 4.27 F ungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp >225 Sampai <=250



Gambar 4.28 F ungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp >250 Sampai <=275



Gambar 4.29 F ungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point Ramp >275 Sampai <=300



Gambar 4.30 Fungsi Keanggotaan Keluaran Servo Saat Set Point = 300

Keterangan:

- NB : *Negatif Big*
- NS : *Negatif Small*
- Z : *Zero*
- PS : *Positif Small*
- PB : *Positif Big*

4.5.4 Perancangan Aturan Fuzzy

Rule (aturan) fuzzy digunakan sebagai penentu keluaran dari fuzzifikasi yang akan diolah dalam proses defuzzifikasi, dengan jumlah rule 25 macam. Rule tersebut didapat dari 5 membership function error dan 5 membership function delta error.

Tabel 4.2 Aturan Fuzzy

e \ de	NB	NS	Z	PS	PB
NB	PB	PB	PB	PS	Z
NS	PB	PB	PS	Z	NS
Z	PB	PS	Z	NS	NB
PS	PS	Z	NS	NB	NB
PB	Z	NS	NB	NB	NB

4.5.5 Metode Inferensi Min-Max

Untuk mengetahui metode ini pada sistem, perlu melakukan beberapa perhitungan pembuktian metode min-max pada sistem. Pengujian hanya dilakukan pada set point tertentu sebagai perwakilan atas keseluruhan sistem. Berikut hasil perhitungan dan Tabel 4.3 set point dan keluaran yang dihasilkan.

Tabel 4.3 Set Point dan Keluaran yang Dihasilkan

Sampel ke-	Set Point	Keluaran
385	251.54	252.07
386	252.65	253.62
387	253.76	255.45
388	254.87	256.64
389	255.98	257.66
390	257.09	258.36



Perhitungan inferensi min-max pada sistem:

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

$$\text{Delta Error}(t) = \text{Error}(t) - \text{Error}(t-1)$$

Keterangan :

- Error(t) : Simpangan / kesalahan pada detik (t)
 Error(t-1) : Simpangan / kesalahan sebelum detik (t)
 SP(t) : Set Point
 PV(t) : Nilai Sekarang
 Delta Error(t) : Simpangan antara error pada detik (t) dengan (t-1)

1. Inferensi Min-Max saat sampel ke-386

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

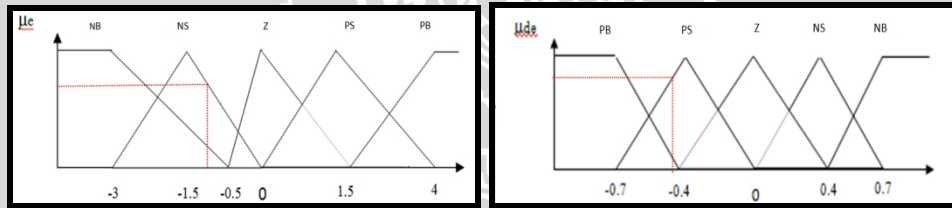
$$\begin{aligned} \text{Error}(385) &= \text{SP}(385) - \text{PV}(385) \\ &= 251.54 - 252.07 \\ &= -0.53 \end{aligned}$$

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

$$\begin{aligned} \text{Error}(386) &= \text{SP}(386) - \text{PV}(386) \\ &= 252.65 - 253.62 \\ &= -0.97 \end{aligned}$$

$$\text{Delta Error}(t) = \text{Error}(t) - \text{Error}(t-1)$$

$$\begin{aligned} \text{Delta Error}(386) &= \text{Error}(386) - \text{Error}(385) \\ &= -0.97 - (-0.53) \\ &= -0.44 \end{aligned}$$



Gambar 4.31 Inferensi Min-Max Saat Sampel ke-386

Nilai derajat keanggotaan Error:

$$\text{Error} = 0.7 \text{ [NS]}$$

$$\text{Error} = 0.28 \text{ [NB]}$$

Nilai derajat keanggotaan DelError:

$$\text{Delta Error} = 0.8 \text{ [PS]}$$

$$\text{Delta Error} = 0.1 \text{ [PB]}$$

Hasil :

$$\text{Error1} = 0.7 \text{ [NS]} \rightarrow \text{Del Error1} = 0.8 \text{ [PS]} = 0.7 \text{ [Z]}$$

$$\text{Error1} = 0.7 \text{ [NS]} \rightarrow \text{Del Error2} = 0.1 \text{ [PB]} = 0.1 \text{ [NS]}$$

$$\text{Error2} = 0.28 \text{ [NB]} \rightarrow \text{Del Error1} = 0.8 \text{ [PS]} = 0.3 \text{ [PS]}$$

$$\text{Error2} = 0.28 \text{ [NB]} \rightarrow \text{Del Error2} = 0.1 \text{ [PB]} = 0.1 \text{ [Z]}$$

2. Inferensi Min-Max saat sampel ke-387

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

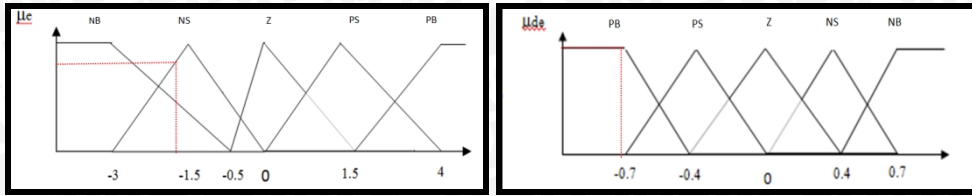
$$\begin{aligned} \text{Error}(386) &= \text{SP}(386) - \text{PV}(386) \\ &= 252.65 - 253.62 \\ &= -0.97 \end{aligned}$$

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

$$\begin{aligned} \text{Error}(387) &= \text{SP}(387) - \text{PV}(387) \\ &= 253.76 - 255.45 \\ &= -1.69 \end{aligned}$$

$$\text{Delta Error}(t) = \text{Error}(t) - \text{Error}(t-1)$$

$$\begin{aligned} \text{Delta Error}(387) &= \text{Error}(387) - \text{Error}(386) \\ &= -1.69 - (-0.97) \\ &= -0.72 \end{aligned}$$



Gambar 4.32 Inferensi Min-Max Saat Sempel ke-387

Nilai derajat keanggotaan Error:

$$\text{Error1} = 0.735 \text{ [NS]}$$

$$\text{Error2} = 0.535 \text{ [NB]}$$

Nilai derajat keanggotaan DelError:

$$\text{Delta Error} = 1 \text{ [PB]}$$

$$\text{Delta Error} = 0 \text{ [PS]}$$

Hasil :

$$\text{Error1} = 0.735 \text{ [NS]} \rightarrow \text{Del Error1} = 0 \text{ [PS]} = 0 \text{ [Z]}$$

$$\text{Error1} = 0.735 \text{ [NS]} \rightarrow \text{Del Error2} = 1 \text{ [PB]} = 0.8 \text{ [NS]}$$

$$\text{Error2} = 0.535 \text{ [NB]} \rightarrow \text{Del Error1} = 0 \text{ [PS]} = 0 \text{ [PS]}$$

$$\text{Error2} = 0.535 \text{ [NB]} \rightarrow \text{Del Error2} = 1 \text{ [PB]} = 0.5 \text{ [Z]}$$

3. Inferensi Min-Max saat sampel ke-388

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

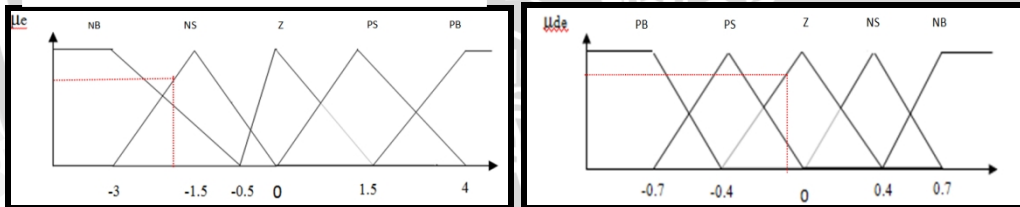
$$\begin{aligned} \text{Error}(387) &= \text{SP}(387) - \text{PV}(387) \\ &= 253.76 - 255.45 \\ &= -1.69 \end{aligned}$$

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

$$\begin{aligned} \text{Error}(388) &= \text{SP}(388) - \text{PV}(388) \\ &= 254.87 - 256.64 \\ &= -1.77 \end{aligned}$$

$$\text{Delta Error}(t) = \text{Error}(t) - \text{Error}(t-1)$$

$$\begin{aligned} \text{Delta Error}(388) &= \text{Error}(388) - \text{Error}(387) \\ &= -1.77 - (-1.69) \\ &= -0.08 \end{aligned}$$



Gambar 4.33 Inferensi Min-Max Saat Sempel ke-388

Nilai derajat keanggotaan Error:

$$\text{Error} = 0.7 \text{ [NS]}$$

$$\text{Error} = 0.4 \text{ [NB]}$$

Nilai derajat keanggotaan DelError:

$$\text{Delta Error} = 0.8 \text{ [Z]}$$

$$\text{Delta Error} = 0.3 \text{ [PS]}$$

Hasil :

$$\text{Error1} = 0.7 \text{ [NS]} \rightarrow \text{Del Error1} = 0.8 \text{ [Z]} = 0.7 \text{ [PS]}$$

$$\text{Error1} = 0.7 \text{ [NS]} \rightarrow \text{Del Error2} = 0.3 \text{ [PS]} = 0.3 \text{ [Z]}$$

$$\text{Error2} = 0.4 \text{ [NB]} \rightarrow \text{Del Error1} = 0.8 \text{ [Z]} = 0.4 \text{ [PB]}$$

$$\text{Error2} = 0.4 \text{ [NB]} \rightarrow \text{Del Error2} = 0.3 \text{ [PS]} = 0.3 \text{ [PS]}$$

4. Inferensi Min-Max saat sampel ke-389

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

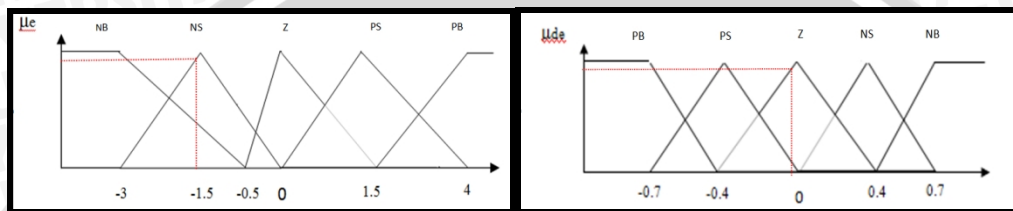
$$\begin{aligned}\text{Error}(388) &= \text{SP}(388) - \text{PV}(388) \\ &= 254.87 - 256.64 \\ &= -1.77\end{aligned}$$

$$\text{Delta Error}(t) = \text{Error}(t) - \text{Error}(t-1)$$

$$\begin{aligned}\text{Delta Error}(389) &= \text{Error}(389) - \text{Error}(388) \\ &= -1.68 - (-1.77) \\ &= 0.09\end{aligned}$$

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

$$\begin{aligned}\text{Error}(389) &= \text{SP}(389) - \text{PV}(389) \\ &= 255.98 - 257.66 \\ &= -1.68\end{aligned}$$



Gambar 4.34 Inferensi Min-Max Saat Sampel ke-389

Nilai derajat keanggotaan Error:

$$\text{Error} = 0.9 [\text{NS}]$$

$$\text{Error} = 0.35 [\text{NB}]$$

Nilai derajat keanggotaan DelError:

$$\text{Delta Error} = 0.9 [\text{Z}]$$

$$\text{Delta Error} = 0.1 [\text{PS}]$$

Hasil :

$$\text{Error1} = 0.9 [\text{NS}] \rightarrow \text{Del Error1} = 0.9 [\text{Z}] = 0.9 [\text{PS}]$$

$$\text{Error1} = 0.9 [\text{NS}] \rightarrow \text{Del Error2} = 0.1 [\text{PS}] = 0.1 [\text{Z}]$$

$$\text{Error2} = 0.35 [\text{NB}] \rightarrow \text{Del Error1} = 0.9 [\text{Z}] = 0.35 [\text{PB}]$$

$$\text{Error2} = 0.35 [\text{NB}] \rightarrow \text{Del Error2} = 0.1 [\text{PS}] = 0.1 [\text{PS}]$$

5. Inferensi Min-Max saat sampel ke-390

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

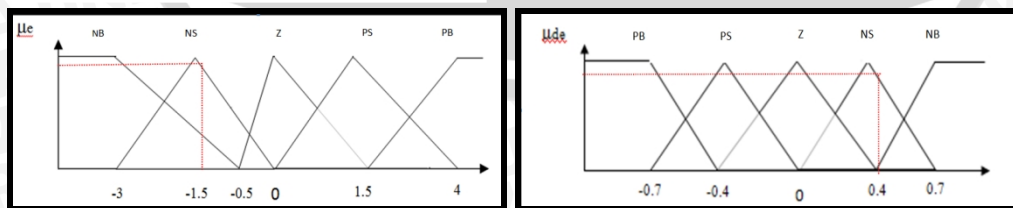
$$\begin{aligned}\text{Error}(389) &= \text{SP}(389) - \text{PV}(389) \\ &= 255.98 - 257.66 \\ &= -1.68\end{aligned}$$

$$\text{Delta Error}(t) = \text{Error}(t) - \text{Error}(t-1)$$

$$\begin{aligned}\text{Delta Error}(390) &= \text{Error}(390) - \text{Error}(389) \\ &= -1.27 - (-1.68) \\ &= 0.41\end{aligned}$$

$$\text{Error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t)$$

$$\begin{aligned}\text{Error}(390) &= \text{SP}(390) - \text{PV}(390) \\ &= 257.09 - 258.36 \\ &= -1.27\end{aligned}$$



Gambar 4.35 Inferensi Min-Max Saat Sampel ke-390

Nilai derajat keanggotaan Error:

Error = 0.96 [NS]

Error = 0.4[NB]

Nilai derajat keanggotaan DelError:

Delta Error = 0.95 [NS]

Delta Error = 0.1 [NB]

Hasil :

Error1=0.96[NS]->Del Error1=0.95[NS]=
0.95[PB]

Error1=0.96[NS]->Del Error2=0.1[NB]=
0.1[PB]

Error2=0.4[NB]->Del Error1=0.95[NS]=
0.4[PB]

Error2=0.4[NB]->Del Error2=0.1[NB]=
0.1[PB]

4.5.6 Defuzzikasi

Defuzzifikasi adalah proses untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi keluaran *crisp*. Hasil defuzzifikasi inilah yang digunakan untuk mengatur besarnya sudut yang dibentuk oleh *servo*. Metode defuzzikasi yang digunakan adalah COG (*Center of Gravity*).

Berdasarkan contoh hasil proses inferensi, maka keluaran *servo* didapatkan:

1. Defuzzifikasi untuk Inferensi Min-Max saat sampel ke 386

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \\
 &= \frac{0.1 \times NS + 0.7 \times Z + 0.3 \times PS}{0.1 + 0.7 + 0.3} \\
 &= \frac{0.1 \times (123) + 0.7 \times (128) + 0.3 \times (130)}{0.1 + 0.7 + 0.3} \\
 &= 128.1
 \end{aligned}$$

2. Defuzzifikasi untuk Inferensi Min-Max saat sampel ke 387

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \\
 &= \frac{0.735 \times NS + 0.535 \times Z}{0.735 + 0.535} \\
 &= \frac{0.735 \times (123) + 0.535 \times (128)}{0.735 + 0.535} \\
 &= 132.03
 \end{aligned}$$

3. Defuzzifikasi untuk Inferensi Min-Max saat sampel ke 388

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \\
 &= \frac{0.3 \times Z + 0.7 \times PS + 0.4 \times PB}{0.3 + 0.7 + 0.4} \\
 &= \frac{0.3 \times (128) + 0.7 \times (130) + 0.4 \times (140)}{0.3 + 0.7 + 0.4} \\
 &= 132.43
 \end{aligned}$$

4. Defuzzifikasi untuk Inferensi Min-Max saat sampel ke 389

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \\
 &= \frac{0.1 \times Z + 0.9 \times PS + 0.35 \times PB}{0.1 + 0.9 + 0.35} \\
 &= \frac{0.1 \times (128) + 0.9 \times (130) + 0.35 \times (140)}{0.1 + 0.9 + 0.35} \\
 &= 132.44
 \end{aligned}$$

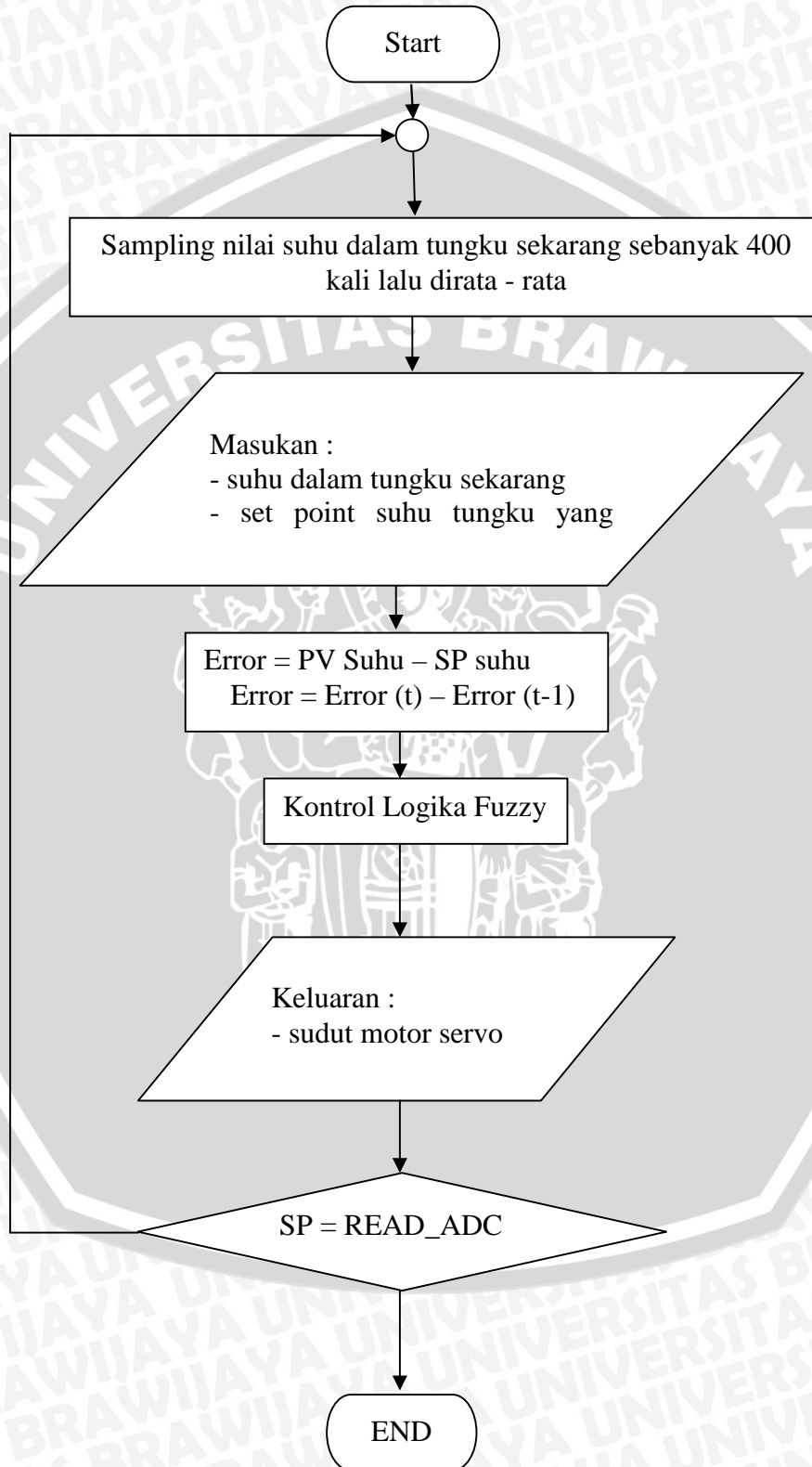
5. Defuzzifikasi untuk Inferensi Min-Max saat sampel ke 390

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \\
 &= \frac{0.95 \times PB}{0.95} \\
 &= \frac{0.95 \times (140)}{0.95} \\
 &= 140
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan defuzzifikasi di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem sudah mampu menjalankan logika *fuzzy*. Hasil defuzzifikasi bukan bilangan bulat karena perhitungan masih dilakukan manual. Saat di dalam program, keluaran yang diperintahkan kepada servo sudah bilangan bulat karena di dalam pemrograman hasil perhitungan defuzzifikasi sudah dibulatkan oleh integer.

4.6 Perancangan Perangkat Lunak

Flowchart perancangan perangkat lunak ditunjukkan dalam Gambar 4.36 berikut:



Gambar 4.36 Flowchart Program

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Setelah merancang tungku bakar dilakukan pengujian terhadap baik tiap-tiap blok sistem maupun keseluruhan sistem.

Pengujian dilakukan pada komponen-komponen melalui berbagai jenis cara dan pengukuran besaran tertentu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui alat bekerja sesuai harapan atau tidak.

Selain hal itu pada bab ini juga akan dijelaskan kesimpulan-kesimpulan yang dibuat berdasarkan analisis data mengenai sistem kerja alat. Pengujian dan analisis yang dilakukan meliputi :

1. Pengujian Sensor Suhu (PT100)
2. Pengujian Sinyal Kontrol Motor Servo
3. Pengujian Kenaikan Suhu terhadap Pembukaan *Valve Burner*
4. Pengujian Karakteristik Kenaikan Suhu dalam Tungku Bakar
5. Pengujian Sistem secara Keseluruhan

5.1 Pengujian Sensor Suhu (PT100)

Pengujian sensor suhu dilakukan untuk mengetahui apakah sensor suhu yang dipakai dapat bekerja dengan baik atau tidak, untuk itu perlu melakukan beberapa kali pengukuran.

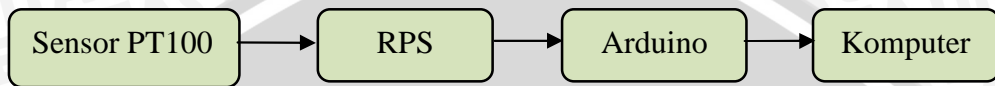
5.1.1 Peralatan yang digunakan

1. Catu daya 5 V DC (untuk catu pada Jembatan Wheatstone).
2. Catu daya 12 V DC (untuk catu pada AD620)
3. Rangkaian sensor suhu.
4. Komputer.
5. Program dan software arduino.

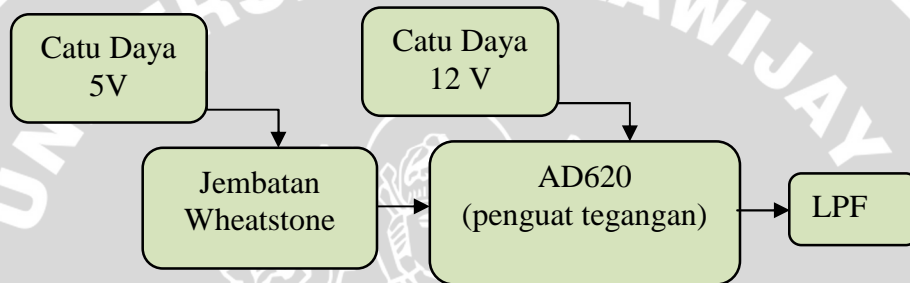
5.1.2 Prosedur Pengujian

1. Merangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.1.
2. Program pembacaan suhu dimasukkan ke dalam 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.



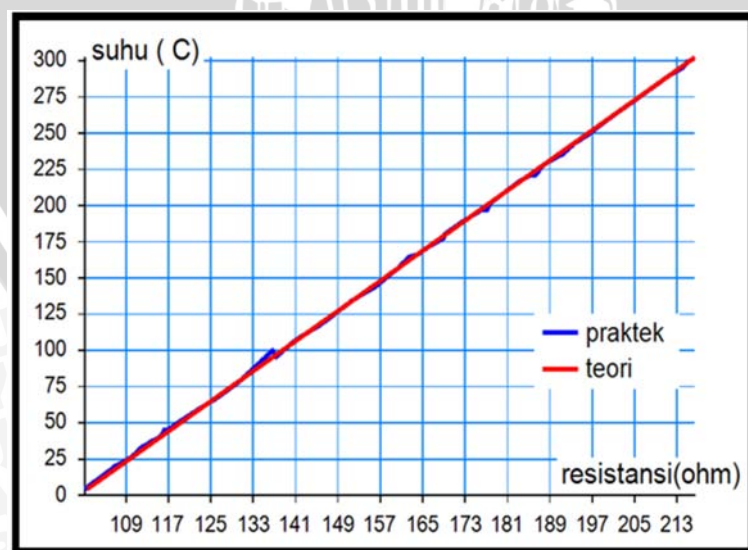
Dimana RPS terdiri dari:



Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor Suhu PT10

5.1.3 Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan data hasil pengujian yang ditampilkan pada Gambar 5.2. Data untuk Gambar 5.2 dapat dilihat pada Tabel 5.1 yang ada pada lampiran.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Nilai Pembacaan Suhu Secara Praktek dan Teori

Dalam menguji nilai resistansi yang dikeluarkan sensor PT100, dilakukan uji-t untuk mengetahui apakah resistansi yang dikeluarkan PT100 sesuai dengan datasheet. Data untuk uji-t didapat dari pengujian sebanyak 8 kali pada setiap kelipatan suhu 10°C. Data tersebut kemudian diolah pada sebuah pengujian yang disebut uji-t. Data hasil pengukuran resistansi tiap kenaikan suhu 10°C dapat dilihat dalam lampiran Tabel 5.2.

Setelah melakukan pengukuran resistansi sebanyak 8 kali, dilakukan uji t dengan rumus sebagai berikut:

1. Membuat hipotesis yaitu:

H_0 = dapat diterima, hasil pengujian = data sheet

H_1 = 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 :

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

Dengan:

= 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

A. Perhitungan uji-t saat suhu 10°C sebagai berikut:

1. Menghitung rata-rata.

$$\frac{102.3 \quad 101.15 \quad 101 \quad 100.93 \quad 100.72 \quad 101.15 \quad 101.3 \quad 101.42 \quad 101.34 \quad 101.42}{10} = 105.084$$

2. Menghitung standart deviasi

=STDEV[data(n), data (n+1)], digunakan dalam Ms. Excel. Sehingga didapat nilai standart deviasi sebesar 0.595001401

3. Mencari nilai T-hitung dengan rumus :

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

$$t = \frac{(105.084 - 105.07)}{0.595001401 / (\sqrt{10})}$$

$$t = 0.074406358$$

4. Mencari nilai T-tabel

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

B. Perhitungan uji-t saat suhu 100°C sebagai berikut:

1. Menghitung rata-rata.

$$\frac{140.89 \quad 140 \quad 141 \quad 140.89 \quad 140.77 \quad 140.22 \quad 139.34 \quad 139.67 \quad 138.69 \quad 140}{10}$$

$$= 140.47$$

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 :

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

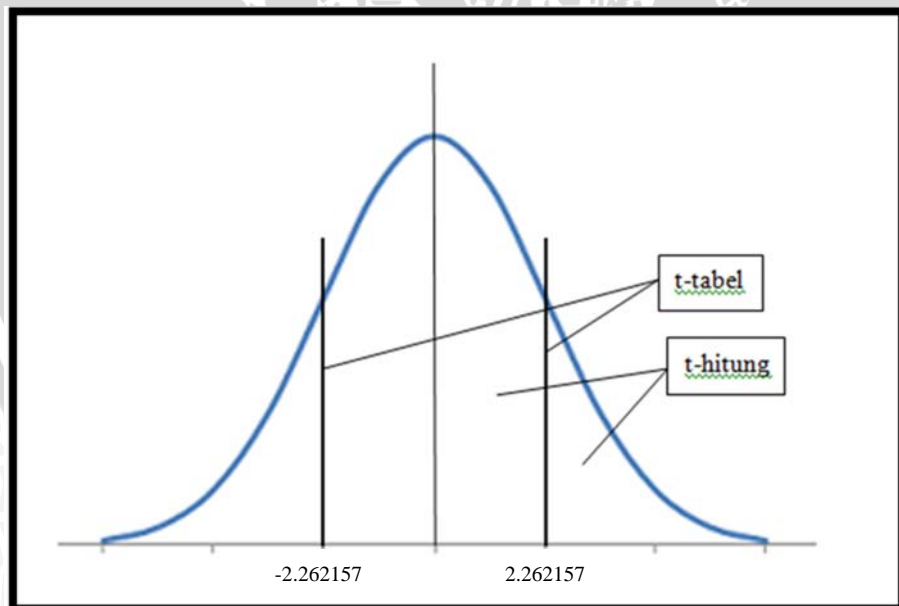
$$t = \frac{(140.47-139.64)}{0.765216745/(\sqrt{10})}$$

$$t = 2.095190395$$

4. Mencari nilai T-tabel

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

Untuk mengetahui apakah nilai resistansi sesuai dengan datasheet, dapat dilihat pada tabel nilai t hitung. Jika nilai t hitung t tabel (dari sumbu x positif – sumbu x negatif) maka dapat dikatakan pembacaan dari resistansi diterima sesuai dengan hipotesis H_0 .



Gambar 5.3 Grafik untuk Menarik Kesimpulan pada Uji-t

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

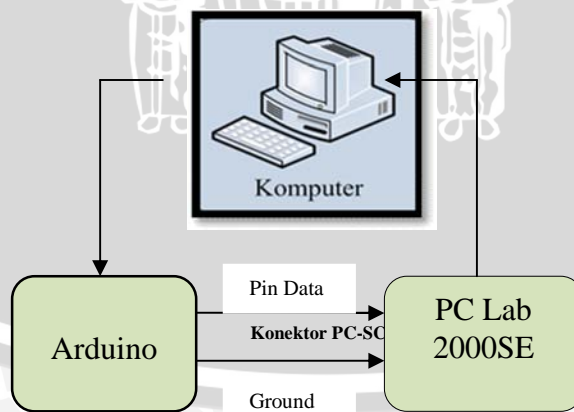
Pengujian sinyal PWM motor servo ini bertujuan untuk melihat bagaimana bentuk sinyal saat berada pada posisi sudut yang telah ditentukan untuk memutar *valve burner*.

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

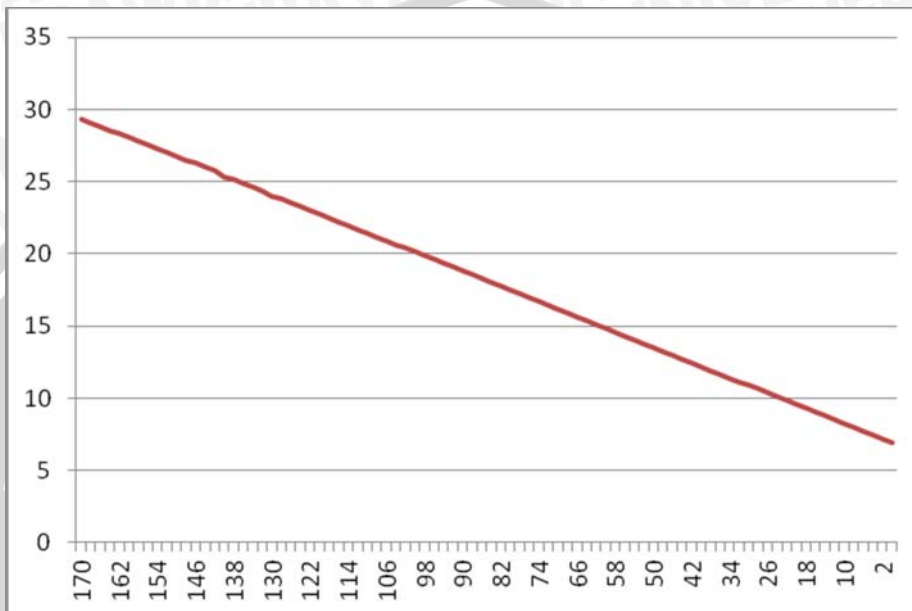
1. Merangkai peralatan seperti gambar 5.4.
2. Unduh program pengatur sudut servo dengan sudut 0,2,4,6,8, dan seterusnya sampai 170 derajat pada software arduino ERW 1.0.5.
3. Jalankan software PC Lab 2000SE.
4. Pilih mode osiloskop lalu pilih *Run* untuk menjalankan osiloskop.
5. Amati sinyal kontrol dan parameter motor servo pada osiloskop.



Gambar 5.4 Rangkaian Pengujian Sinyal Kontrol Servo

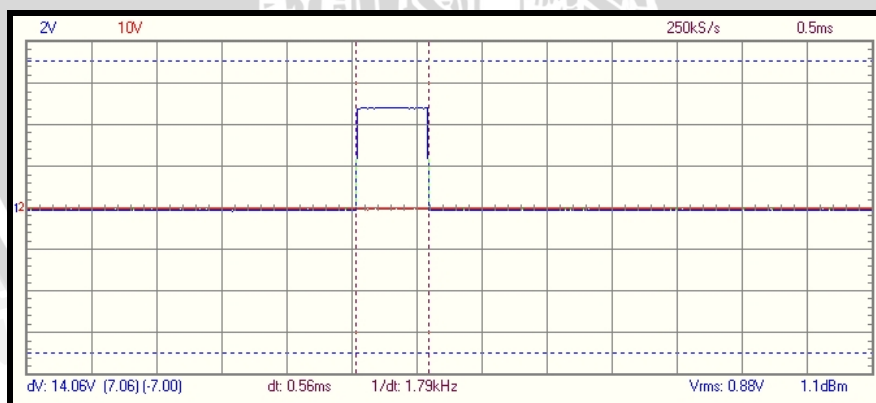
5.2.3 Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil sinyal dan tampilan parameter. Parameter yang dihasilkan adalah *duty cycle* dan PWM yang dapat dilihat dalam Gambar 5.5. Data untuk Gambar 5.5 dapat dilihat dalam lampiran Tabel 5.4



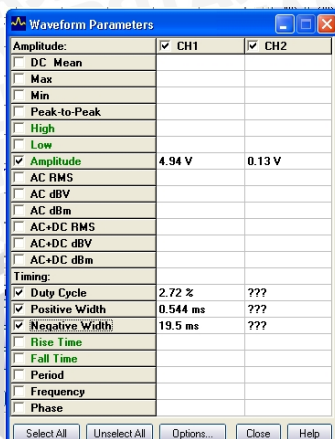
Gambar 5.5 Grafik PWM terhadap Sudut

Tampilan PClab saat sudut 0° ditunjukkan dalam gambar 5.6.



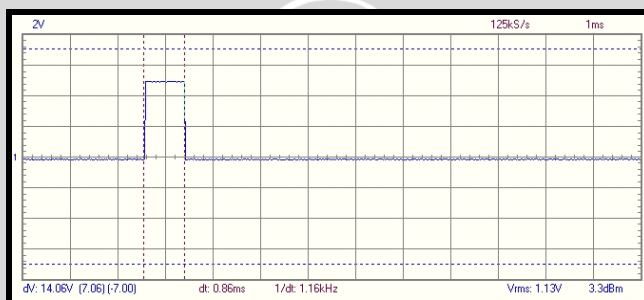
Gambar 5.6 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 0°

Tampilan parameter sudut 0° ditunjukkan dalam gambar 5.7.



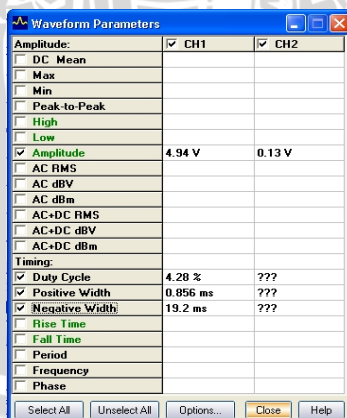
Gambar 5.7 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 0°

Sinyal motor servo pada sudut 30° ditunjukkan dalam gambar 5.8.



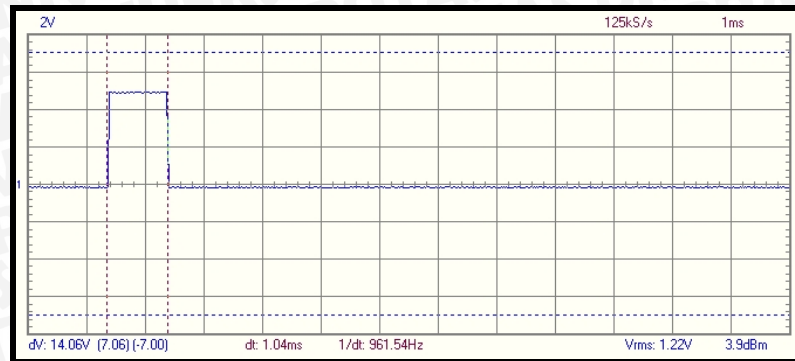
Gambar 5.8 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 30°

Tampilan parameter pada sudut 30 ditunjukkan dalam gambar 5.9.



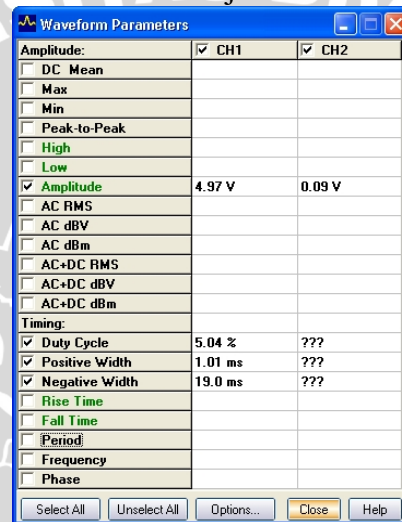
Gambar 5.9 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 30°

Sinyal motor servo pada sudut 45° ditunjukkan dalam gambar 5.10.



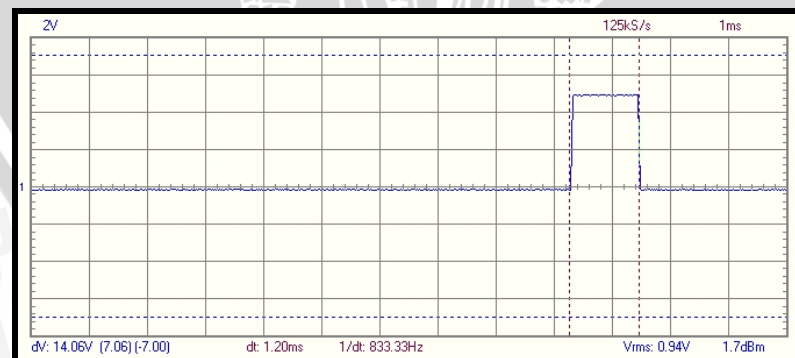
Gambar 5.10 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 45°

Tampilan parameter pada sudut 45 ditunjukkan dalam gambar 5.11.



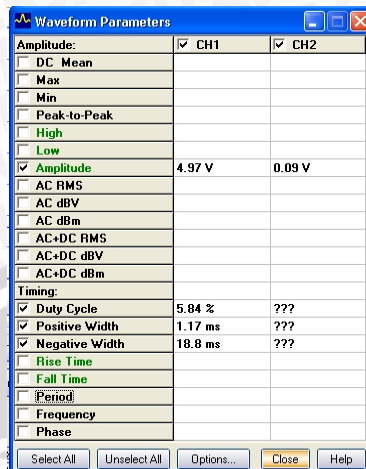
Gambar 5.11 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 45°

Sinyal motor servo pada sudut 60° ditunjukkan pada gambar 5.12.



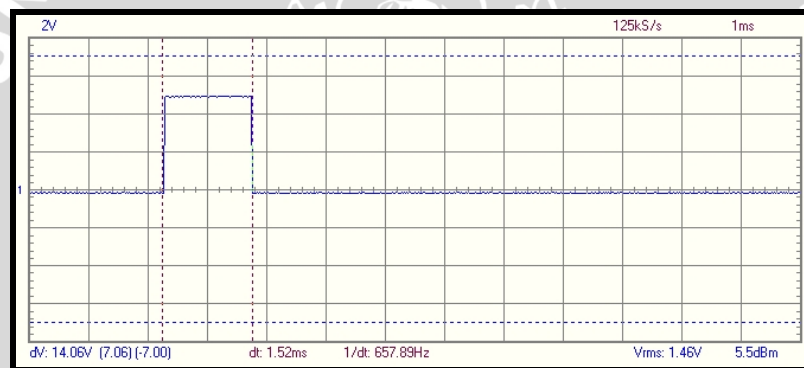
Gambar 5.12 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 60°

Tampilan parameter pada sudut 60 ditunjukkan dalam gambar 5.13.



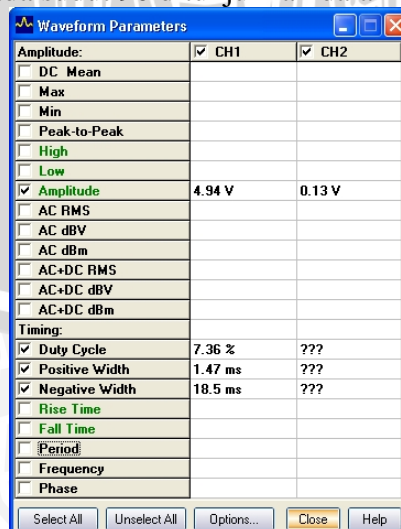
Gambar 5.13 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 60°

Sinyal motor servo pada sudut 90° ditunjukkan dalam gambar 5.14.



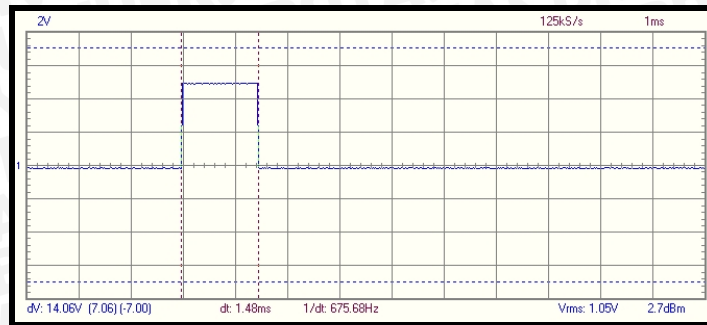
Gambar 5.14 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 90°

Tampilan parameter pada sudut 90 ditunjukkan dalam gambar 5.15.



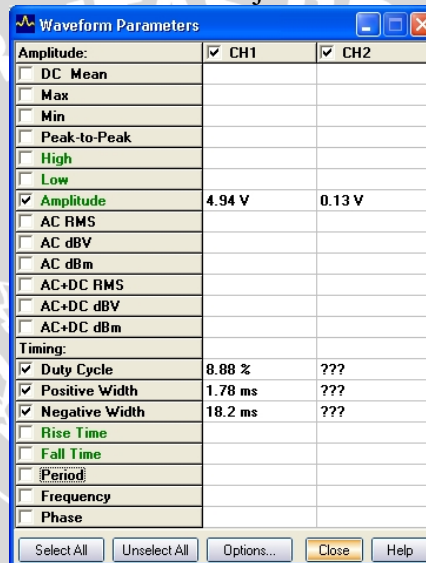
Gambar 5.15 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 90°

Sinyal motor servo pada sudut 120° ditunjukkan pada gambar 5.16



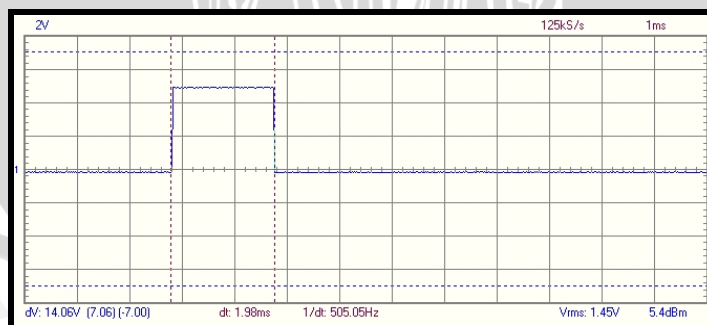
Gambar 5.16 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 120°

Tampilan parameter pada sudut 120 ditunjukkan dalam gambar 5.17.



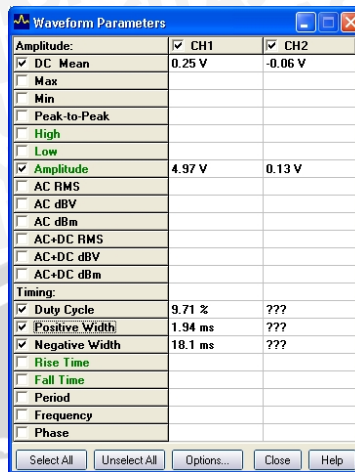
Gambar 5.17 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 120°

Sinyal motor servo pada sudut 135° ditunjukkan dalam gambar 5.18.



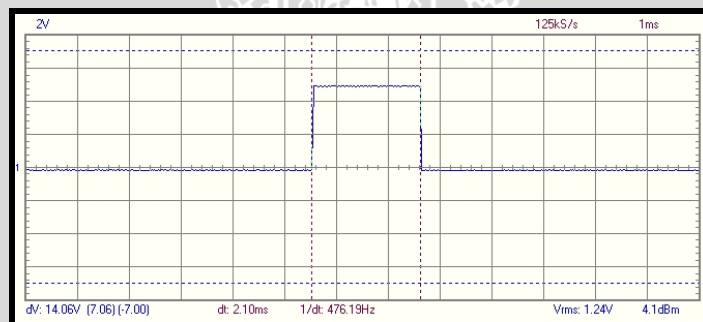
Gambar 5.18 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 135°

Tampilan parameter pada sudut 135 ditunjukkan dalam gambar 5.19.



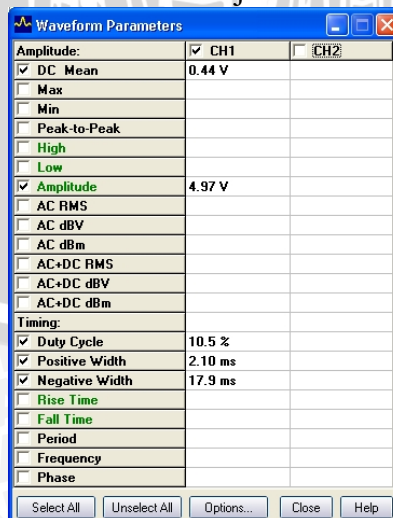
Gambar 5.19 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 135°

Sinyal motor servo pada sudut 150° ditunjukkan dalam gambar 5.20.



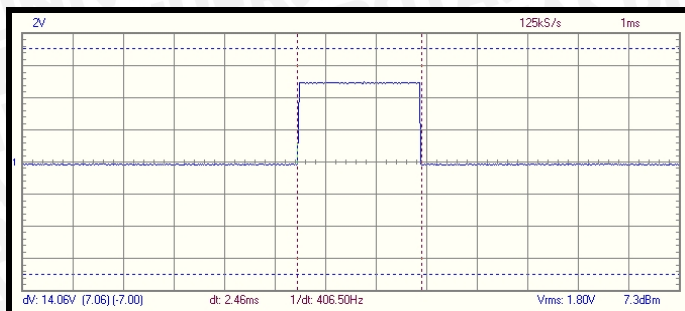
Gambar 5.20 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 150°

Tampilan parameter pada sudut 150 ditunjukkan dalam gambar 5.21.



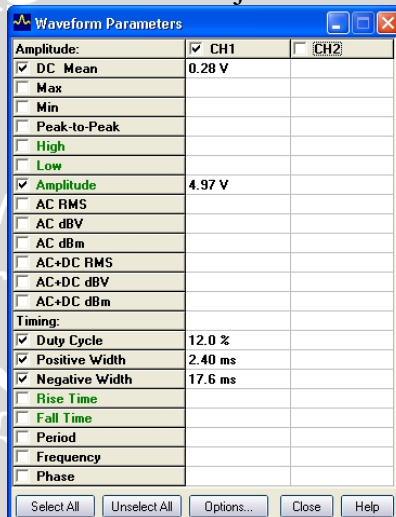
Gambar 5.21 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 150°

Sinyal motor servo pada sudut 180° ditunjukkan dalam gambar 5.22.



Gambar 5.22 Sinyal Kontrol Servo pada Sudut 180°

Tampilan parameter pada sudut 180 ditunjukkan dalam gambar 5.23.



Gambar 5.23 Parameter Sinyal Kontrol Motor Servo pada Sudut 180°

5.3 Pengujian Kenaikan Suhu terhadap Pembukaan *Valve Burner*

a. Tujuan

Untuk mengetahui besar kenaikan suhu maksimal yang dapat dicapai pada sudut tertentu.

5.3.1 Peralatan yang digunakan

- Modul Arduino.
- Rangkaian Pengkondisi Sinyal (RPS).
- Motor DC servo.
- RTD PT100.
- Tungku Bakar.
- PC Lab 2000SE.

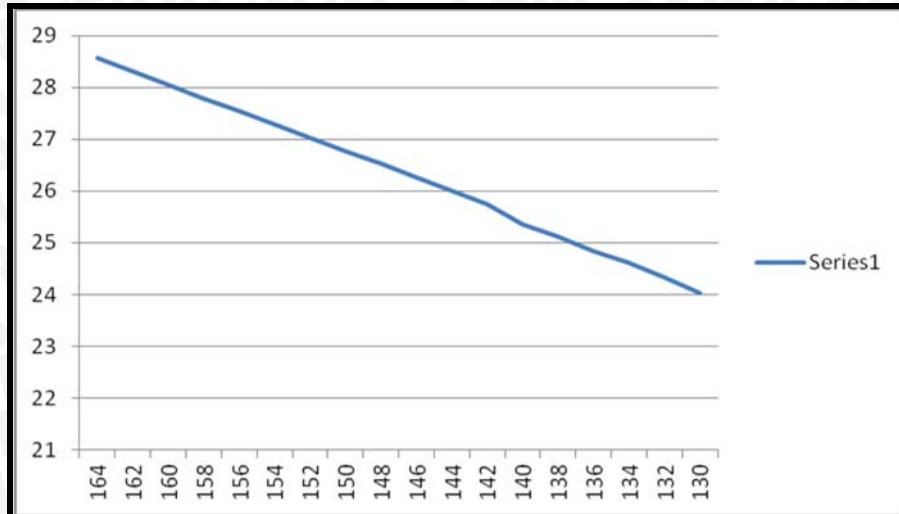
5.3.2 Prosedur pengujian

1. Membuka *valve burner* yang dikopel dengan motor DC *servo* sebesar 163° (163° adalah sudut terkecil agar api bisa menyala).
2. Mengukur PWM untuk servo dengan PC Lab 2000SE.
3. Mencatat besar PWM yang tampil pada PC Lab 2000SE.
4. Mencatat besar nilai suhu tertinggi di dalam tungku yang ditampilkan LCD.
5. Menambah besar sudut *servo* sebesar 2° , bila suhu didalam tungku tidak mengalami kenaikan suhu.
6. Mengulangi langkah 2-4, sampai suhu mencapai 300°C .

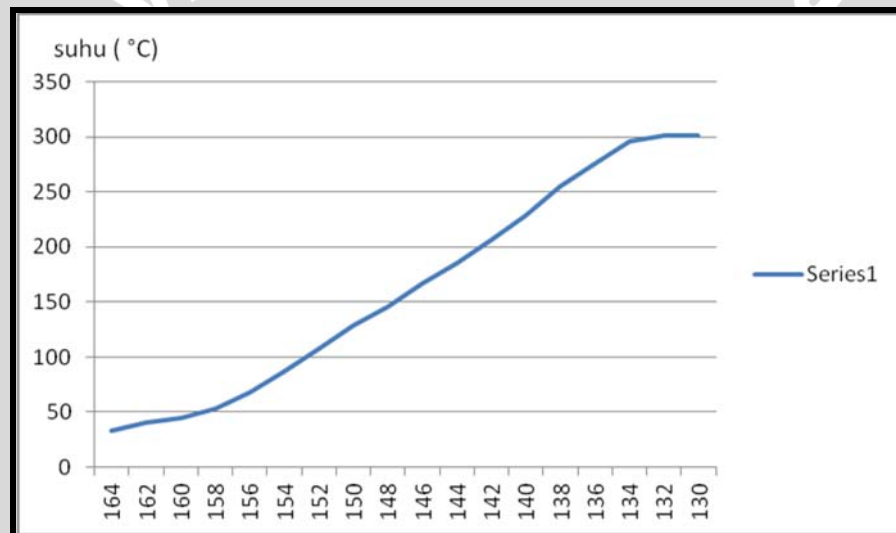
5.3.3 Hasil pengujian

Pengujian ini menggunakan sudut servo antara 130° - 164° , dengan sudut 130° untuk api besar dan sudut 164° untuk api terkecil. Grafik sudut terhadap PWM dapat dilihat dalam Gambar 5.24, untuk data Gambar 5.24 dapat dilihat dalam lampiran Tabel 5.4.

Hasil pengujian kenaikan suhu terhadap pembukaan *valve Burner* dapat dilihat dalam Gambar 5.25, untuk data Gambar 5.25 dapat dilihat dalam lampiran Tabel 5.5.



Gambar 5.24 Grafik Sudut terhadap PWM



Gambar 5.25 Grafik Sudut terhadap Suhu

Sudut yang digunakan untuk api terkecil adalah 164° karena servo bergerak berlawanan arah jarum jam untuk memutar *valve burner*. Api semakin besar saat menuju 0° , namun dalam pemrograman sudut yang diperlukan untuk mencapai suhu 300°C sebesar 130° .

5.4 Pengujian Karakteristik Tungku

a. Tujuan

Untuk mengetahui karakteristik kenaikan suhu didalam tungku bakar.

5.4.1 Peralatan yang digunakan

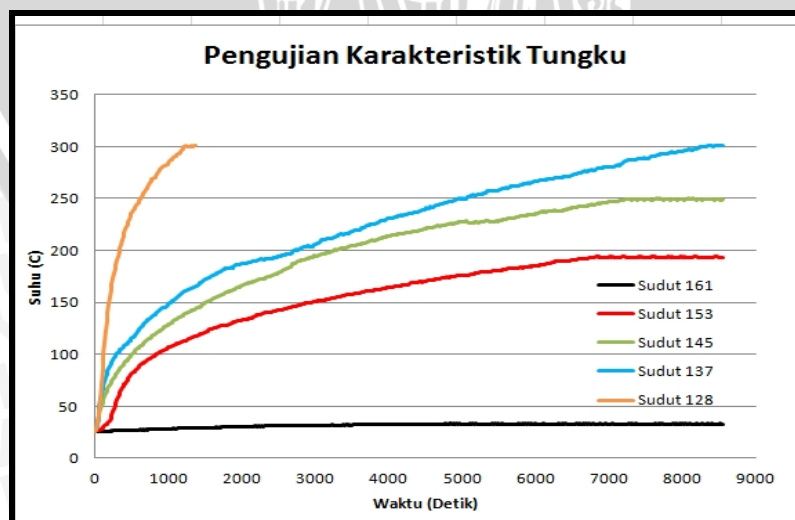
- Modul Arduino.
- Rangkaian Pengkondisi Sinyal (RPS).
- Motor DC servo.
- RTD PT100.
- Tungku Bakar.

5.4.2 Prosedur pengujian

1. Membuka valve *burner* yang dikopel dengan motor DC *servo* pada sudut 161° , 153° , 145° , 137° , dan 128° .
2. Sudut servo dirubah saat suhu dianggap tidak mengalami kenaikan .
3. Saat sudut servo dirubah suhu di dalam tungku sudah dikembalikan pada suhu kamar.
4. Mencatat besar suhu yang ditampilkan dalam serial monitor arduino.

5.4.3 Hasil pengujian

Dari pengujian karakteristik tungku tersebut , didapatkan grafik kenaikan suhu pada sudut 161° , 153° , 145° , 137° , dan 128° . Hasil tersebut digunakan sebagai acuan dalam penentuan sudut output defuzzifikasi. Grafik karakteristik kenaikan suhu dalam tungku bakar dapat dilihat dalam Gambar 5.26. Data dari Gambar 5.26 dapat dilihat dalam lampitan table 5.6.



Gambar 5.26 Grafik Karakteristik Kenaikan Suhu dalam Tungku Bakar

5.5 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

a. Tujuan

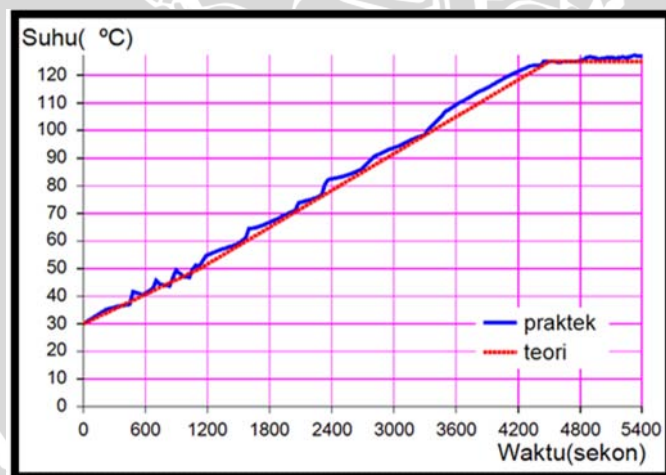
Untuk mengetahui kerja dari perangkat keras dan perangkat lunak setelah diintegrasikan dalam sebuah sistem terpadu

5.4.1 Peralatan yang digunakan

- Modul Arduino.
- Rangkaian Pengkondisi Sinyal (RPS).
- Motor DC servo.
- RTD PT100.
- Tungku Bakar.

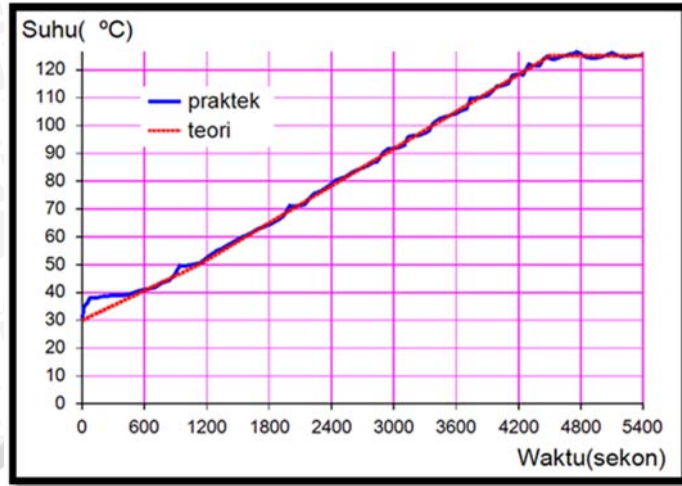
5.4.2 Hasil pengujian

Data dari hasil pengujian secara keseluruhan ditampilkan dalam serial monitor dan LCD yang terpasang pada kotak. Data tersebut dicatat dan diolah pada Microsoft Excel, agar terlihat grafik kenaikan suhu di dalam tungku bakar. Grafik tersebut dapat dilihat di dalam Gambar 5.27. Data untuk Gambar 5.27 dapat dilihat dalam lampiran Tabel 5.7.



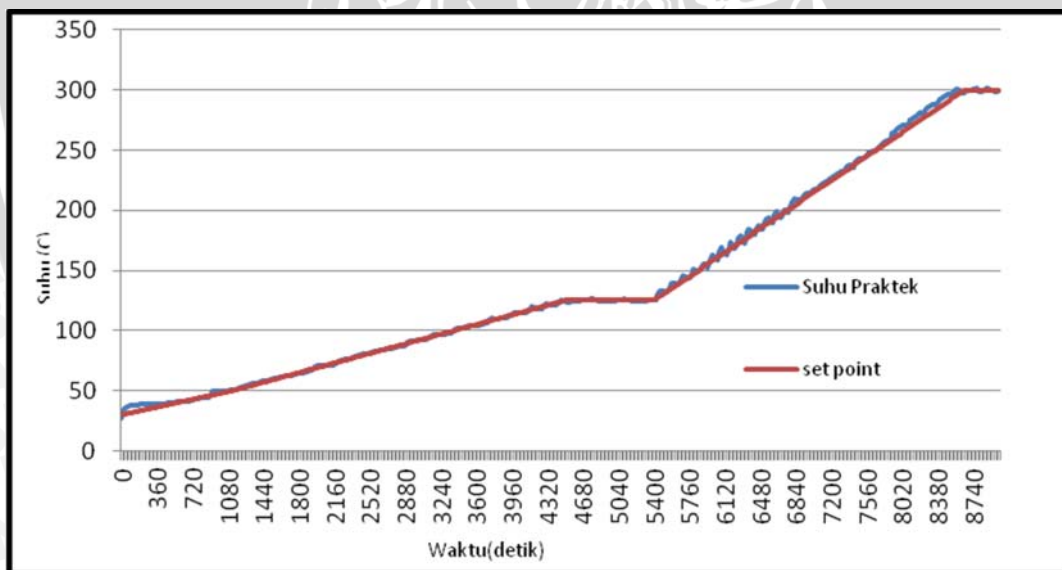
Gambar 5.27 Grafik Pengujian Kenaikan Suhu terhadap Waktu Menggunakan Pemrogram Fuzzy Pertama.

Bedasarkan Gambar 5.27, terlihat bahwa pemrograman Fuzzy yang pertama tidak mampu mengikuti Set Point yang ingin dicapai karena nilai error keseluruhan terlalu besar, yaitu sebesar 7.13%. Nilai error tersebut melebihi batas toleransi yang ingin dicapai, yaitu sebesar 5%.



Gambar 5.28 Grafik Pengujian Kenaikan Suhu terhadap Waktu Menggunakan Pemrogram Fuzzy Kedua.

Berdasarkan Gambar 5.28, terlihat bahwa pemrograman Fuzzy yang kedua mampu mengikuti Set Point yang ingin dicapai karena nilai error keseluruhan sebesar 1.147579 %. Nilai error tersebut tidak melebihi batas toleransi yang ingin dicapai, yaitu sebesar 5%.



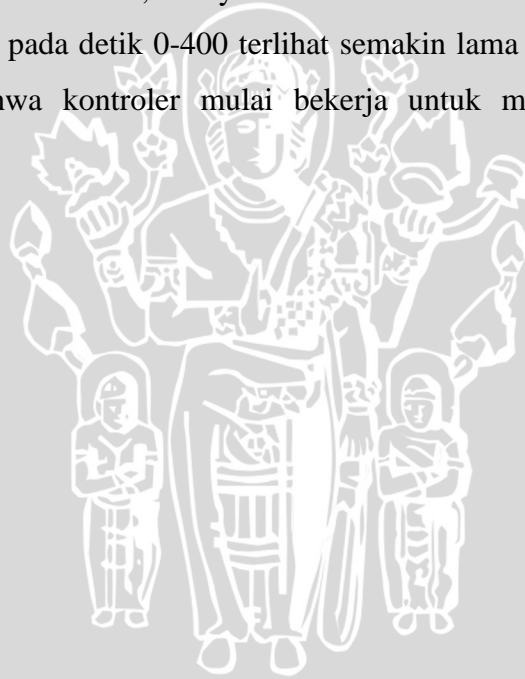
Gambar 5.29 Grafik Kenaikan Suhu terhadap Waktu

Keterangan :

- Biru : Grafik yang didapat dari hasil praktek.
- Merah : Grafik yang ingin dicapai.

Berdasarkan Gambar 5.29, nilai error terbesar terjadi pada detik 0-400. Nilai error pada detik 0-400 berkisar antara 5.2% - 21.6%, dimana nilai errornya semakin lama semakin kecil. Penyebab dari nilai error yang melebihi 5% pada detik awal adalah karena pada detik 0-16 kontroler masih belum bekerja, karena kontroler masih mengumpulkan data pembacaan suhu (*sampling* nilai suhu) sebanyak 400 kali.

Saat proses *sampling*, maka nilai suhu awal pemicuan masih bernilai 0°C. Hal ini yang menyebabkan kontroler *Fuzzy* harus memerintahkan *servo* untuk membuka penuh *valve burner*. Pembukaan *valve burner* penuh menyebabkan nilai suhu melebihi nilai set point, dan mempengaruhi pembacaan nilai suhu yang selanjutnya. Nilai suhu yang terlalu besar saat awal pemicuan dan karakteristik tungku yang menjaga nilai suhu, menyebabkan nilai suhu turun dengan waktu yang lama. Nilai error pada detik 0-400 terlihat semakin lama semakin kecil, hal ini membuktikan bahwa kontroler mulai bekerja untuk menyesuaikan suhu dengan *set point*.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dirancang sistem pengontrolan suhu pada tungku bakar menggunakan kontrol logika *fuzzy* dengan skala perbandingan suhu dan waktu 1:4 dari tungku yang sebenarnya. Hasil pengujian seluruh sistem menggunakan kontroler logika *fuzzy* dengan metode pada fuzzifikasi adalah metode min-max sedangkan pada defuzzifikasi menggunakan metode *center of gravity* (COG), menggunakan 5 *membership function* pada error dan delta error. Input *fuzzy* berupa nilai suhu sebagai error dan selisih dari nilai error suhu sekarang dan sebelumnya sebagai delta error. Jumlah *rule* yang dipergunakan berjumlah 25 macam *rule*.

Error secara keseluruhan sistem = 1.147579 % . Hasil ini menunjukkan bahwa dengan kontroler logika *fuzzy* dapat mengontrol kenaikan suhu yang ada di dalam tungku bakar.

6.2 Saran

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

1. Untuk memberi pengontrolan pada katup cerobong, sehingga pengontrolan suhu di dalam tungku bakar lebih maksimal.
2. Dilakukan metode pengontrolan selain kontroler logika *fuzzy*.

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*.
- Kuswadi, S. 2000. *Kendali Cerdas*. Yogyakarta : ANDI.
- 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.
- Hartono, Antom J. 2006. *Mengenal Keramik modern*. Malang: Andi Offset Yogyakarta
- Setiabudi D.P, Natas. 2006. *Belajar Sendiri Membuat Keramik*. Malang: Bejana.
- Yan, J. 1994. *Using Fuzzy Logic*. London: Prentice Hall
- Coughanowr. 1991. *Process System Analysis And Control Second Edition*. Mc Graw-Hill International Edition.
- Sivanandam. 2006. *Introduction to Fuzzy Logic Using Matlab*. India: Springer.