

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 *Furnace* (Tungku Pembakaran)

Furnace atau tungku pembakaran merupakan sebuah alat yang digunakan sebagai pemanas logam atau material, yang berfungsi sebagai pengubah bentuk atau sifat suatu logam atau bahan yang disebabkan oleh perlakuan panas. Pada era ini terdapat berbagai jenis *furnace* yang terbagi menurut bentuk, mekanisme perpindahan panas dan juga penggunaan bahan bakarnya (Jenkin, 2008). Menurut penggunaan bahan bakarnya, *furnace* terbagi menjadi empat kelompok, yaitu *furnace* dengan menggunakan bahan bakar batu bara, pelumas/minyak, gas, listrik dan juga bahan kimia (R. C. Gupta, 2016).

Electric furnace adalah tungku pelebur berbahan bakar listrik, yang berfungsi sebagai pemanas, pelebur, serta perubah bentuk logam dengan menggunakan elemen pemanas atau *heater* sebagai pembangkit energi panasnya (Suprastiyo, 2016). *Electric furnace* pertama kali dipatenkan di Italia pada tahun 1898 (L. H. Dushack, 2004). hingga saat ini *electric furnace* mengalami perkembangan dengan sangat pesat, mulai dari komponen penyusun hingga material pembantu proses peleburan (Jenkin, 2008).

Electric furnace berkembang sangat pesat setiap tahunnya, mulai dari *design furnace*, teknik perlakuan panas, dan juga komponen penyusunnya (Toulouevski, 2010). *Electric furnace* terbentuk dari beberapa komponen penyusun seperti isolasi thermal, koil pemanas khantal, termokopel dan juga termokontrol (Akhileshwar Nirala, 2020). Prinsip kerja *electric furnace* yakni

mengubah energi listrik menjadi panas dengan mengatur tegangan dan arus yang diberikan oleh sumber ke kawat pemanas, yang nantinya kawat pemanas akan mengubah arus dan tegangan yang diberikan oleh sumber menjadi energi panas.. Perubahan energi listrik menjadi energi panas dapat dijelaskan dengan menggunakan rumus perhitungan daya (power) listrik dan hubungannya dengan energi panas yang dihasilkan serta hubungannya dengan suhu. Rumus untuk daya (power) listrik adalah:

$$P = V \cdot I$$

Dimana:

P = daya listrik (W),

V = tegangan listrik (V), dan

I = arus listrik (A).

Energi panas yang dihasilkan oleh aliran listrik dapat dihitung menggunakan rumus:

(2.1)

$$W = P \times t$$

$$W = I^2 R t, W = V^2 t / R \text{ Atau } W = V I t$$

Dimana:

W = Energi (joule) I = Arus (A)

V = Tegangan (V) t = Waktu (t)

R = Hambatan (Ω)

Energi panas yang dihasilkan oleh aliran listrik dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Q = W = P \times t$$

$$W = I^2 R t, W = V^2 t / R \text{ Atau } W = V I t \quad (2.2)$$

Dimana:

$W/Q = \text{Energi (joule)}$ $I = \text{Arus (A)}$

$V = \text{Tegangan (V)}$ $t = \text{Waktu (t)}$

$R = \text{Hambatan } (\Omega)$ $P = \text{Daya (watt)}$

Jadi, jika furnace mengonsumsi daya sebesar P (watt) selama t (detik), maka energi panas yang dihasilkan oleh alat tersebut dapat dihitung dengan rumus di atas. Ketika energi panas dihasilkan, ia akan meningkatkan suhu benda atau sistem yang memanaskan. Hubungan antara energi panas (Q), massa (m), dan perubahan suhu (ΔT) pada benda atau sistem dapat dijelaskan menggunakan rumus kapasitas panas benda atau sistem:

$$W = Q$$

$$Q = mc\Delta T$$

Dimana:

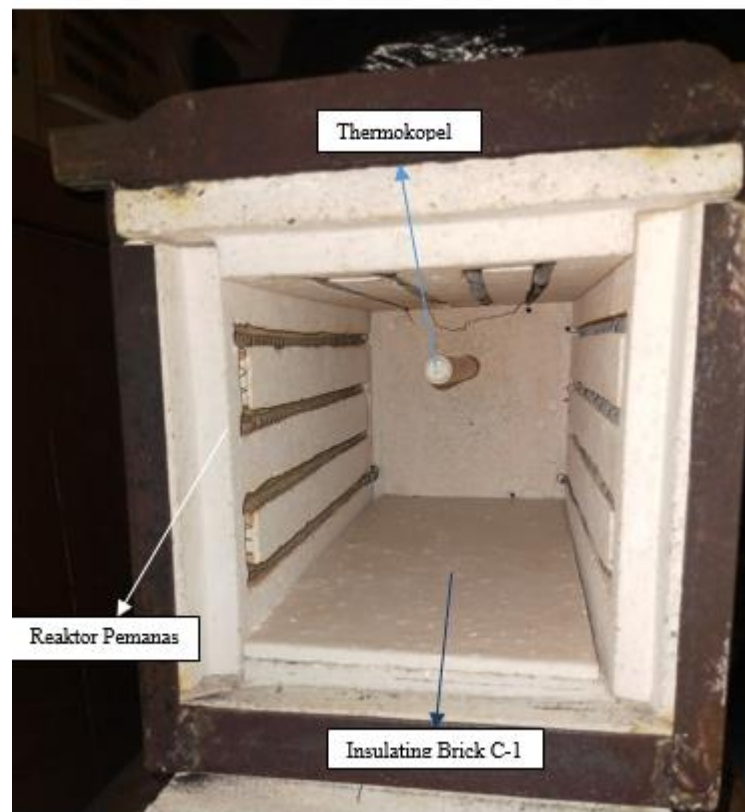
(2.3)

$Q = \text{Kalor (J) atau (kal)}$ $m = \text{Massa Benda}$

$c = \text{kalor jenis benda}$ $\Delta T = \text{Perubahan Suhu (K)}$

$t = \text{waktu (s)}$

Energi panas ini yang nantinya akan dibaca oleh thermokopel. Kemudian thermokopel akan memberikan sebuah data ke thermokontrol, yang nantinya thermokontrol akan mengolah data yang diberikan thermokopel untuk mengatur suhu tungku pemanas. Komponen yang digunakan pada tungku pembakaran (*furnace*) berupa batu insulating tahan panas yaitu brick c-1 dan kawat Ni-Cr sebagai reaktor pemanas.



Gambar 2. 1 Tungku Pembakaran

2.2 Muffle Furnace

Tungku pembakaran ini dapat digunakan untuk perawatan, annealing, karburasi kemas, dan untuk pengerasan baja paduan rendah. *Muffle furnace* biasanya terdiri dari ruang tungku yang berbentuk persegi panjang. Yang mana pengisian dan pemakaian dilakukan melalui pintu berengsel, pada furnace ini tungku ruangan terbuat dari alumina tahan api dengan alur untuk mendukung elemen pemanas. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan kawat resistan yang dibuat dalam bentuk kumparan dan ditempatkan didalam alur tahan api. Suhu ruang pemanas dimonitor oleh termokopel, yang kemudian di kontrol oleh termokontrol yang terhubung dengan termokopel. Biasanya termokopel terhubung melalui dinding belakang ruang pada *furnace*. Jenis tungku ini digunakan untuk

perawatan dari komponen kecil hingga komponen menengah. Pada *furnace* ini selubung luar atau sampul pada *furnace* ini terbuat dari lembaran baja ringan. *Casing* baja membungkus ruang tahan api yang dapat menahan suhu yang diinginkan dan juga suhu dari bata isolasi. Pada *furnace* jenis ini menggunakan refraktori yang sesuai untuk menahan panas dari ruang pemanas. Lapisan terdalam pada *furnace* jenis ini memiliki alur khusus untuk menginduksi kawat kumparan yang menempel pada alur tersebut. Pemanasan dilakukan melalui pemanas resistansi tipe kumparan, yang dirancang dan dipasang dengan tepat didalam alur tahan api, yang kemudian dihubungkan ke peralatan kontrol pada *furnace*. Komponen yang digunakan pada electric muffle furnace berupa kawat reaktor Ni-Cr, Batu insulating Brick c-1 sebagai insulator panas, Plat besi sebagai Casing luar pada batu insulator, Thermokontrol sebagai pengatur suhu, MCB sebagai proteksi, catu daya, thermokopel sebagai alat monitoring suhu (Prabhudev, 1988)



Gambar 2. 2 Electric Muffle Furnace

Sumber : (Nobetherm, 2021)

2.3 Temperatur

Temperatur Merupakan suatu besaran dalam ilmu fisika yang secara mikroskopik dapat dikatakan sebagai amplitudo energi gerak atom atau molekul. Energi ini biasa disebut dengan energi panas yang disebabkan karena adanya

interaksi atom atau molekul (Soekirno, 2009). Temperatur atau suhu adalah fenomena fisika dari suatu sistem yang merupakan dasar dari anggapan lazim “panas” dan “dingin” dari suatu objek atau benda, yakni sesuatu yang lebih panas mempunyai suhu yang lebih tinggi. Suhu datang dari gerakan-gerakan mikroskopik, dan berkaitan dengan tenaga gerakan-gerakan mikroskopik. (Martina, 2017). Furnace memiliki tingkat derajat suhu yang tinggi, dalam pengerasan benda kerja yaitu sekitar 1155°C. Dengan karakteristik yang demikian, bila furnace digunakan dalam jangka waktu yang lama, maka kestabilan dari suhu tersebut harus selalu dijaga. Idealnya furnace harus memanaskan bahan secukupnya sampai mencapai suhu yang maksimum. Kunci dari operasi furnace yang efisien terletak pada pemanasan bahan bakar yang sempurna dengan udara berlebih yang minim. (Najamurrokhman, 2018)

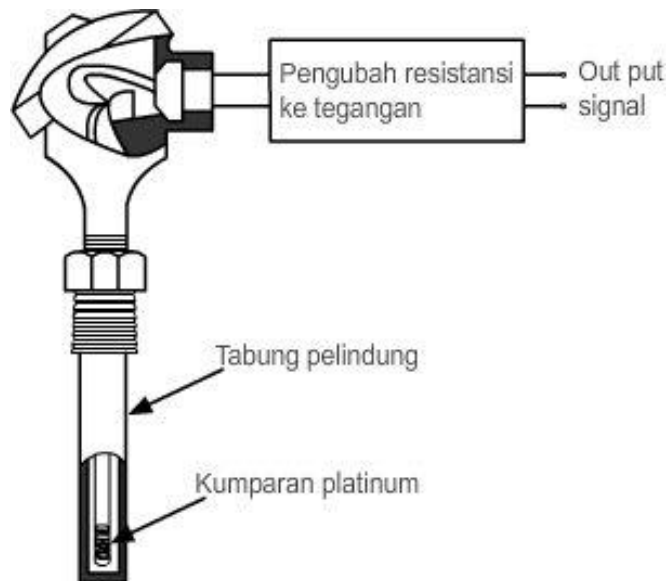
2.3.1 Pengukuran Temperatur

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran suhu pada temperatur tinggi. Pengukuran temperatur tinggi dapat dilakukan dengan beberapa tipe temperatur yakni termometer optis dan termometer hambatan.

a) Termometer Hambatan

Termometer hambatan merupakan termometer yang paling tepat digunakan dalam industri untuk mengukur suhu di atas 1000°C. Termometer ini dibuat berdasarkan perubahan hambatan logam, contohnya termometer hambatan platina. Dalam termometer hambatan terdapat kawat penghambat yang disentuh ke benda yang akan diukur suhunya, misalnya pada pengolahan besi dan baja. Suatu tegangan atau

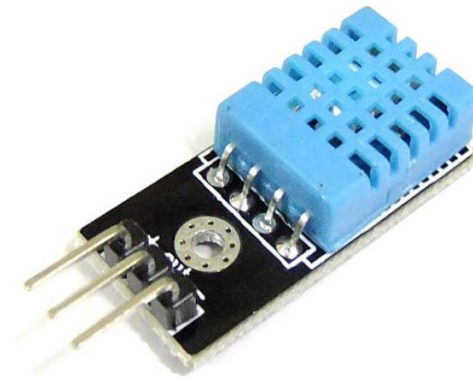
potensial listrik yang bernilai tetap diberikan sepanjang termistor, yaitu sensor yang terbuat dari logam dengan hambatan yang bertambah jika dipanaskan. Contoh thermometer hambatan adalah thermokopel, sensor suhu RTD (*Resistance temperature detector*) dan sensor suhu DHT (*Digital temperature and humidity*). (Nurmasyitah, 2017)



Gambar 2. 3 Sensor Suhu RTD (resistance temperature detectore)

RTD adalah salah satu sensor suhu yang paling banyak digunakan dalam otomatisasi dan proses kontrol. sensor suhu jenis ini pengukurannya menggunakan prinsip perubahan resistansi atau hambatan listrik logam yang dipengaruhi oleh perubahan suhu. Prinsip kerja RTD biasanya Ketika suhu elemen RTD meningkat, maka resistansi elemen tersebut juga akan meningkat. Dengan kata lain, kenaikan suhu logam yang menjadi elemen resistor RTD berbanding lurus dengan resistansinya. elemen RTD biasanya ditentukan sesuai dengan resistansi mereka dalam ohm pada nol derajat celcius (0° C). Dalam prakteknya, arus listrik akan mengalir melalui elemen RTD (elemen resistor) yang terletak pada tempat atau

daerah yang mana suhunya akan diukur. Nilai resistansi dari RTD kemudian akan diukur oleh instrumen alat ukur, yang kemudian memberikan hasil bacaan dalam suhu yang tepat, pembacaan suhu ini didasarkan pada karakteristik resistansi yang diketahui dari RTD. (Nugroho, 2019)



Gambar 2. 4 Sensor suhu DHT (*Digital temperature and humidity*)

Sensor DHT11 adalah module sensor yang berfungsi untuk mensensing objek suhu dan kelembaban yang memiliki output tegangan analog yang dapat diolah lebih lanjut menggunakan mikrokontroler. Kelebihan dari module sensor ini dibanding module sensor lainnya yaitu dari segi kualitas pembacaan data sensing yang lebih responsif yang memiliki kecepatan dalam hal sensing objek suhu dan kelembaban, dan data yang terbaca tidak mudah terinterferensi.

b) Thermometer optis

Thermometer optis adalah alat pengukur suhu yang bereaksi ketika terdapat perubahan spektrum cahaya pada logam akibat adanya perubahan suhu. Beberapa contoh thermometer optis adalah thermogun.



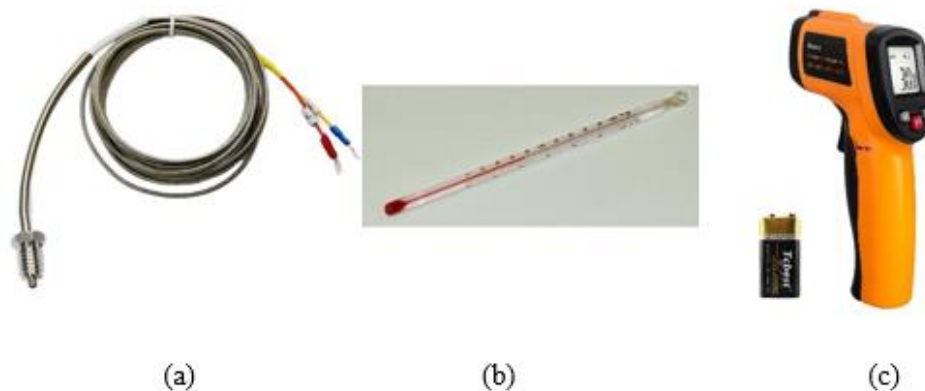
Gambar 2. 5 *Thermogun*

Berbeda dengan termometer raksa atau digital yang menggunakan prinsip rambatan panas secara konduksi, *thermogun* ini menggunakan rambatan panas melalui radiasi. Energi radiasi dari permukaan tubuh ditangkap dan diubah menjadi energi listrik, kemudian ditampilkan dalam angka digital pada *thermogun*. Adapun perbedaan antara *thermogun* klinik dan *thermogun* industri adalah rentang ukur dan jarak ukurnya. *Thermogun* klinik mempunyai rentang ukur 32 - 42 °C, dengan akurasi sampai dengan 0,2 °C Sedangkan *thermogun* industri mempunyai rentang ukur yang lebih besar, sampai dengan 500 °C atau lebih, dengan akurasi sampai dengan 1,5 °C. *thermogun* industri dapat digunakan untuk mengukur suhu benda yang sulit dijangkau tangan manusia seperti karena letaknya yang tinggi (misalnya trafo listrik) atau benda yang berbahaya untuk didekati karena suhunya sangat tinggi, misalnya pada proses peleburan logam (Mustika, 2020)

2.3.2 Alat ukur temperatur

Untuk menentukan besarnya suhu secara kuantitatif, dapat digunakan *thermometer*. Secara harfiah termometer diambil dari kata *thermo* yang artinya

panas dan juga *meter* yang artinya mengukur (Huda, 2011). Umumnya terdiri dari beberapa jenis *thermometer*, misalnya *thermocouple*, termometer alkohol, termometer basal, IC sensor temperatur, RTD, Thermistor, *Infra Red Thermometer* dan sebagainya.



Gambar 2. 6 (a) Termokopel (b) Termometer alkohol (c) Termometer infrared

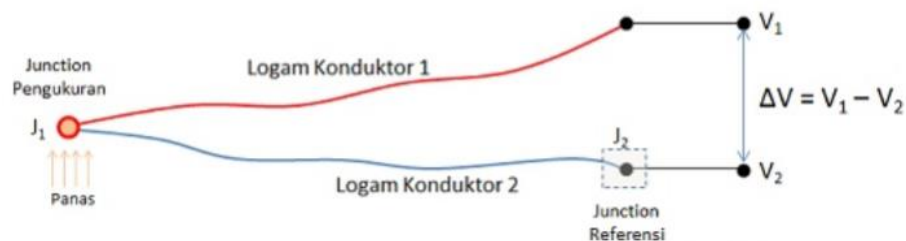
Sumber : (Sigit adi kristanto, 2013)

- (a) Termokopel merupakan sensor suhu yang mengubah perbedaan suhu menjadi perubahan tegangan, hal ini disebabkan oleh perbedaan kerapatan yang dimiliki oleh masing-masing logam yang bergantung pada massa jenis logam.
- (b) Termometer alkohol adalah termometer yang menggunakan alkohol untuk media pengukur, yang merupakan alternatif dari termometer cairan raksa dengan fungsi yang sama. Tetapi selisih seperti cairan raksa dalam termometer kaca. Isi termometer alkohol tidak beracun dan akan menguap dengan cukup cepat. Thermometer ini tidak dapat mengukur yang tinggi suhunya di atas 78°C .
- (c) *Thermogun* industri mempunyai rentang ukur yang lebih besar, sampai dengan 500°C atau lebih, dengan akurasi sampai dengan $1,5^{\circ}\text{C}$. *thermogun* industri dapat digunakan untuk mengukur suhu benda yang

sulit dijangkau tangan manusia seperti karena letaknya yang tinggi (misalnya trafo listrik) atau benda yang berbahaya untuk didekati karena suhunya sangat tinggi, misalnya pada proses peleburan logam

2.4 Termokopel

Termokopel merupakan sensor suhu paling umum digunakan, termokopel berfungsi mengubah perbedaan panas dalam benda yang diukur menjadi perubahan potensial atau tegangan listrik (Huda, 2011). Termokopel dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup luas dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C. Termokopel terdiri dari 2 jenis kawat logam konduktor yang digabungkan pada ujungnya sebagai ujung pengukuran. Konduktor ini kemudian akan mengalami gradiasi suhu dan dari perbedaan suhu antara ujung termokopel dengan ujung kedua kawat logam konduktor yang terpisah akan menghasilkan beda potensial.



Gambar 2. 7 Pengukuran Termokopel

Sumber : (Suprianto, 2015)

Dari gambar diatas dapat dipahami jika kedua persimpangan (*junction*) mempunyai suhu yang sama maka beda potensial (tegangan listrik) yang telah melalui dua persimpangan tersebut adalah “nol” atau $V_1 = V_2$. Namun jika satu persimpangan yang terhubung pada rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan langsung ke objek pengukuran, maka kedua persimpangan tersebut akan mengalami

perbedaan. Dengan demikian memicu terjadinya perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut sehingga bisa menghasilkan tenaga listrik yang memiliki nilai sebanding dengan suhu panas yang telah diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan listrik yang dihasilkan kurang lebih sekitar $1\mu\text{V}$ sampai $70\mu\text{V}$ pada tiap derajat celcius. Kemudian tegangan tersebut nantinya akan dikonversikan sesuai dengan tabel referensi yang sudah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang bisa dimengerti dan dipahami (Suprianto, 2015). Hal ini disebut dengan efek termo elektrik. Perbedaan ini umumnya berkisar antara 1 hingga 70 *microvolt* setiap perbedaan satu derajat celcius untuk kisaran yang dihasilkan dari kombinasi logam modern. Jadi sangat penting untuk dicatat bahwa termokopel hanya mengukur perbedaan temperatur diantara 2 titik, bukan temperatur absolut. Jadi termokopel tidak bisa digunakan untuk mengukur suhu ruangan karen tidak ada perbedaan antara ujung pengukuran dengan ujung kedua kawat logam. (Rahmat, 2015) Tersedia beberapa jenis termokopel, tergantung aplikasi penggunaannya.

1. Tipe K (Chromel (Ni-Cr *alloy*) / Alumel (Ni-Al *alloy*))

Termokopel untuk tujuan umum. Lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu $-200\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $1200\text{ }^\circ\text{C}$.

2. Tipe E (Chromel / Contanta (Cu-Ni *alloy*))

Tipe E memiliki output yang besar ($68\text{ }\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.

3. Tipe J (*Iron* / Constantan)

Rentangya terbatas (-40 hingga $+750\text{ }^\circ\text{C}$) membuatnya kurang populer dibanding tipe K. Tipe J memiliki sensitivitas sekitar $\sim 52\text{ }\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

4. Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si *alloy*) / Nisil (Ni-Si *alloy*))

Stabil dan tahan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas 1200 °C. Sensitifitasnya sekitar 39 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ pada 900 °C, sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K (Rahmat m. r., 2015).

Termokopel tipe B, R, dan S adalah termokopel logam mulia yang memiliki karakteristik yang hampir sama. Mereka adalah termokopel yang paling stabil, tetapi karena sensitifitasnya rendah (sekitar 10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) mereka biasanya hanya digunakan untuk mengukur temperatur tinggi (>300 °C).

1. Type B (Platinum-Rhodium/Pt-Rh)

Cocok mengukur suhu di atas 1800 °C. Tipe B memberi output yang sama pada suhu 0 °C hingga 42 °C sehingga tidak dapat dipakai di bawah suhu 50 °C.

2. Type R (Platinum /Platinum with 7% Rhodium)

Cocok mengukur suhu di atas 1600 °C. sensitivitas rendah (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.

3. Type S (Platinum /Platinum with 10% Rhodium)

Cocok mengukur suhu di atas 1600 °C. sensitivitas rendah (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum. Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas (1064.43 °C).

4. Type T (Copper / Constantan)

Cocok untuk pengukuran antara -200 sampai 350 °C. Konduktor positif terbuat dari tembaga, dan yang negatif terbuat dari constantan. Sering

dipakai sebagai alat pengukur alternatif sejak penelitian kawat tembaga. Type T memiliki sensitifitas $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. (Rahmat m. r., 2015)

Ada beberapa sifat dasar dari sebuah termokopel, antara lain adalah :

- a. Jenis material yang digunakan pada termokopel berpengaruh terhadap nilai *emf* dari termokopel.
- b. Emf tidak akan mengalami perubahan apabila kedua *junction* berada pada suhu yang sama. (Huda, 2011)

Dari sifat-sifat dasar di atas, pengukuran termokopel salah satunya dipengaruhi oleh jenis material penyusunnya.

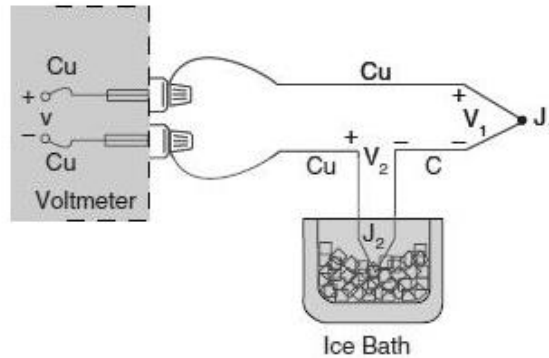
2.4.1 Pengukuran Termokopel

Ada beberapa sifat dasar dari sebuah termokopel, antara lain adalah (Huda, 2011):

1. Jenis material yang digunakan pada termokopel berpengaruh terhadap nilai *emf* dari termokopel.
2. Emf tidak akan mengalami perubahan apabila kedua *junction* berada pada suhu yang sama.

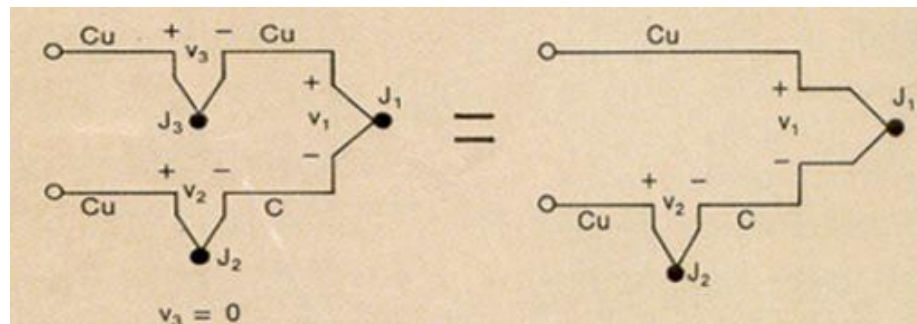
Dari sifat-sifat dasar di atas, pengukuran termokopel salah satunya dipengaruhi oleh jenis material penyusunnya. Sehingga pada saat pengukuran EMF (*electricmotive force*) dengan menggunakan multimeter atau disambungkan dengan kabel, tidak secara langsung multimeter atau kabel tersebut dapat disambungkan pada ujung-ujung termokopel. Hal ini dikarenakan, multimeter tersebut dapat menjadi sebuah *junction* (sambungan) baru yang bisa menimbulkan EMF baru. EMF ini nantinya akan terukur juga, sehingga dapat terjadi kesalahan pengukuran nilai temperatur

yang sebenarnya.



Gambar 2. 8 Pengukuran equivalent termokopel

pada gambar 2.8, ketika melakukan pengukuran pada J_1 , maka akan timbul *junction* baru, yaitu J_2 dan J_3 . Dengan begitu nilai pada tegangan yang keluar akan dipengaruhi oleh J_2 dan J_3 tersebut.



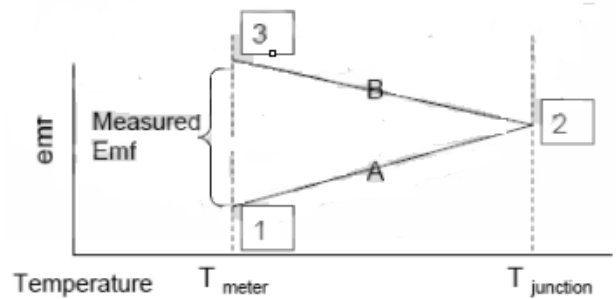
Gambar 2. 9 Eliminasi sambungan J_2 dan J_3

Maka untuk menyelesaikan permasalahan J_2 dan J_3 dapat dengan mengeliminasi sambungan J_2 dan J_3 . Karena pada J_3 materialnya sudah sama yaitu Cu, maka dapat dianggap tidak ada pengaruh atau J_3 dianggap tidak ada. Sedangkan pada J_2 karena materialnya masih berbeda, yaitu Cu dan C, maka salah satu caranya yaitu dengan menaruh sambungan J_2 dengan suhu $0\text{ }^\circ\text{C}$ dan menetapkan J_2 sebagai *reference junction*, seperti pada gambar 2.9. Karena nilai pada $J_2 = 0\text{ }^\circ\text{C}$, maka EMF pada $J_2 = 0\text{ V}$, sehingga nilai yang terukur pada multimeter atau kabel adalah murni

dari nilai dari J_1 . Sehingga nilai EMF nya menjadi :

$$\begin{aligned} \text{EMF} &= \alpha (T_{J_1} - T_{J_2}) \\ &= \alpha (T_{J_1} - 0) \\ &= \alpha T_{J_1} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Selain itu yang harus diperhatikan adalah, termokopel dapat digunakan untuk melakukan pengukuran temperatur apabila ada perbedaan suhu antara dua buah *junction*.



Gambar 2. 10 Pengukuran EMF Pada Termokopel

Sumber : (Huda, 2011)

Dimana nilainya adalah :

$$\text{EMF}_{1-3} = \text{EMF}_{1-2} + \text{EMF}_{2-3} \quad (\text{EMF}_{2-3} \text{ bernilai minus})$$

Misal dilakukan sebuah pengukuran terhadap suhu ruangan, dimana besarnya suhu pada kedua sambungan adalah sama, atau nilai $\text{EMF}_{1-2} = \text{EMF}_{2-3}$, kemudian akan didapat nilai $\text{EMF}_{1-3} = 0$ Volt. Semisal untuk mengukur suatu temperatur, 100°C , maka :

$$\text{EMF}_{1-3} = \alpha (T_{J_1}) - (T_{J_2}), \quad (2.5)$$

Dimana, T_{J_1} = suhu yang diukur (misal 100°C)

T_{J_2} = suhu pada *junction* 2 (suhu ruangan rata rata 30°C)

Dengan nilai T_{J_2} , jika dimasukkan dalam persamaan kemudian dikonversi kesatuan

temperature tidak akan diperoleh hasil suhu 100 °C.

$$FMF_{1-3} = \alpha (TJ_1 - TJ_2),$$

$$EMF_{1-3} = \alpha (100-30)$$

$$EMF_{1-3} = \alpha (70^\circ\text{C})$$

Dengan kata lain TJ_2 harus dieliminasi atau menggunakannya sebagai T referensi.

Menurut sumber (Huda, 2011) Untuk mengeliminasi digunakan *Ice bath* dengan suhu referensi 0 °C, sehingga :

$$EMF_{1-3} = \alpha (TJ_1) - (TJ_2)$$

$$EMF_{1-3} = \alpha (TJ_1) - (0^\circ\text{C}) \quad (2.6)$$

$$EMF_{1-3} = \alpha (TJ_1)$$

2.4.2 Termokopel *Type-K*

Secara umum terdapat 8 jenis tipe termokopel. Yang membedakan dari satu termokopel dengan termokopel lainnya terdapat pada bahan dan aplikasi penggunaannya. Mulai dari tipe K, tipe E, tipe J, tipe N, tipe B, tipe R, tipe S, dan tipe T. Perbedaan warna pembungkus konduktor yang digunakan sebagai penanda. Untuk perbedaannya dapat dilihat dari gambar di bawah :

	United States Color Codes ANSI MC96.1 1982		IEC 60584-3 Color Coding		Redundant national color coding for insulation of thermocouple cables			
	Thermocouple Grade	Extension Grade	Thermocouple Grade	Intrinsically Safe	British to BS1843	German to DIN 13711	French to NFC 42324	Japanese to JIS C 1610-1981
Type K Thermocouple	KK	KX						
Type T Thermocouple	TT	TX						
Type J Thermocouple	JJ	JX						
Type N Thermocouple	NN	NX						
Type E Thermocouple	EE	EX						
Type S Thermocouple	None Established	SX						
Type R Thermocouple	None Established	RX						
Type B Thermocouple	None Established	BX						

Gambar 2. 11 Perbedaan warna pembungkus konduktor Termokopel

Sumber : (Huda, 2011)

Dapat dilihat dari perbedaan termokopel tipe-K terdapat perbedaan warna dari masing-masing tempat penggunaannya, misal buatan jepang, menggunakan warna biru sebagai pembungkus kabel, dan putih merah sebagai pembungkus konduktornya. (Huda, 2011)

Termokopel tipe-K terdiri dari dua buah konduktor yang berbeda komposisi, yaitu Kromel-Alumel. Termokopel ini merupakan termokopel yang biasa digunakan dalam industri. Selain harganya yang murah, termokopel jenis ini memiliki batas suhu antara -270 °C sampai 1370 °C, dengan sensitivitas mendekati 40 μV/°C. (Semiconductor, 1998)



Gambar 2. 12 Termokopel *Thype-K*

Sumber : (Huda, 2011)

2.5 Sistem Kontrol

Sistem adalah kombinasi beberapa komponen yang bekerja secara bersamaan dan menjalankan tujuan tertentu. Sedangkan kontrol berarti pengukuran nilai variabel yang dikontrol dari sistem dan menerapkan sinyal kontrol ke sistem untuk mengoreksi atau membatasi penyimpangan nilai yang diukur dari nilai yang diinginkan. Sistem kontrol terdiri dari subsistem dan proses (*plant*) yang disusun untuk tujuan memperoleh *output* dan kinerja yang diinginkan dengan *input* yang telah ditentukan. (Nise, 2015)

2.5.1 Sistem kendali *PID*

Control system (Sistem pengendali) adalah sistem yang berfungsi untuk mengendalikan suatu sistem yang lain. Pengendalian sistem bertujuan untuk menunjang kinerja pada suatu sistem kendali menjadi lebih baik atau lebih mendekati sempurna. Umumnya sistem kendali terbagi menjadi dua sistem yaitu *open loop control system* dan *closed loop control system*. pada sistem pengendali terdapat beberapa istilah, antara lain SP, eror, MV, PV dan Plant, yang artinya sebagai berikut.

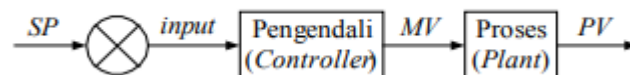
- (*Set Point*) adalah harga atau nilai dari keadaan yang ingin dicapai pada

proses.

- *Error* adalah selisih antara *Set Point* dan *Process Variable*.
- *MV (Manipulated Variable)* adalah harga atau nilai yang diatur agar proses menjadi stabil. *Manipulated Variable* biasanya dihubungkan dengan input aktuator (contoh: *control valve*).
- *PV (Process Variable)* adalah sinyal hasil pemantauan terhadap proses atau plant. *Process Variable* umumnya adalah hasil pembacaan dari suatu sensor (contoh: *thermocouple*).
- *Plant* adalah objek yang akan dikendalikan (contoh: *Furnace*). (Prihantono, 2020)

Open Loop Control System atau sistem pengendali loop terbuka merupakan sistem pengendalian dimana objek yang dikontrol tidak di-feedback an ke pengendali, sehingga pengendali hanya akan memberikan output jika diberikan suatu sinyal input. Pengendali jenis ini masih bersifat manual karena tidak akan terlepas dari intervensi atau campur tangan manusia. Pengendali ini tidak akan bekerja secara otomatis, karena masih adanya intervensi manusia dan hasil dari suatu proses yang dikendalikan tidak dibandingkan oleh pengendali itu sendiri.

Gambar 2.13 menggambarkan sistem pengendali loop terbuka (*Open Loop Control System*). (Dwipadhami, 2021)

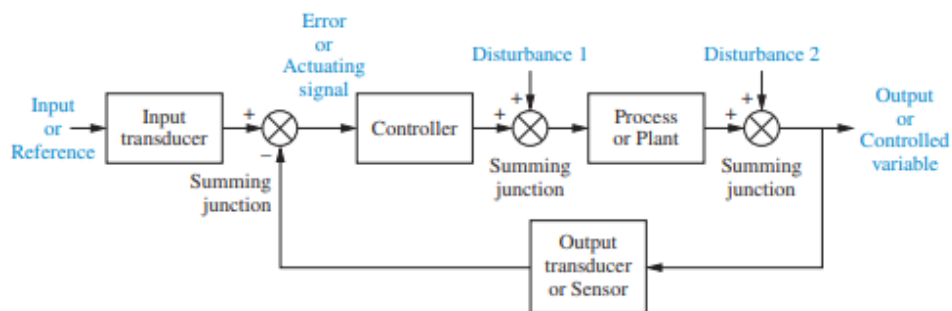


Gambar 2. 13 Sistem pengendali loop terbuka

Sumber : (Priyono, 2017)

Sistem pengendali yang kedua adalah *Closed Loop Control System* atau

sistem pengendali loop tertutup, yaitu sistem pengendalian dimana objek yang dikontrol di-*feedback* ke input pengendali. Input yang diberikan ke pengendali merupakan selisih antara besaran (PV) dan besaran (SP). Nilai selisih ini sering disebut dengan error. Tujuan dari pengendali adalah membuat nilai *Process Variable* (PV) sama dengan nilai *Set Point* (SP), atau nilai *error* = 0. Sinyal *error* akan diolah oleh pengendali agar nilai (PV) sama dengan nilai (SP). Pengendali jenis ini bersifat otomatis karena objek yang akan dikendalikan dibandingkan lagi dengan input keadaan yang diinginkan, sehingga intervensi manusia dapat dihilangkan. Kinerja dari suatu pengendali ditentukan oleh semakin cepatnya respon pengendali untuk mengubah MV terhadap perubahan sinyal *error*, dan semakin memperkecil error yang terjadi. Gambar 2.14 menggambarkan sistem pengendali loop tertutup (*Closed Loop Control System*)



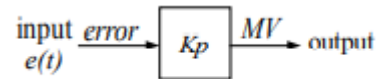
Gambar 2. 14 Sistem pengendali loop tertutup

Sumber : (Whardana, 2021)

Pengendali PID terdiri dari tiga macam pengendali yaitu pengendali Proportional (P), pengendali Integral (I) dan pengendali Differensial (D). Masing-masing pengendali ini saling dikombinasikan sehingga didapatkan bentuk atau struktur dari PID, yaitu struktur paralel, seri, dan seri-paralel. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing pengendali.

a. Pengendali proportional (P)

Pengendali proportional berfungsi untuk mengalikan sinyal input dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu.



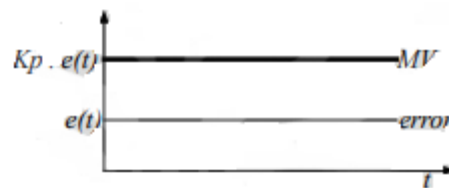
Gambar 2. 15 Blok diagram Pengendali Proportional

Sumber : (Nugraha, 2019)

Persamaan hubungan antara *input (error)* dan *output (MV)* pada pengendali ini adalah.

$$\begin{aligned} \text{Output} &= K_p \cdot \text{Input} \\ MV &= K_p \cdot e(t) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Karena pengendali proportional hanya menguatkan sinyal input saja, maka hubungan antara sinyal *error* dan sinyal *MV* dapat digambarkan seperti grafik respon berikut ini.



Gambar 2. 16 Grafik Respon Pengendali Proportional

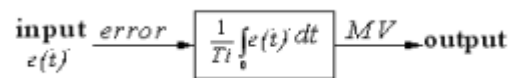
Sumber : (Wardhana et al., 2021)

Pengendali *proportional* berfungsi untuk mempercepat proses yang dikendalikan menuju ke keadaan *set-point*. Kecepatan proses ini sangat bergantung dari besarnya nilai K_p pada pengendali proportional. Semakin besar nilai K_p maka semakin besar juga penguatannya sehingga respon

dari pengendali akan semakin cepat juga dan akan mengurangi besarnya *steady-state error*. Tetapi jika nilai K_p terlalu besar maka sistem akan mengalami *over shoot* yang besar sehingga proses yang dikendalikan menjadi tidak stabil bahkan akan mengalami osilasi. (Dwipadhami, 2021)

b. Pengendali *Integral* (I)

Pengendali *integral* berfungsi untuk meng-*integral*-kan sinyal input lalu dibagi dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu.

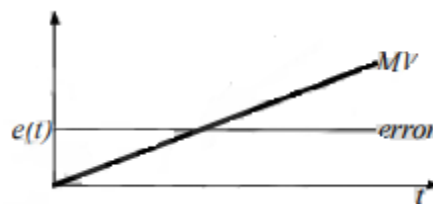


Gambar 2. 17 Blok Diagram Pengendali *Integral*

Persamaan hubungan antara *input* (error) dan *output* (MV) pada pengendali ini adalah

$$Mv = \frac{1}{T_i} \int_0^1 e(t) dt \quad (2.8)$$

Karena pengendali integral hanya meng-*integral*-kan sinyal input saja, maka hubungan antara sinyal error dan sinyal MV dapat digambarkan seperti grafik respon berikut ini.



Gambar 2. 18 Grafik Respon Pengendali *Integral*

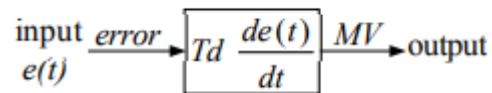
Sumber :

Pengendali integral berfungsi untuk mengurangi dan menghilangkan *steady-state error* yang timbul setelah respon *plant* dari pengendali *proportional* sudah stabil. Semakin kecil nilai *steady-state error*, maka

respon dari *plant* akan semakin mendekati keadaan *steady-state*. Semakin kecil nilai error maka semakin kecil juga nilai *timing integral*-nya, sehingga kurva MV akan semakin landai. Pengendali *integral* sangat optimal bekerja pada daerah di sekitar titik *set-point*, yaitu antara *steady-state error* dan *set point*

c. Pengendali Differensial (D)

Pengendali differensial berfungsi untuk men-differensial-kan sinyal input lalu dikalikan dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu.



Gambar 2. 19 Blok diagram Pengendali *Differensial*

Persamaan hubungan antara input (error) dan output (MV) pada pengendali ini adalah

$$Mv = Td \frac{de(t)}{dt} \quad (2.9)$$

Karena pengendali differensial hanya meng- differensial-kan sinyal input saja, maka hubungan antara sinyal error dan sinyal MV dapat digambarkan seperti grafik respon berikut ini



Gambar 2. 20 grafik respon pengendali *differensial*

Sumber : (Rahmat, 2015)

Pengendali *differensial* berfungsi untuk mengurangi respon yang terlalu berlebih yang dapat mengakibatkan *overshoot* pada proses plant karena

nilai K_p yang terlalu besar pada pengendali *proportional*. Output dari pengendali *differensial* akan bernilai sangat besar jika perubahan *error* sangat besar. Perubahan *error* yang sangat besar ini terjadi ketika proses *plant* bergerak menuju ke titik *set-point* dalam waktu yang sangat singkat (nilai dt sangat kecil). Hal ini disebabkan karena respon pengendali yang terlalu cepat akibat terlalu besarnya nilai K_p pada pengendali *proportional*. Pengendali *differensial* hanya akan bekerja ketika terjadi perubahan *error*, sehingga ketika proses yang dikendalikan sudah stabil maka pengendali *differensial* sudah tidak bekerja lagi. Error steady state tidak boleh lebih dari 2% - 5%. Berikut adalah rumus perhitungan error steady state.

$$\text{Error rate} = \frac{(\text{nilai asli} - \text{nilai ukur})}{\text{Nilai asli}} \times 100\% \quad (2.10)$$

2.6 PID Mix – Controller

Konsep pengendali ini merupakan sebuah pengendali gabungan dari rangkaian pengendali PID yang disusun secara seri dan rangkaian pengendali PID yang disusun secara paralel. Rangkaian sistem pengendali ini digunakan supaya kinerja suatu sistem pengendali menjadi lebih baik atau *relative* lebih mendekati ideal. Rangkaian sistem pengendali ini juga merupakan pengendali yang sering digunakan dalam dunia industri, karena dengan menggunakan rangkaian pengendali ini, respon yang dihasilkan akan semakin baik dan waktu yang dibutuhkan untuk aksi kendali pun akan relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan rangkaian pengendali seri atau paralel. Secara matematik, konsep pengendali

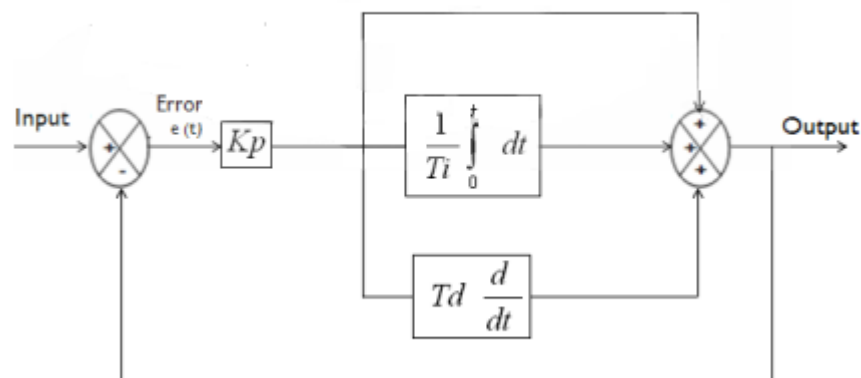
campuran (*mix controller*) untuk kendali PID dirumuskan seperti pada persamaan 2.10

$$Mv = Kp (E + Ki \int E dt + Kd \frac{dE}{dt}) \quad (2.11)$$

E merupakan error yang besarnya merupakan selisih antara Set Point dan Process Variable.

$$E = SP - PV \quad (2.12)$$

dari persamaan 2.10, maka dapat digambarkan konsep pengendali tersebut kedalam sebuah blok diagram yang mewakili persamaan 2.9 dan konsep pengendali untuk sistem loop tertutup (*Closed-loop system*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.21 dibawah ini.



Gambar 2. 21 Blok diagram *PID Mix – Controller*

Sumber : (Prihantono, 2020)

2.7 Pengendalian Temperatur *electric furnace*

Mikrokontroller arduino UNO sebagai pengendali utama mengendalikan elemen pemanas dan kipas dengan bantuan sensor peanas sebagai input suhu. Sensor tersebut nantinya akan di tempatkan di dalam tungku pemanas untuk

mendapatkan parameter suhu dalam tungku pemanas sebagai input data mikrokontroller arduino uno (El zaky Rizki hakim, 2017). Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 (datasheet). Memiliki 14 pin input dan 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.

Setiap 14 pin digital pada arduino uno dapat digunakan sebagai input dan output, menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalwrite()`, dan `digitalRead()`. Fungsi fungsi tersebut beroperasi di tegangan 5 volt, Setiap pin dapat memberikan atau menerima suatu arus maksimum 40 mA dan mempunyai sebuah resistor pull-up (terputus secara default) 20-50 kOhm. (Yogyakarta, 2016)



Gambar 2. 22 Arduino Uno

Sumber : (Iskandar, 2017)

2.7.1 Bagian-Bagian Arduino Uno

Tabel 2. 1 Bagian Arduino

Sumber : (Iskandar, 2017)

Mikrokontroller	Atmega 328
Tegangan Pengoperasian	5 V
Tegangan input yang disarankan	7-12 V
Batas Tegangan Input	6-20 V
Jumlah pin I/O digital	14 pin digital (6 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input analog	6 pin
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3,3 V	50 mA
<i>Memori Flash</i>	32 Kb (Atmega 328) sekitar 0,5 Kb digunakan oleh bootloader
SRAM	2 Kb (Atmega 328)
EPROM	1 Kb (Atmega 328)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

2.8 Dimmer SCR 220 VAC 4000 W

Dimmer adalah perangkat yang terhubung ke lampu dan digunakan untuk menurunkan kecerahan cahaya. Dengan mengubah bentuk gelombang tegangan yang diterapkan pada lampu, dimungkinkan untuk menurunkan intensitas keluaran cahaya. Meskipun perangkat tegangan variabel digunakan untuk berbagai tujuan, istilah dimmer umumnya dicadangkan untuk yang dimaksudkan untuk mengontrol output cahaya dari lampu pijar resistif, halogen, dan (lebih baru) lampu fluoresen kompak (CFL) dan dioda pemancar cahaya (LED). Peralatan yang lebih khusus diperlukan untuk meredupkan fluorescent, uap merkuri, solid-state, dan pencahayaan busur lainnya.

Salah satunya adalah penggunaan Dimmer SCR dimana komponen ini merupakan komponen semikonduktor yang berperan sebagai penghubung daya yang berkecepatan tinggi. Pada umumnya triac dioperasikan pada tegangan lebih dari 100V dan dapat membawa arus lebih dari 100A. Sehingga triac sering digunakan dalam sistem kontrol daya AC, seperti *dimmer lamp* (peredup lampu),

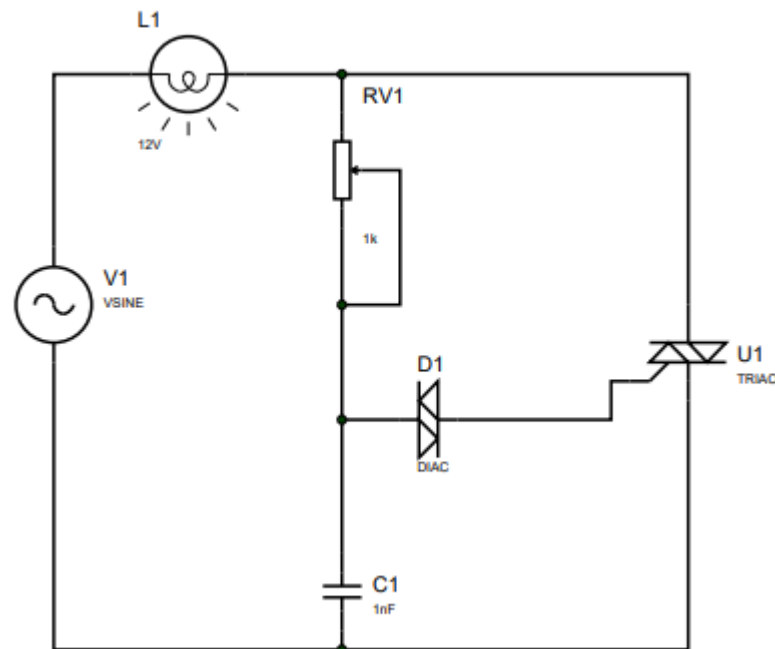
kontrol pemanas, kontrol kecepatan motor, dan lainnya. Oleh karena itu, modul ini memanfaatkan TRIAC sebagai kontrol pemanas pada *furnace* (Kusumo, 2018).

Dimmer SCR berfungsi untuk mengatur besar tegangan AC. Jadi tegangan listrik rumah 220V kemudian dapat diatur pada range 90V hingga 220V dan memiliki daya yang besar hingga 4000W. Modul ini dapat digunakan untuk mengatur intensitas cahaya lampu pijar, mengatur kecepatan kipas angin, mengatur kecepatan blender, mengatur panas setrika, Bor Listrik, Slean, Gerinda. dll yang menggunakan tegangan AC.



Gambar 2. 23 Dimmer SCR 220 VAC 4000W

Sumber : (thompson, 1960)



Gambar 2. 24 Rangkaian Dimmer SCR 220 VAC 4000W

Sumber : (thompson, 1960)

2.9 Perbedaan dengan penelitian lainnya

Berdasarkan pengujian dan analisis yang dibaca, pada perancangan pengontrolan suhu oven listrik menggunakan metode kontrol *on-off*. Didapatkan sebuah data hasil pengujian sensor suhu didapatkan error rata-rata sebesar $0,13^{\circ}\text{C}$. Pada pengujian *relay* didapatkan *driver relay* telah sesuai dengan program yang diberikan. Pada pengujian pemanas resistif berbahan *kanthal* dan *nichrome*. sistem kendali *on-off* telah bekerja dengan baik dan memiliki nilai *deadband* yang rendah. Namun pada hasil pengujian respon sistem dengan variasi pemanas induksi dapat dilihat bahwa kontrol *on-off* bekerja dengan kurang baik dalam melakukan kontrol pada oven karena masih terjadi osilasi yang cukup besar yang disebabkan oleh induksi dari inverter berfrekuensi tinggi (aji, 2018). Oleh sebab itu untuk

mengurangi osilasi yang cukup besar digunakan sistem kendali kontrol PID sebagai metode penelitian. Pada penelitian (Huda, 2011) dengan menggunakan sistem kontrol PID, osilasi yang disebabkan oleh induksi dari inverter berfrekuensi tinggi terbilang kecil. Dan juga Kendali kontrol dengan PID pada sistem yang diuji sudah bekerja secara optimal, dimana respon sistem untuk referensi dapat mencapai keadaan stabil dan error yang dihasilkan sudah seminimal mungkin.

Tabel 2. 2 Perbedaan Sistem Kontrol *On/Off* dan Kontrol PID

Sumber : (Pua, 2012)

No.	Perbedaan	
	Kontrol PID	Kontrol <i>On/Off</i>
1	Konsumsi daya rendah	Konsumsi daya tinggi
2	Daya keluaran tinggi	Daya keluaran rendah
3	Lebih lambat menuju setpoint	Lebih cepat menuju setpoint
4	Stabil	Kurang stabil
5	Overshoot kecil	Overshoot besar

Kontrol PID lebih baik dalam mempertahankan target temperatur pada sistem kotak pendingin dibandingkan dengan metode on-off karena dengan kontrol PID dapat menjaga kestabilan suhu atau temperatur mendekati nilai set point. Sedangkan dengan metode on-off, jika telah mencapai nilai set point sistem kotak pendingin berada pada keadaan off sehingga mengakibatkan temperatur panas mengalami kenaikan melebihi nilai set point. Jika dilihat dari penggunaan konsumsi daya, pengujian dengan kontrol PID mengkonsumsi daya yang lebih rendah dibandingkan dengan Pengujian menggunakan metode on-off dan jika dilihat dari temperatur yang dihasilkan, pengujian dengan kontrol PID lebih lambat mencapai target temperatur dibandingkan dengan pengujian yang menggunakan metode *on-off*. Daya keluaran yang didapatkan dari thermoelectric atau peltier dengan kontrol PID menghasilkan daya keluaran rata-rata sebesar 1,53 Watt, sedangkan daya keluaran

yang dihasilkan dengan metode on-off memperoleh daya keluaran rata-rata sebesar 1,48 Watt.

Tabel 2. 3 Perbandingan sistem kendali PID dan *Fuzzy logic*

No.	Perbedaan	
	Kontrol PID	Kontrol <i>Fuzzy logic</i>
1	Metode Sederhana	Metode Kompleks
2	Penyimpanan EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) besar,	Penyimpanan EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) kecil,
3	Lebih lambat menuju setpoint	Lebih cepat menuju setpoint
4	Stabil	kurang stabil
5	Overshoot kecil	Overshoot besar

Dari penelitian serta pengujian yang dilakukan terhadap kedua system, ditemukan beberapa perbandingan, yaitu :

1. PID memiliki metode yang sederhana dalam mengatasi error yang terjadi, dengan menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d , untuk mendapatkan konstanta PID yang optimal dilakukan dengan metode tuning blackbox.
2. Fuzzy logic memiliki metode yang kompleks, dimana untuk mendapatkan output diperlukan 4 tahapan, diantaranya
 - a) Identifikasi variable.
 - b) Perancangan Fungsi Keanggotaan.
 - c) Komposisi aturan (*Rull Base*).
 - d) Penegasan (*defuzzy*). Untuk mendapatkan aturan fuzzy yang baik harus dilakukan pengamatan lebih mendalam terhadap karakteristik dari quadcopter dan korelasi antara PWM dengan Thrust (Daya Angkat Motor).
3. Untuk membambangun system kendali *fuzzy logic* dibutuhkan kapasitas penyimpanan pada EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-*

Only Memory) yang besar, hal ini dikarenakan jumlah bytes pada program *fuzzy logic* sangat besar dibandingkan dengan PID.

4. *Fuzzy logic* memiliki respon yang cepat dibandingkan dengan PID, namun osilasi yang dihasilkan sangat banyak dan jauh dari setpoint. Hal ini menyebabkan percobaan dengan *fuzzy* cenderung kurang stabil.
5. Pada penelitian ini metode *fuzzy logic* harus menggunakan sebuah *library* bahasa pemrograman dalam pengaplikasiannya.

Tabel 2. 4 Review Penelitian yang terkait

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun penelitian	Pembahasan
1.	Perancangan sistem kendali suhu pada oven listrik hemat energi dengan metode kontrol <i>on/off</i>	Ari Purnomo aji	Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro	Penelitian ini menggunakan metode kontrol <i>on/off</i> yang mana pada penelitian ini terdapat banyak sekali osilasi yang berpengaruh pada kestabilan suhu yang dijaga, eror rate pada keadaan steady yang terjadi melebihi angka 5%. Penelitian ini menggunakan dua buah dimmer sebagai penyalur daya dan menggunakan arduino serta sensor relay sebagai pemutus arus <i>on/off</i> yang bekerja pada sistem.
2.	Rancang bangun furnace temperatur tinggi dengan pengendali mikrokontrol ATMEGA 8535 menggunakan sumber pemanas Silicon Carbide (SiC)	Sulistiyawan	Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang	Penelitian ini berfokus pada jenis reaktor kumparan yang berfungsi sebagai pemantiknya, penelitian ini dilakukan dengan suhu maksimal 500°C. Penelitian ini tidak diketahui jenis pengontrolan suhu yang dilakukan pada penelitian ini. Tidak diketahui kestabilan dari penelitian ini, namun dari grafik penelitian dapat dilihat bahwa penelitian ini hanya melakukan monitoring pengontrolan suhu dengan menggunakan dua sensor yang berbeda dengan tujuan melihat penyebaran panas yang dihasilkan dari kumparan.
3.	Optimasi Furnace Tubular Suhu Tinggi berbasis Kontrol PID	Rahersa Putra	Departemen Fisika Fakultas ilmu alam Institut teknologi surabaya 2018	Penelitian ini membahas tentang pembuatan furnace tubular. Furnace tubular merupakan furnace berbentuk tabung, penelitian pada jurnal ini menggunakan suhu yang berbeda dan menggunakan nilai PID yang berbeda sebagai uji kestabilan suhunya. Nilai PID yang berbeda

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun penelitian	Pembahasan
				ini didapatkan dengan menggunakan metode perhitungan PID yang berbeda juga, seperti metode perhitungan Ziegler-nichols, metode perhitungan Tyreus-Luyben.
4	Rancang bangun sistem pengendali temperature furnace dengan menggunakan sensor thermokopel thype-k berbasis mikrokontroller atmega-16	Syahrial Nurul Huda	Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan alam program studi fisika Depok juni 2011	Penelitian ini membahas mengenai sistem kontrol PID pada pemanas. Namun pada penelitian ini sistem pengontrolan PID dilakukan dengan SSR (<i>solid state relay</i>) sehingga sistem pengontrolan yang dilakukan pada penelitian ini cukup kompleks.
5	Pengaturan suhu dengan menggunakan kontrol PID	Johanes Adi prihantono	Prodi Listrik Pesawat Fakultas Teknik Universitas Nurtanio Bandung	Pada penelitian ini membahas pengaturan suhu pada pemanas. Sistem pengendalian ini menggunakan board Arduino sebagai perangkat keras, <i>LabView</i> sebagai perangkat lunak, serta sebuah sensor <i>Thermocouple</i> . Sebagai pemanas digunakan material yang terbuat dari kawat nikelin yang diatur melalui output Arduino. Perhitungan parameter PID pada pembuatan <i>prototipe</i> oven ini menggunakan pendekatan metodeCohen. Pada penelitian ini dilakukan pengujian suhu yang sama dengan nilai PID yang berbeda-beda, nilai PID didapatkan dengan melakukan metode perhitungan Cohen