

**DESAIN DAN REALISASI SISTEM KONTROL SUHU DAN
KECEPATAN PENGADUK PADA *HOT PLATE STIRRER*
MENGUNAKAN METODE *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE*
(PID)**

(SKRIPSI)

Oleh

MARIO SULISTIYONO

2057041002



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

DESAIN DAN REALISASI SISTEM KONTROL SUHU DAN KECEPATAN PENGADUK PADA *HOT PLATE STIRRER* MENGUNAKAN METODE *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE* (PID)

Oleh

MARIO SULISTIYONO

Hot plate stirrer merupakan alat laboratorium yang digunakan dalam proses pencampuran dan pemanasan larutan kimia. *Hot plate stirrer* telah banyak dikembangkan dengan beberapa keluaran parameter dan sensor yang berbeda. Penelitian ini telah merealisasikan sebuah alat yang dapat digunakan untuk mencampur dan memanaskan larutan kimia dengan sistem kontrol *proportional integral derivative* (PID). Sistem kontrol PID secara kontinu menghitung dan meminimalisir selisih antara nilai *set point* dengan nilai terukur, selisih ini disebut dengan *error*. Perangkat alat menggunakan arduino mega 2560 dengan masukan berupa sensor efek hall untuk membaca kecepatan pengaduk dan sensor termokopel tipe-K untuk membaca parameter suhu. Keluaran alat yang dihasilkan berupa nilai setiap parameter yang ditampilkan pada LCD 20×4 secara langsung. Berdasarkan hasil pengujian alat *hot plate stirrer* diperoleh nilai keakurasian tinggi pada kecepatan 300 RPM sebesar 100% untuk parameter kecepatan pengaduk. Pembacaan sensor termokopel tipe-K memperoleh nilai keakurasian tinggi pada suhu 250 °C sebesar $(99,64 \pm 0,3)\%$. Alat *Hot plate stirrer* yang telah dikembangkan mampu mencapai suhu 50 sampai 200 °C dalam rentang waktu 5 hingga 10 menit, untuk suhu 250 °C waktu yang dibutuhkan 10,5 menit dan untuk suhu 300 °C waktu yang dibutuhkan ialah 13 menit. Alat yang telah direalisasikan dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan rancangan pembuatan.

Kata kunci: *Hot plate stirrer*, sistem kontrol PID, *AC light dimmer*, efek hall, termokopel

ABSTRACT

DESIGN AND REALIZATION CONTROL SYSTEM TEMPERATURE AND STIRRER SPEED ON HOT PLATE STIRRER USING PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) METHOD

By

MARIO SULISTIYONO

Hot plate stirrer is a laboratory tool used in the process of mixing and heating chemical solutions. Hot plate stirrer has been widely developed with several different parameter outputs and sensors. This study has realized a tool that can be used to mix and heat chemical solutions with a proportional integral derivative (PID) control system. The PID control system continuously calculates and minimizes the difference between the set point value and the measured value, this difference is called error. The device uses an Arduino Mega 2560 with input in the form of a Hall effect sensor to read the stirrer speed and a K-type thermocouple sensor to read the temperature parameter. The output of the tool produced is the value of each parameter displayed on a 20×4 LCD directly. Based on the test results of the hot plate stirrer tool, a high accuracy value was obtained at a speed of 300 RPM of 100% for the stirrer speed parameter. The reading of the K-type thermocouple sensor obtained a high accuracy value at a temperature of 250 °C of $(99.64 \pm 0.3)\%$. The developed Hot plate stirrer tool is able to reach a temperature of 50 to 200 °C in a time span of 5 to 10 minutes, for a temperature of 250 °C the time required is 10.5 minutes and for a temperature of 300 °C the time required is 13 minutes. The tools that have been realized can function well according to the design plan.

Keywords: *Hot plate stirrer, PID control system, AC light dimmer, hall effect, thermocouple*

**DESAIN DAN REALISASI SISTEM KONTROL SUHU DAN
KECEPATAN PENGADUK PADA *HOT PLATE STIRRER*
MENGUNAKAN METODE *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE*
(PID)**

Oleh

MARIO SULISTIYONO

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : DESAIN DAN REALISASI SISTEM KONTROL SUHU DAN KECEPATAN PENGADUK PADA *HOT PLATE STIRRER* MENGGUNAKAN METODE *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE* (PID)

Nama Mahasiswa : Mario Sulistiyono

Nomor Pokok Mahasiswa : 2057041002

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Junaidi', written over the text of the document.

Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP. 198206182008121001

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Sri Wahyu Suciwati', written over the text of the document.

Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.
NIP. 197108291997032001

2. Ketua Jurusan

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Arif Surtono', written over the text of the document.

Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

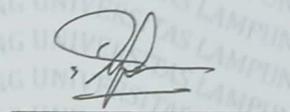
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

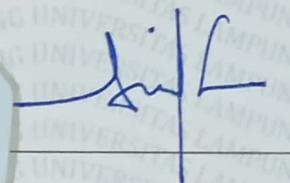
Ketua : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



Sekretaris : **Dr. Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si.**



Penguji Bukan Pembimbing : **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 20 November 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya yang diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis mengacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia bertanggung jawab dan dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 28 November 2024

Penulis,



Mario Sulistiyono
NPM. 2057041002

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Mario Sulistiyono, lahir di Bandar Lampung, kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada 20 Desember 2001. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Sutrisno dan Ibu Sulati. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Bunga Bangsa Kota Bandar Lampung pada tahun 2008, SDN 1 Sukabumi pada tahun 2014, SMPN 31 Bandar Lampung pada tahun 2017, SMKN 5 Bandar Lampung pada tahun 2020.

Penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur SMMPTN. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif tergabung pada organisasi kemahasiswaan. Pada tahun 2021 penulis menjadi staff adkesma Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA Universitas Lampung dan penulis menjadi Ketua Bidang Sosial dan Masyarakat Himpunan Mahasiswa Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2022.

Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada tahun 2023 dengan judul “Analisa Efisiensi Boiler Tipe *Circulating Fluidized Bed* (CFB) dengan Metode Langsung (*Direct Method*)” di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tarahan. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode II pada tahun 2023 di Kampung Sidomulyo, Kecamatan Bangunrejo, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung. Selain itu penulis pernah menjadi asisten Praktikum Elektronika, Sistem Akuisisi Data dan Teknologi Informasi untuk Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2023.

MOTTO

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.
Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”*

(Q.S. Al- Insyirah : 5-6)

*“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum,
sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri”*

(Q.S. Ar-Rad : 11)

*“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu
tidak akan pernah menjadi takdirku dan apa yang ditakdirkan
untukku tidak akan pernah melewatkanmu*

(Umar bin Khattab)

Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri

(Baskara Putra)

*“aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak
mungkin aku tidak ada artinya”*

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini ku persembahkan untuk

Orang tuaku

Bapak Sutrisno dan Ibu Sulati

Terimakasih atas segala kasih dan sayang serta dukungan baik materi maupun non materi yang telah diberikan kepadaku

Kakak

Lestari Trisnowati

Terimakasih kakakku tersayang yang telah memberikan bantuan moral maupun moril selama saya hidup

Bapak/Ibu dosen dan Civitas Akademika

Terimakasih telah memotivasi, memberikan dukungan, ilmu dan membimbing hingga dapat menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai sarjana

Almamater Tercinta

“UNIVERSITAS LAMPUNG”

KATA PENGANTAR

Segala puji atas syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Desain dan Realisasi Sistem Kontrol Suhu dan Kecepatan Pengaduk pada *Hot Plate Stirrer* Menggunakan Metode *Proportional Integral Derivative (PID)*”**”. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada suri tauladan Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya. Semoga kita semua dapat memperoleh pertolongan beliau di hari akhir kelak. Tujuan dari penulis skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagi pembaca.

Bandar Lampung, 28 November 2024
Penulis,

Mario Sulistiyono

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayat serta karunianya dan tak lupa iringan sholawat senantiasa kita sanjung agungkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang insya Allah kita akan mendapatkan syafaatnya diyaumul akhir kelak. Sehingga dalam pengerjaan, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul “**Desain dan Realisasi Sistem Kontrol Suhu dan Kecepatan Pengaduk pada *Hot Plate Stirrer* Menggunakan Metode *Proportional Integral Derivative (PID)*”**”. Penulis menyadari penulisan skripsi ini dapat tersusun dan terselesaikan dengan adanya bantuan, motivasi, dan do’a dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Sutrisno dan Ibu Sulati yang telah memberikan kasih sayang yang melimpah, dukungan dan semangat yang tulus bagi penulis dari kecil hingga saat ini.
2. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, waktu, motivasi, arahan dan semangat selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
3. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, waktu, motivasi, arahan dan semangat selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan arahan, kritik dan saran yang membangun selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen serta staff Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman dan motivasi kepada penulis selama perkuliahan.

7. Kakak penulis, Lestari Trisnowati yang telah memberikan semangat penuh dan menghibur selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
8. Mario Sulistiyono, ya! untuk diri saya sendiri. Terimakasih sudah selalu berjuang untuk menjadi lebih baik dan bertanggung jawab menyelesaikan apa yang sudah dimulai. Semoga ilmu yang telah kudapatkan ini dapat bermanfaat untuk diri sendiri dan banyak orang.
9. Seluruh teman – teman KBK Fisika Instrumentasi dan seluruh teman – teman Jurusan Fisika Angkatan 2020, yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terimakasih selalu memberikan semangat dan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Kepada seseorang yang namanya tidak bisa penulis sebutkan, seseorang yang pernah hidup bersama penulis dan menjadi bagian dari perjalanan cinta penulis. Terimakasih untuk patah hati dan seluruh kebahagiaan yang telah diberikan saat proses penyusunan skripsi ini. Ternyata perginya Anda dari kehidupan penulis memberikan cukup motivasi untuk terus maju dan berproses menjadi pribadi yang jauh lebih baik, dewasa, serta menjadi pribadi yang lebih memahami bahwa setiap orang ada masanya dan setiap masa ada orangnya.
11. Terakhir kepada jodoh Mario Sulistiyono, kelak kamu adalah salah satu alasan penulis menyelesaikan skripsi ini, meskipun untuk saat ini keberadaanmu tidak tahu dimana, penulis meyakini bahwa sesuatu yang ditakdirkan menjadi milik kita akan menuju kepada kita bagaimanapun itu caranya. Skripsi ini menjadi bukti nyata bahwa tidak ada perempuan manapun yang menemani perjuangan penulis saat menyelesaikan tugas akhir ini, jika nanti bertemu denganku sebagai jodoh di masa depan, aku harap kamu tidak harus merasakan perasaan cemburu perihal nama lain yang ada disini, semoga kelak kita akan cepat bertemu.

Bandar Lampung, 28 November 2024

Mario Sulistiyono

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Teori Dasar	9
2.2.1 Motor DC	9
2.2.2 Magnet	13

2.2.3	Catu daya (<i>Power Supply</i>)	15
2.2.4	Elemen Pemanas (<i>Heater</i>)	17
2.2.5	Sistem Kontrol <i>Proportional Integral Derivative</i> (PID)	20
2.2.6	<i>Pulse with Modulation</i> (PWM)	27
2.2.7	Arduino	29
2.2.8	Sensor Efek Hall (<i>Hall Effect Sensor</i>)	32
2.2.9	Termokopel	34
2.2.10	<i>AC Light Dimmer</i>	37

III. METODE PENELITIAN

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	40
3.3	Prosedur Penelitian	41
3.3.1	Desain Alat	43
3.3.2	Perancangan Sistem Pengaduk	43
3.3.3	Perancangan Sistem Pemanas	45
3.3.4	Perancangan Elektronik	46
3.3.5	Perancangan Sistem	47
3.3.6	Pengujian Alat <i>Hot Plate Stirrer</i>	48

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Perangkat Keras <i>Hot Plate Stirrer</i>	52
4.2	Kalibrasi Alat <i>Hot Plate Stirrer</i>	56
4.2.1	Kalibrasi Sensor Efek Hall	56
4.2.2	Kalibrasi Sensor Termokopel Tipe-K	62
4.3	Spesifikasi Perangkat	68

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1	Simpulan	69
5.2	Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip Kerja motor DC	9
Gambar 2.2 Struktur motor DC	10
Gambar 2.3 Konstruksi sebuah komutator dari motor DC (a) Segmen komutator (b) Pemasangan komutator (c) Susunan komutator	11
Gambar 2.4 Konstruksi jangkar (a) Jangkar beralur (b) Lempeng plat jangkar	12
Gambar 2.5 Kumbaran jangkar	13
Gambar 2.6 Medan magnet pada magnet batang, S adalah kutub selatan, U adalah kutub utara, dan B adalah medan magnet.....	14
Gambar 2.7 Rangkaian penyearah (a) Transformator dengan CT (b) Transformator tanpa CT.....	16
Gambar 2.8 Elemen pemanas dasar (a) <i>Coil heater</i> (b) <i>Infra red heater</i> (c) <i>Heater silica</i>	19
Gambar 2.9 Elemen pemanas lanjut (a) Spiral melingkar (b) Tabular (c) Spiral planplanar	20
Gambar 2.10 (a) Diagram blok kontrol <i>propotional</i> (b) Relasi masukan dan keluaran kontrol <i>proportional</i>	22
Gambar 2.11 Diagram blok kontrol <i>proportional integral</i>	23
Gambar 2.12 Aksi kontrol <i>proportional integral</i> (PI).....	24
Gambar 2.13 Diagram blok kontrol <i>proportional derivative</i>	25
Gambar 2.14 Aksi kontrol <i>proportional derivative</i>	25
Gambar 2.15 Diagram blok kontrol PID (a) Bentuk <i>dependent</i> (b) Bentuk <i>Independent</i>	26
Gambar 2.16 Aksi kontrol PID.....	27
Gambar 2.17 <i>Duty cycle</i> dan sinyal PWM	28

Gambar 2.18 Bagian-bagian arduino mega 2560	31
Gambar 2.19 Prinsip <i>hall element</i> tanpa medan magnetik	33
Gambar 2.20 Prinsip <i>hall element</i> dengan medan magnetik	33
Gambar 2.21 (a) sensor termokopel (b) konstruksi sensor termokopel.....	35
Gambar 2.22 Rangkaian membaca suhu dari termokopel menggunakan MAX6675.....	36
Gambar 2.23 Rangkaian <i>AC light dimmer</i>	38
Gambar 2.24 Simbol TRIAC.....	38
Gambar 2.25 Prinsip kerja ZCD pada rangkaian kontrol TRIAC	39
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.	42
Gambar 3.2 Desain alat penelitian.....	43
Gambar 3.3 (a) Desain sistem pengaduk (b) Skema elektronika sistem pengaduk.....	44
Gambar 3.4 Skema elektronika sistem pemanas.	45
Gambar 3.5 Perancangan elektronika alat <i>hot plate stirrer</i>	46
Gambar 3.6 Diagram blok perancangan sistem.....	47
Gambar 3.7 Grafik stabilitas kecepatan pengaduk.	50
Gambar 3.8 Grafik stabilitas suhu.	50
Gambar 3.9 Grafik pengulangan suhu pada 100 °C, 200 °C dan 300 °C.....	51
Gambar 4.1 Realisasi alat <i>hot plate stirrer</i> tampak depan.	52
Gambar 4.2 Alat <i>hot plate stirrer</i> tampak dalam (a) komponen didalam box alat.....	54
Gambar 4.3 Tampak dalam keramik <i>hot plate</i>	55
Gambar 4.4 Grafik stabilitas rata-rata kecepatan pengaduk (a) 100 sampai 600 RPM (b) 700 sampai 1.200 RPM.....	59
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara tegangan keluaran arduino dan <i>driver</i> motor.....	60
Gambar 4.6 Grafik hubungan hasil pengukuran rata-rata kecepatan pengaduk terhadap <i>setpoint</i> kecepatan pengaduk.	61
Gambar 4.7 Grafik stabilitas rata-rata suhu.....	65
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara suhu dan waktu.	66
Gambar 4.9 Grafik pengulangan suhu.....	67

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Data pengujian dan kalibrasi kecepatan pengaduk	48
Tabel 3.2 Data pengujian dan kalibrasi suhu	49
Tabel 3.3 Data pengujian pengulangan suhu.....	49
Tabel 4.1 Bagian dan fungsi tombol pada <i>keypad</i>	53
Tabel 4.2 Data kalibrasi kecepatan pengaduk selama 1 jam.....	58
Tabel 4.3 Data kalibrasi suhu selama 1 jam.....	64
Tabel 4.4 Spesifikasi alat <i>hot plate stirrer</i>	68

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laboratorium merupakan ruang penelitian yang terdiri dari bermacam alat penelitian yang mendukung di bidang fisika, kimia, biologi, farmasi maupun industri. Beberapa alat laboratorium yang sering dipakai ialah inkubator, tanur, *oven*, pembakar bunsen dan *hot plate*. Inkubator digunakan untuk proses fermentasi media perkembangan dalam uji coba mikrobiologi. Tanur berfungsi sebagai pemanas yang dapat mencapai suhu hingga 1.000 °C. *Oven* digunakan untuk mengeringkan alat dan bahan laboratorium yang masih dalam keadaan basah. Pembakar bunsen digunakan untuk memanaskan larutan, mengubah fasa zat, uji nyala, dan sterilisasi sederhana. *Hot plate* digunakan untuk memanaskan larutan. Alat-alat ini tersedia di suatu laboratorium dalam jumlah yang terbatas, sehingga ketika diperlukan untuk pelaksanaan riset, peneliti harus berhubungan dengan laboratorium lainnya untuk melakukan penelitian (Junaidi dkk., 2020).

Salah satu alat yang sering digunakan oleh peneliti adalah *hot plate stirrer*. *Hot plate stirrer* adalah salah satu alat laboratorium yang digunakan untuk mencampurkan semua bahan menjadi homogen dengan proses pengadukan dan pemanasan. *Hot plate stirrer* pertama kali dibuat oleh ilmuwan asal Amerika Serikat oleh Richard Stringham pada tahun 1917. *Hot plate stirrer* bekerja dengan memanaskan cairan atau campuran zat dalam wadah melalui elemen pemanas yang terletak dibawah permukaan datar (lempengan pemanas) dan motor *direct current* (DC) sebagai sistem pengaduk yang terintegrasi dengan magnet untuk menggerakkan batang pengaduk (*stir bar*) yang diletakan dalam cairan di dalam wadah.

Penelitian lainnya juga dilakukan untuk membuat alat *hot plate stirrer*. Penelitian yang telah dilakukan oleh Irsyad dkk. (2016) yaitu alat *magnetic stirrer*. Alat yang dirancang menggunakan motor DC sebagai sistem pengaduk dan magnet yang berputar diletakkan di dalam wadah. Alat yang dirancang memiliki kecepatan pengaduk hingga 3.000 *rotation per minute* (RPM) dan pengaturan waktu selama 1 jam. Pada penelitian ini hanya sebatas membuat alat pengaduk dengan pengatur waktu yang dikendalikan menggunakan potensiometer sebagai masukan.

Hot plate stirrer juga dikembangkan oleh Junaidi dkk. (2020) yang dimana kontrol kecepatan dan temperaturnya menggunakan teknik *pulse width modulation* (PWM) berbasis arduino. Arduino berfungsi sebagai pusat kontrol untuk mengoperasikan sistem kecepatan putar motor DC dan temperatur serta sebagai penghasil sinyal PWM. Berdasarkan data hasil pengujian alat yang telah dikembangkan memiliki batas maksimum pengukuran kecepatan putar yaitu 1.200 RPM dengan toleransi pengukuran kecepatan putar sebesar 5 RPM. Alat yang telah dikembangkan ini juga memiliki kemampuan pengukuran temperatur mencapai 300 °C dengan toleransi pengukuran temperatur sebesar 5 °C.

Menurut Prasetyo dkk. (2020) pencampuran zat pada alat *hot plate stirrer* akan lebih cepat jika menggabungkan operasi pengadukan dengan pemanasan secara bersamaan. Penelitian multi *hot plate stirrer* juga dikembangkan oleh Prasetyo dkk. (2020) untuk memudahkan mencampur beberapa sampel secara individu maupun simultan dalam satu waktu. Pada sistem pengaduk dan suhu dikontrol melalui mikrokontroler. Pengontrolan kecepatan pengaduk dan suhu menggunakan kontrol *proportional integral* (PI). Kontrol PI merupakan jenis pengendalian yang banyak digunakan dalam sistem kontrol, keunggulan kontrol PI yaitu, respon yang lebih halus karena komponen *integral* membantu dalam meredam osilasi dan membuat sistem lebih stabil. Penggunaan kontrol PI bertujuan untuk membuat kerja sistem lebih efektif dan meminimalkan kesalahan yang terjadi. Kontrol PI memiliki karakteristik respon yang cukup cepat dan kestabilan yang baik.

Pengembangan penelitian *hot plate stirrer* menggunakan arduino saat ini masih banyak mengalami kendala, terutama pada pengaturan suhu. Salah satu kendala tersebut yaitu lebihnya pengukuran suhu pada alat dari *setpoint* atau masukan yang

diinginkan. Pada penelitian ini kontrol suhu ditambahkan modul *AC light dimmer* yang dikontrol melalui pin PWM untuk mengatur besar kecilnya tegangan untuk elemen pemanas yang digunakan. *AC light dimmer* adalah modul yang dikontrol melalui mikrokontroler dengan memanfaatkan sinyal PWM (Wahyudi dan Nugraha, 2023).

Selain sistem pemanas, pada penelitian ini juga akan memaksimalkan kinerja dari sistem pengadukan. *Hot plate stirrer* saat ini masih menggunakan masukan analog dan belum terpantau suhu dan kecepatan pengaduknya, sehingga pengguna harus menyediakan alat ukur termometer untuk mengukur suhu dan menyiapkan alat ukur *tachometer* untuk mengukur kecepatan pengadukan. Selain itu, pengguna juga harus menyiapkan *stopwatch* untuk memantau waktu pengadukan yang berlangsung.

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mendesain dan merealisasikan alat *hot plate stirrer* menggunakan metode *proportional integral derivative* (PID). Sistem kontrol PID merupakan sebuah sistem yang mempunyai sistem kerja secara loop tertutup. Metode PID terdiri dari tiga buah kontrol yaitu, *proportional* (P), *integral* (I) dan *derivative* (D) dimana masing masing mempunyai keunggulan dan kelemahan dalam responya. Pengabungan tiga buah kontrol tersebut bertujuan untuk memaksimalkan sistem dalam mencapai *set point* yang telah diberikan. Dalam aplikasinya sistem perlu mengatur nilai K_p , K_I dan K_D , agar sinyal respon keluaran yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan (Muharom dkk., 2021).

Komponen yang digunakan dalam pembuatan alat ini yaitu arduino mega 2560 sebagai sistem kendali, motor DC sebagai sistem pengadukan, *driver* L298N untuk mengatur tegangan dan pengendali motor, keramik *hot plate* sebagai alas, elemen pemanas sebagai sumber pemanas, sensor termokopel tipe-K berfungsi untuk mengukur suhu pada pelat pemanas, sensor efek hall berfungsi untuk mengukur kecepatan motor DC yang digunakan untuk pengadukan, *printed circuit board* (PCB) berfungsi untuk merangkai semua komponen yang digunakan, *liquid crystal display* (LCD) untuk menampilkan hasil proses dari arduino, *AC light dimmer* berfungsi untuk mengatur besar kecilnya tegangan untuk elemen pemanas yang

digunakan, *keypad* berfungsi untuk memasukkan nilai suhu, kecepatan dan waktu pengadukan ke mikrokontroler. Pembuatan alat ini merupakan inovasi dari penelitian sebelumnya, baik dari segi kontrol, sistem pengaduk dan juga elemen pemanas yang tersedia pada alat.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merealisasikan sistem kontrol PID pada alat *hot plate stirrer*?
2. Bagaimana mengkalibrasi sensor suhu yang digunakan pada alat *hot plate stirrer*?
3. Bagaimana mengkalibrasi sensor kecepatan yang digunakan pada alat *hot plate stirrer*?
4. Bagaimana alat *hot plate stirrer* mampu mencapai suhu yang ditentukan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merealisasikan sistem kontrol PID pada alat *hot plate stirrer*.
2. Mengkalibrasi sensor kecepatan pengaduk pada alat *hot plate stirrer*.
3. Mengkalibrasi sensor suhu pada alat *hot plate stirrer*.
4. Mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan alat *hot plate stirrer* mampu mencapai suhu yang ditentukan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Arduino yang digunakan yaitu arduino mega 2560.
2. Pengaduk yang digunakan yaitu motor DC dengan kecepatan pengaduk mencapai 1.200 RPM.

3. Elemen pemanas yang digunakan yaitu elemen pemanas jenis nikelin dengan kemampuan menghasilkan panas mencapai 300 °C.
4. Sensor kecepatan yang digunakan yaitu sensor efek hall dengan kemampuan pendeteksi medan magnet.
5. Sensor suhu yang digunakan yaitu sensor termokopel tipe-K dengan kemampuan pengukuran mencapai 300 °C.
6. Elemen penampil data yang digunakan yaitu LCD 20×4 untuk menampilkan suhu, kecepatan pengaduk dan waktu pengadukan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah.

1. Adanya alat *hot plate stirrer* berbasis arduino menggunakan metode PID.
2. Menyediakan alat pengaduk dan pemanas secara bersamaan untuk kebutuhan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian – penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian terkait mengenai *hot plate stirrer* dan mengembangkan sistem terbaru yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian agar kemudian dapat dikembangkan kembali untuk penelitian yang akan datang. Penelitian yang telah dilakukan oleh Junaidi dkk. (2020) mengenai kontrol kecepatan dan temperatur dengan teknik *pulse width modulation* (PWM) untuk aplikasi *hot plate stirrer* berbasis arduino. Pembuatan alat *hot plate stirrer* tersebut dilengkapi dengan arduino mega sebagai pusat operasi untuk mengoperasikan sistem kontrol kecepatan putar motor DC yang di tunjukkan dalam bentuk RPM dan temperatur yang di ukur menggunakan sensor termokopel tipe-K.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, alat *hot plate stirrer* ini memiliki batas maksimum pengukuran kecepatan putar yaitu 1.200 RPM dan memiliki ketelitian 2 RPM dengan toleransi pengukuran kecepatan putar yaitu sebesar 5 RPM dan toleransi masukan kecepatan putar yaitu sebesar 100 RPM. *Hot plate stirrer* ini memiliki kemampuan pengukuran temperatur mencapai 300 °C dan ketelitian pengukuran temperatur yaitu sebesar 0,25 °C dengan toleransi pengukuran temperatur yaitu sebesar 5 °C dan toleransi masukan temperatur yaitu sebesar 20 °C.

Zaifuddin dkk. (2021) telah melakukan penelitian mengenai *hot plate stirrer* pengatur panas otomatis dan kecepatan pengaduk berbasis PID. Penelitian ini dilengkapi dengan sensor suhu *infrared* MLX90614 untuk mengukur suhu larutan tanpa kontak langsung dengan larutan dan pengaduk menggunakan batang pengaduk (*stir bar*) yang dimasukkan kedalam larutan kimia dalam gelas ukur dan digerakkan oleh motor DC yang dilengkapi dengan magnet sehingga dapat menggerakkan

batang pengaduk yang terdapat pada gelas kimia. Berdasarkan hasil pada percobaan, nilai kesalahan tertinggi kecepatan motor diperoleh pada kecepatan 400 RPM sebesar 1,085% dan nilai kesalahan terendah pada kecepatan 800 RPM sebesar 0,195%. Berdasarkan hasil dari percobaan suhu diperoleh nilai kesalahan tertinggi pada suhu 30 °C sebesar 2% dan nilai kesalahan terendah terdapat pada suhu 40 °C sebesar 0,1%. Berdasarkan hasil dari percobaan *timer* tidak diperoleh kesalahan atau *error* 0% dengan membandingkannya dengan *stopwatch* karena untuk *timer* menggunakan modul *real time clock* (RTC).

Mulyatno dkk. (2021) telah melakukan penelitian mengenai *hot plate stirrer* dengan tampilan temperatur dan kecepatan motor. Penelitian ini dilengkapi dengan arduino uno yang menggunakan mikroprosesor AVR ATmega328P untuk mengontrol temperatur, timer, dan kecepatan motor yang bisa diatur melalui 4 tombol, menggunakan komponen sensor suhu LM35 sebagai sensor suhu dan *infrared obstacle avoiding* sebagai sensor kecepatan motor lalu ditampilkan ke LCD 20×4. Metode penelitian yang digunakan ialah metode *system development life cycle* (SDLC) yang terdiri dari tahapan analisa, desain, pembuatan dan pengujian. Hasil dari seluruh pengukuran *timer* antara alat dengan aplikasi *stopwatch* pada pengaturan 15, 30, dan 45 menit mendapatkan nilai presentase kesalahan kurang dari 5% lalu dari seluruh pengukuran kecepatan motor antara sensor pada alat dengan alat *tachometer* pada pengaturan 2.000 RPM, 2.500 RPM, dan 3.000 RPM mendapatkan nilai presentase kesalahan kurang dari 5% dan dari seluruh pengukuran suhu antara sensor pada alat dengan alat *thermometer* pada pengaturan 35 °C, 40 °C, 45 °C, dan 50 °C mendapatkan nilai presentase kesalahan kurang dari 5%.

Widiatmoko (2023) telah melakukan penelitian mengenai *hot plate magnetic stirrer* berbasis arduino terintegrasi *smartphone android*. Penelitian ini dilengkapi dengan arduino mega 2560, dua sensor suhu dan modul bluetooth. Arduino berfungsi sebagai pengendali berbagai komponen pada alat yang dirancang. Sensor suhu MLX90614 berfungsi untuk mendeteksi suhu pada gelas sampel dan sensor suhu termokopel dengan modul MAX6675 berfungsi untuk mendeteksi suhu pada pemanas. *Bluetooth* HC-05 digunakan untuk berkomunikasi serial dengan arduino

dan mengirim data nilai temperatur dan RPM ke perangkat *smartphone android*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pengujian sensor suhu MLX90614 pada gelas dengan perhitungan keakurasian sebesar 99,3% dan sensor suhu MAX6675 pada pemanas dengan perhitungan keakurasian sebesar 98,7% serta dapat terintegrasi dengan baik dan sinkronisasi dengan sistem *bluetooth* tanpa terjadi kesalahan. Pengujian saat pengiriman data melalui *bluetooth* ke *smartphone android* hanya mencapai maksimal jarak 6 meter baik di area ada penghalang dan tanpa penghalang, apa bila jarak melebihi 6 meter maka koneksi antara *bluetooth* dan *smartphone android* terputus, sehingga alat *hot plate* dengan *smartphone* dapat dihubungkan dengan batas jarak tertentu.

Indra dan Rahmat (2019) telah melakukan penelitian rancang bangun pemanas dan pengaduk larutan terintegrasi untuk sintesis material berbasis mikrokontroler. Pengaturan kecepatan putaran pada pengaduk yakni dengan teknik PWM, sedangkan untuk pengaturan temperatur pemanas menggunakan teknik kontrol otomatis pada sistem tertutup berupa PID dengan menggunakan pendekatan *tuning trial and error*. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan sesuai dengan kebutuhan alat untuk sintesis material polimer, karena polimer memiliki viskositas yang cenderung tinggi, maka kecepatan putaran motor dibuat mencapai 5.000 RPM dengan kondisi diberikan beban magnet. Pemberian beban magnet pada motor DC, pada penelitian ini pemberian beban magnet tersebut dapat menurunkan nilai tegangan dan kecepatan putaran motor yang dihasilkan dibandingkan kondisi tanpa beban magnet.

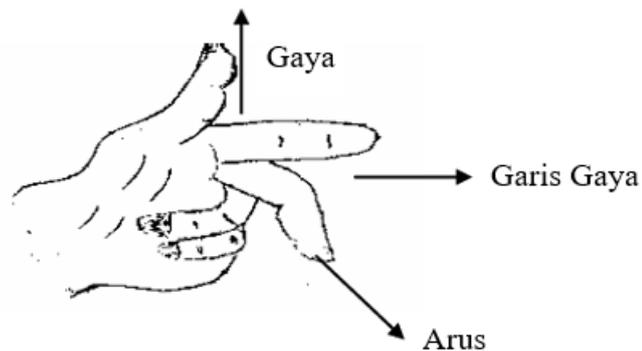
Selain itu, stabilitas dan daya tahan alat juga diuji karena penggunaan alat pada larutan polimer cenderung membutuhkan waktu yang lama (4 – 24 jam). Pengujian stabilitas dilakukan selama 24 jam menggunakan larutan *polyethylene glycol* (PEG) sebanyak 150 ml pada tiap variasi temperatur uji (80 °C, 100 °C, 120 °C, 140 °C, dan 160 °C) sembari diaduk pada kecepatan konstan (2.500 RPM) dan menghasilkan simpangan kesalahan pada pemanas kurang dari 2% dan pada pengaduk kurang lebih 8%. Pada akhir penelitian dilakukan juga pengujian terkait pengaruh kecepatan pengaduk yang dibuat konstan (2.500 RPM) terhadap viskositas larutan *polivinil alkohol* (PVA) 400 yang divariasikan persen massanya

(5 wt%, 10 wt%, 15 wt%) pada temperatur ruangan dengan hasil pengujian tersebut berupa penurunan viskositas PVA 400. Berdasarkan ketiga pengujian tersebut, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa pemanas dan pengaduk ini dapat digunakan untuk sintesis material polimer PEG dan PVA 400 dengan indikator berupa penurunan viskositas pada kedua larutan tersebut (Indra dan Rahmat, 2019).

2.2 Teori Dasar

2.2.1 Motor DC

Motor DC adalah suatu perangkat yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik berupa putaran (Aprilyani dkk., 2020). Motor listrik arus searah mempunyai prinsip kerja berdasarkan percobaan lorents yang menyatakan “Jika sebatang penghantar listrik yang berarus berada di dalam medan magnet maka pada kawat penghantar tersebut akan terbentuk suatu gaya”. Gaya yang terbentuk dinamakan gaya lorents (Bagia dan Parsa, 2018). Untuk menentukan arah gaya dapat digunakan kaidah tangan kiri atau kaidah telapak tangan kiri yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



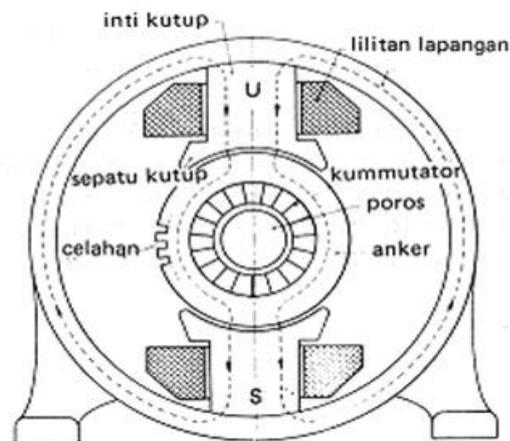
Gambar 2.1 Prinsip Kerja motor DC (Bagia dan Parsa, 2018).

Jika ibu jari, jari tengah dan jari telunjuk disusun seperti **Gambar 2.1**, garis gaya magnet sesuai dengan arah jari telunjuk, arus yang mengalir pada penghantar searah dengan jari tengah, maka gaya yang terbentuk pada kawat penghantar akan searah dengan arah ibu jari. Besarnya gaya dapat ditentukan dengan **Persamaan (2.1)**.

$$F = B.I.l.\sin\theta \quad (2.1)$$

Dimana, F adalah gaya yang terbentuk pada penghantar (N), I adalah kuat arus yang mengalir (A), B adalah kerapatan garis gaya magnet (Wb/m^2), l adalah panjang kawat penghantar yang berada dalam medan magnet (m), $\sin \theta$ adalah sudut antara garis gaya magnet dengan posisi kawat penghantar.

Untuk membangkitkan medan magnet, biasanya dipakai magnet-magnet listrik, walaupun ada juga yang menggunakan magnet permanen (terutama untuk motor DC kecil). Struktur motor DC dapat dilihat pada **Gambar 2.2**, yang terdiri dari stator, kutub-kutub magnet dan lilitan-lilitan penguat atau lilitan-lilitan *field* (lapangan). Ujung kutub yang berbatasan dengan celah udara di sebut sepatu kutub. Lilitan *field*-nya berada disekeliling inti kutub. Arus yang melalui lilitan *field* disebut arus lapangan, arus magnet atau arus penguat.



Gambar 2.2 Struktur motor DC (Bagia dan Parsa, 2018).

Bagian – bagian motor DC dan fungsinya menurut Bagia dan Parsa (2018) yaitu:

1. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub-kutub magnet buatan yang dibuat prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet berfungsi untuk mengalirkan arus listrik sebagai terjadinya proses elektromagnetis.

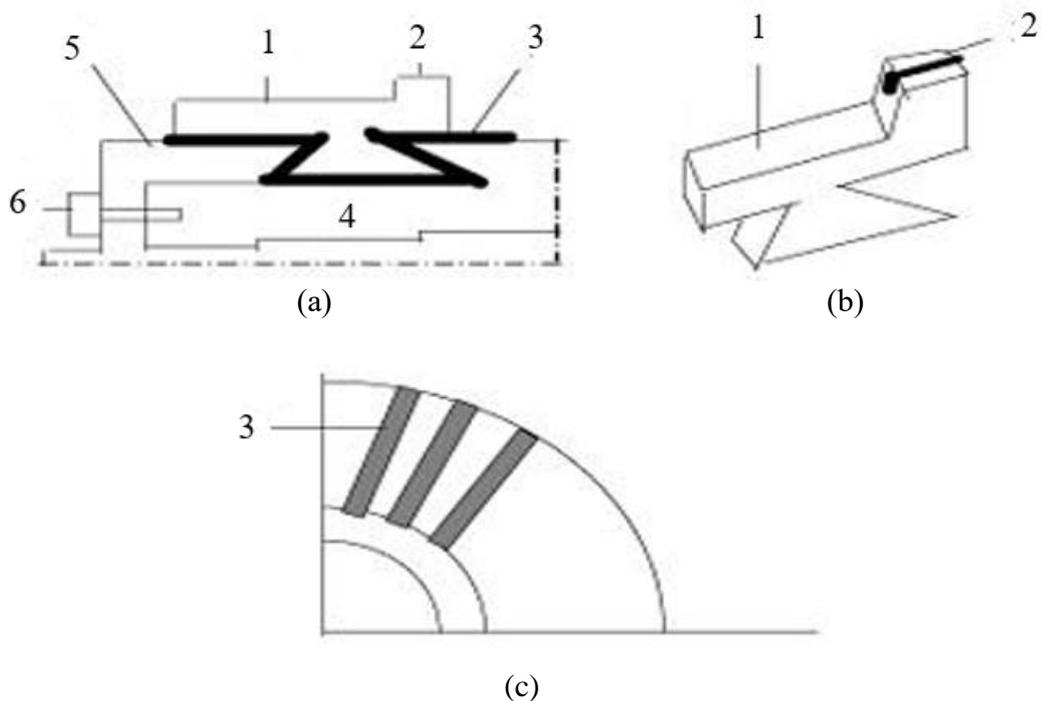
2. Sikat – sikat

Fungsi utama dari sikat-sikat adalah untuk jembatan bagi aliran arus dari lilitan jangkar dengan sumber tegangan. Disamping itu sikat-sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi. Agar gesekan antara komutator-komutator dan sikat tidak mengakibatkan ausnya komutator, maka bahan sikat lebih lunak dari komutator. Biasanya dibuat dari bahan arang (*coal*).

3. Komutator

Komutator yang digunakan dalam motor arus searah pada prinsipnya mempunyai dua bagian yaitu:

- Komutator bar, merupakan tempat terjadinya pergesekan antara komutator dengan sikat-sikat.
- Komutator riser, merupakan bagian yang menjadi tempat hubungan komutator dengan ujung dari lilitan jangkar.



Gambar 2.3 Konstruksi sebuah komutator dari motor DC (a) Segmen komutator (b) Pemasangan komutator (c) Susunan komutator (Bagia dan Parsa, 2018).

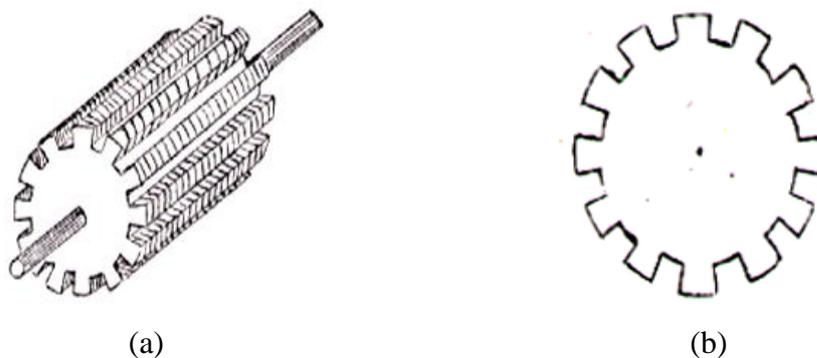
Angka yang terdapat pada **Gambar 2.3** menyatakan keterangan (1) komutator bar, (2) riser, (3) isolator, (4) poros, (5) ring pengunci, (6) baut.

Isolator yang digunakan yang terletak antara komutator yang satu dengan komutator yang lain harus dipilih sesuai dengan kemampuan isolator tersebut terhadap suhu yang terjadi dalam motor DC. Jadi selain sebagai isolator terhadap listrik, isolator juga harus mampu terhadap suhu tertentu. Berdasarkan jenis isolator yang digunakan terhadap kemampuan panas ini maka pada motor DC dikenal:

- a) Kelas A: kenaikan suhu operasional yang diizinkan adalah sekitar $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (katun, sutera, kertas).
- b) Kelas B: kenaikan suhu operasional yang diizinkan adalah sekitar $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ (serat asbes, serat gelas).
- c) Kelas H: kenaikan suhu operasional yang diizinkan adalah sekitar $185\text{ }^{\circ}\text{C}$ (mika, gelas, porselin, keramik).

4. Jangkar (angker)

Umumnya jangkar yang digunakan dalam motor DC adalah berbentuk selinder dan diberi alur-alur pada permukaannya untuk tempat melilitkan kumparan-kumparan tempat terbentuknya gaya gerak listrik (GGL). Seperti halnya pada inti kutub magnet, maka jangkar dibuat dari bahan berlapis-lapis tipis untuk mengurangi panas yang terbentuk karena adanya arus liar (*edy current*). Bahan yang digunakan jangkar ini sejenis campuran baja silikon. Adapun konstruksi dari jangkar yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



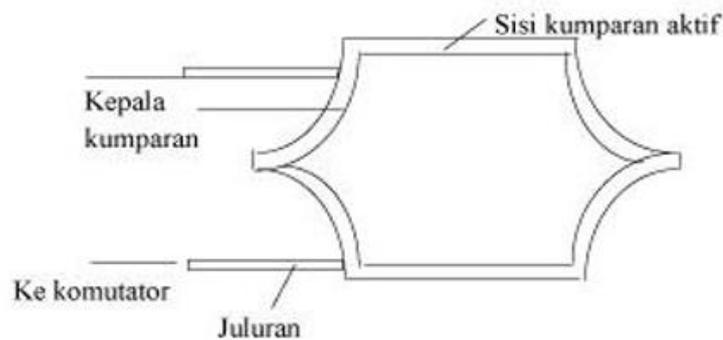
Gambar 2.4 Konstruksi jangkar (a) Jangkar beralur (b) Lempeng plat jangkar (Bagia dan Parsa, 2018).

5. Lilitan Jangkar (angker)

Lilitan jangkar pada motor arus searah berfungsi sebagai tempat terbentuknya GGL.

Pada prinsipnya kumparan terdiri atas:

- Sisi kumparan aktif, yaitu bagian sisi kumparan yang terdapat dalam alur jangkar yang merupakan bagian yang aktif (terjadi GGL lawan sewaktu motor bekerja).
- Kepala kumparan, yaitu bagian dari kumparan yang terletak di luar alur yang berfungsi sebagai penghubung satu sisi kumparan aktif dengan sisi kumparan aktif lain dari kumparan tersebut.
- Juluran, yaitu bagian ujung kumparan yang menghubungkan sisi aktif dengan komutator.

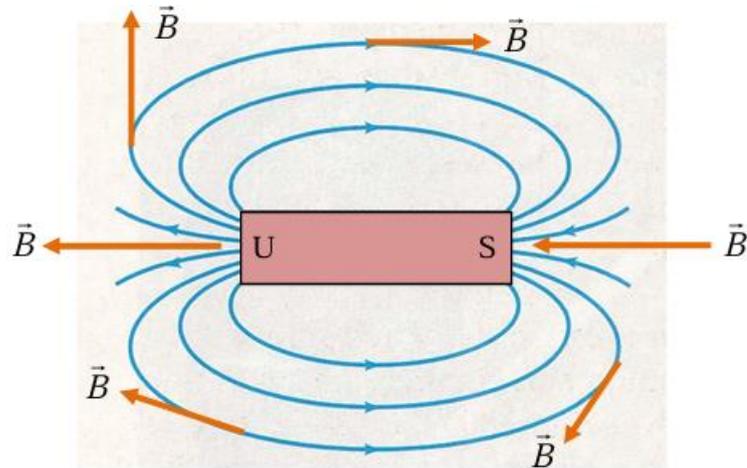


Gambar 2.5 Kumparan jangkar (Bagia dan Parsa, 2018).

2.2.2 Magnet

Magnet adalah suatu benda yang mampu menarik benda-benda lain di sekitarnya, yang memiliki sifat khusus. Magnet dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu benda magnetik (feromagnetik) dan benda non-magnetik. Benda feromagnetik adalah material yang dapat ditarik dengan kuat oleh magnet. Sementara itu, benda non-magnetik terbagi menjadi dua kategori yaitu paramagnetik dan diamagnetik. Paramagnetik adalah material yang ditarik lemah oleh magnet dan diamagnetik adalah material yang justru menolak medan magnet (Maldiputra dkk., 2018). Magnet adalah suatu objek yang memiliki medan magnet, magnet selalu mempunyai dua kutub, yaitu kutub utara dan kutub selatan. Garis-garis gaya magnet

(fluks) keluar dari kutub utara dan masuk ke kutub selatan (Fajar, 2017). Medan magnet ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Medan magnet pada magnet batang, S adalah kutub selatan, U adalah kutub utara, dan B adalah medan magnet (Mikrajuddin, 2017).

Menurut Ningsih (2018) berdasarkan asalnya magnet dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Magnet alam

Magnet alam merupakan magnet yang secara alami ditemukan di alam. Bumi merupakan magnet alam terbesar, sehingga bumi memiliki kutub utara dan kutub selatan sebagai ujung magnetnya. Magnet ini dihasilkan oleh pergerakan cairan inti bumi yang mengandung besi dan nikel. Fenomena ini menciptakan medan magnet yang melingkupi planet dan berfungsi sebagai pelindung dari radiasi kosmik serta partikel bermuatan dari matahari (angin matahari).

Selain itu, magnet alam juga dapat ditemukan dalam batuan yang mengandung unsur magnet, seperti magnetit (Fe_3O_4). Magnetit adalah mineral yang memiliki sifat magnetik secara alami dan mampu menarik benda-benda berbahan besi. Sifat magnetik dari batuan ini terjadi akibat pengaruh medan magnet bumi yang menyebabkan penyusunan domain magnetik di dalam mineral. Magnet alam sering digunakan dalam studi geologi untuk memahami sejarah medan magnet bumi.

2. Magnet buatan

Magnet buatan merupakan magnet yang sengaja dibuat oleh manusia untuk keperluan tertentu. Proses pembuatannya melibatkan bahan seperti besi, baja, atau logam campuran (seperti alnico dan neodymium) yang diberi perlakuan fisik atau kimia untuk menghasilkan sifat magnetik.

Berdasarkan sifat kemagnetannya, magnet buatan dapat dibagi menjadi dua kategori:

a) Magnet Tetap (Permanen)

Magnet tetap adalah magnet yang mempertahankan sifat kemagnetannya dalam jangka waktu yang relatif lama. Ini biasanya dibuat dengan memadukan bahan tertentu seperti alnico (aluminium, nikel, dan kobalt) atau neodymium. Magnet jenis ini banyak digunakan dalam perangkat elektronik, seperti speaker, motor listrik, dan generator.

b) Magnet Sementara

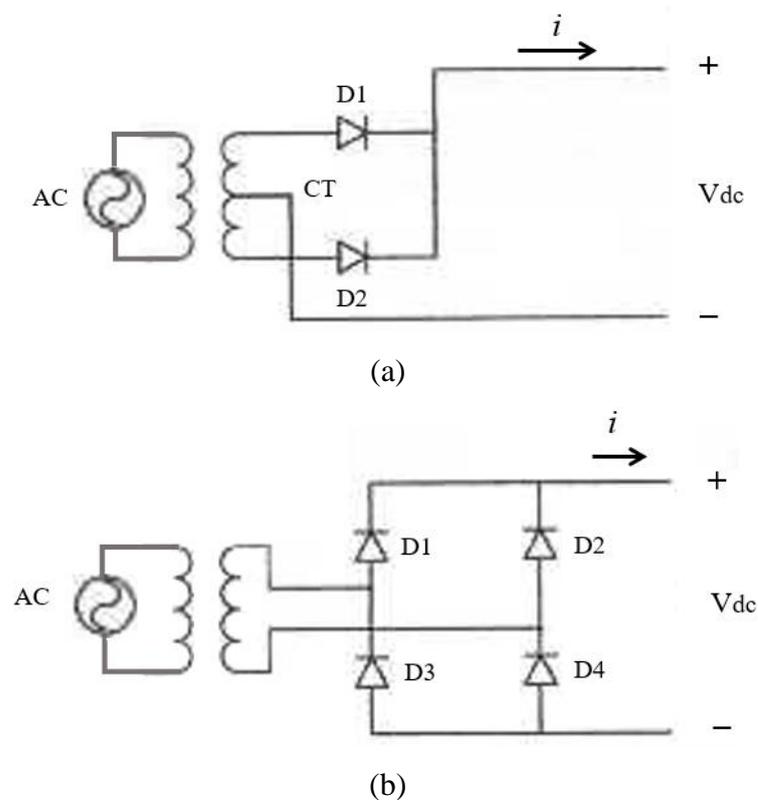
Magnet sementara adalah magnet yang memiliki sifat kemagnetan yang bersifat tidak tetap atau sementara. Magnet ini hanya bersifat magnetik ketika berada di dalam medan magnet atau ketika dialiri arus listrik. Contohnya adalah elektromagnet, yang digunakan dalam mesin-mesin seperti derek magnetik untuk mengangkat benda berat berbahan logam. Magnet sementara sangat berguna karena sifat kemagnetannya dapat dihidupkan dan dimatikan sesuai kebutuhan.

2.2.3 Catu daya (*Power Supply*)

Sumber tegangan listrik adalah semua yang terlibat dalam perubahan bentuk energi lain menjadi energi listrik. Secara umum, sumber tegangan listrik terbagi menjadi dua, yaitu tegangan listrik bolak-balik atau *alternating current* (AC) dan tegangan listrik searah atau *direct current* (DC). Sumber tegangan AC adalah sumber tegangan yang menghasilkan arus listrik bolak balik. Sedangkan sumber tegangan DC adalah sumber yang menghasilkan arus listrik searah.

Catu daya atau biasa dikenal *power supply* merupakan suatu rangkaian elektronik yang mengubah arus AC menjadi arus DC. Sebagai komponen penting dalam dunia elektronika, catu daya berperan sebagai sumber tenaga listrik yang dapat menyediakan energi untuk perangkat-perangkat elektronik. Selain itu, catu daya juga dapat digunakan sebagai perangkat yang memasok energi listrik untuk satu atau lebih beban listrik. Prinsip rangkaian catu daya terdiri atas komponen utama yaitu transformator, dioda dan kondensator (Cahyadi dkk., 2016).

Sumber tegangan listrik AC perlu diubah menjadi tegangan DC terlebih dulu, sebelum memanfaatkannya untuk mencatu peralatan tertentu. Peralatan yang digunakan untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC dinamakan penyearah. Penyearah dapat dibuat dengan menggunakan dioda. Penyearah dioda hanya dapat mengalirkan daya sisi tegangan AC ke sisi tegangan DC. Tegangan keluaran penyearah dioda besarnya konstan, tergantung pada besarnya tegangan masukannya. Jika besarnya tegangan masukan penyearah dioda diketahui, besarnya tegangan keluaran dapat dihitung (Supari, 2006).



Gambar 2.7 Rangkaian penyearah (a) Transformator dengan CT (b) Transformator tanpa CT (Supari, 2006).

Gambar 2.7 merupakan rangkaian penyearah dioda gelombang penuh, dapat menggunakan transformator dengan *center tap* (CT) dan dapat juga menggunakan transformator tanpa CT. Penyearah dioda gelombang penuh yang dirangkai menggunakan transformator tanpa CT disebut juga penyearah dioda jembatan penuh (*full bridge rectifier*).

Tegangan DC keluaran penyearah yang menggunakan transformator dengan CT tidak berupa tegangan DC murni, tetapi mempunyai *ripple*. Untuk mengurangi *ripple* tersebut dipasang kapasitor pada sisi keluaran penyearah. Kapasitor ini akan diisi muatan sehingga tegangannya mendekati nilai puncak sumber tegangan AC. Konsekuensinya, arus pada penyearah tidak kontinyu. Ketidakkontinyuan arus tersebut dapat dilihat dari tidak adanya arus yang mengalir melalui penyearah selama waktu tertentu pada setiap siklusnya (Supari, 2006).

2.2.4 Elemen Pemanas (*Heater*)

Elemen pemanas merupakan sebuah komponen yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi panas. Sebagai sumber panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*resistance wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah kawat niklin yang digulung menyerupai bentuk spiral dan dimasukkan dalam selongsong atau pipa sebagai pelindung, kemudian dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan (Ariffudin dan Wulandari, 2014).

Material yang umumnya digunakan sebagai elemen pemanas adalah konduktor listrik yang memiliki kemampuan baik dalam menghantarkan listrik. Untuk meningkatkan tingkat disipasi panas, terkadang konduktor listrik dicampur dengan material lain yang dapat meningkatkan kapasitas panas yang dihasilkan oleh konduktor tersebut. Beberapa contoh material tambahan yang digunakan seperti lapisan isolator atau keramik yang membungkus bagian konduktor. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan elemen pemanas terhadap

suhu tinggi. Menurut Meriadi dkk. (2018) beberapa elemen pemanas berdasarkan materialnya, yaitu:

1. Elemen metalik

Elemen metalik merupakan elemen pemanas tradisional yang terbuat dari gulungan, lempengan atau lembaran logam (metal) yang bersifat konduktor dan menghasilkan panas saat dialiri listrik. Resistivitas elemen metalik umumnya memiliki tingkat keakuratan sekitar 5%. Jenis campuran logam yang sering digunakan sebagai elemen metalik yaitu, nikel-kromium, besi-nikel-kromium dan besi.

2. Elemen lembaran (*sheathed elements*)

Untuk melindungi bagian elemen pada berbagai kondisi lingkungan sekitar dalam berbagai aplikasi pemanasan, terkadang bagian logam elemen dilapisi dengan lapisan isolasi yang memisahkan elemen metalik (logam) dari lapisan luar elemen. Elemen yang memiliki karakteristik ini dikenal sebagai elemen lembaran (*sheathed elements*) dan sering digunakan dalam aplikasi rumah tangga. Elemen ini terdiri dari bubuk magnesium oksida murni yang melapisi koil elemen tembaga, nikel atau *stainless steel* dalam bentuk lembaran. Selain magnesium oksida, pada aplikasi industri juga digunakan mika sebagai pelapis isolator pada elemen pemanas. Pemilihan bahan yang digunakan tergantung pada pemakaian yang dipertimbangkan dengan memperhitungkan kapasitas transfer panas, kemampuan mekanis dan listrik serta ketahanan terhadap korosi.

3. Elemen keramik

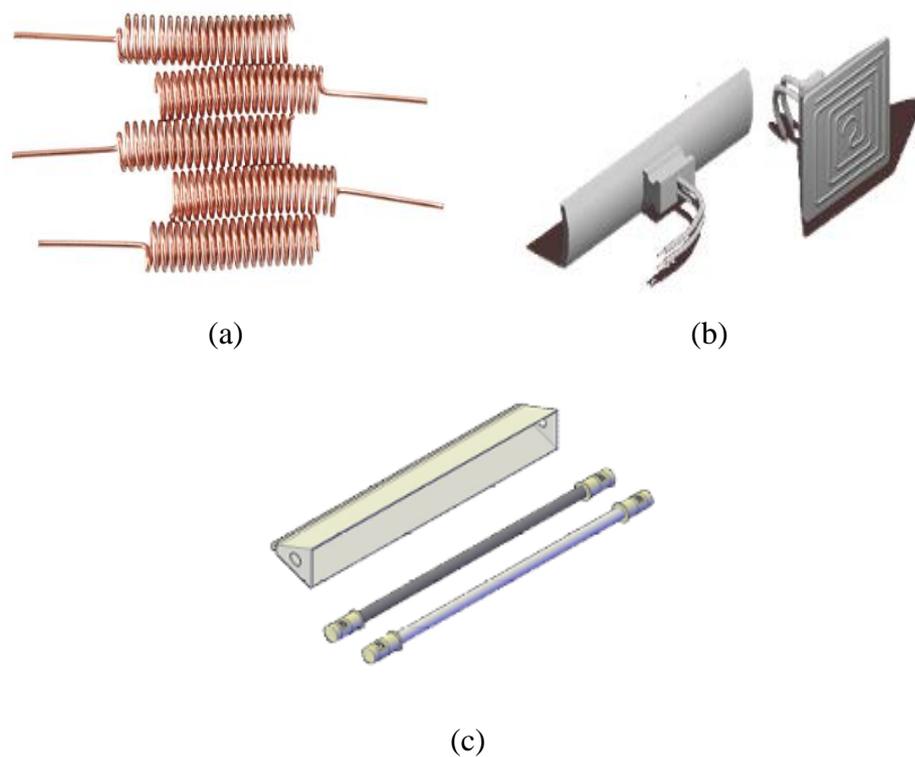
Elemen keramik digunakan untuk aplikasi pemanasan dengan suhu yang sangat tinggi. Material yang digunakan untuk elemen pemanas dapat berupa silikon karbida, molibdenum disilisida, lanthanum kromite, dan zirkonia. Material-material tersebut memiliki sifat konduktivitas listrik yang memungkinkan berfungsi sebagai elemen pemanas. Mengingat sifat keramik yang cenderung mudah pecah dan retak, bagian penopang elemen jenis ini harus memberi ruang gerak yang cukup agar elemen keramik dapat menyesuaikan pemuaian dan penyusutan yang terjadi

selama proses pemanasan. Hal ini diperlukan untuk mencegah elemen keramik mengalami keretakan atau pecah.

Bentuk dan tipe dari elemen pemanas bermacam-macam disesuaikan dengan fungsi, tempat pemasangan dan media yang akan dipanaskan. Menurut Ariffudin dan Wulandari (2014) adapun jenis dan bentuk dari elemen pemanas adalah sebagai berikut:

1. Elemen pemanas bentuk dasar

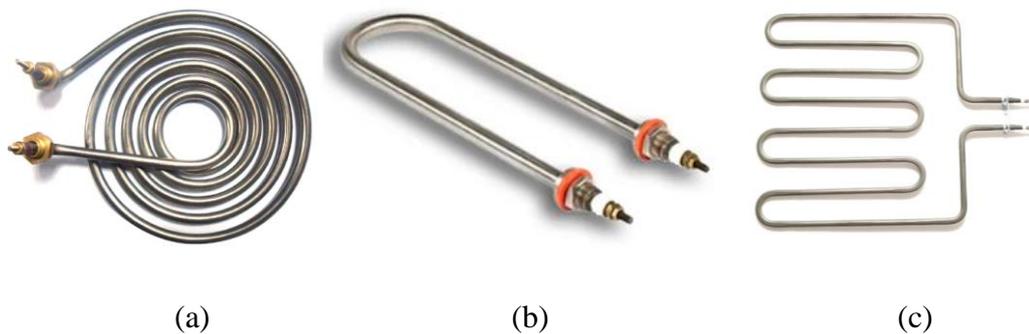
Elemen pemanas bentuk dasar merupakan elemen pemanas yang *resistance wire* hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk ini adalah *ceramik heater*, *infra red heater*, *silica*, dan *quartz heater*. Bentuk elemen pemanas dasar ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Elemen pemanas dasar (a) *Coil heater* (b) *Infra red heater* (c) *Heater silica* (Ariffudin dan Wulandari, 2014).

2. Elemen pemanas bentuk lanjut

Elemen pemanas bentuk lanjut merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam untuk maksud sebagai penyesuaian terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah *mild stell*, *stainless stell*, tembaga dan kuningan. Pemanas yang termasuk dalam jenis ini adalah *tubular heater*, *catridge heater band*, *nozzle* dan *stripe heater*. Bentuk elemen pemanas lanjut ditunjukkan pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Elemen pemanas lanjut (a) Spiral melingkar (b) Tabular (c) Spiral planplanar (Ariffudin dan Wulandari, 2014)

2.2.5 Sistem Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)

Sistem kontrol *proportional integral derivative* (PID) adalah sistem kontrol dengan mekanisme umpan balik yang biasanya digunakan pada sistem kendali dalam dunia industri. Sistem kontrol PID secara kontinyu menghitung dan meminimalisir selisih antara nilai *set point* dengan nilai terukur, selisih ini disebut dengan *error* (Agustian dkk., 2022). Kontrol PID dapat bekerja dengan mekanisme umpan balik untuk mengoreksi kesalahan antara nilai kesalahan suatu pengukuran dengan nilai penyimpangannya. Pada umumnya sistem kontrol PID dapat digunakan secara bersama atau berpisah, karena setiap kontrol memiliki keunggulan tersendiri diantaranya kontrol *proportional* dapat mempercepat *rise time*, kontrol *integral* dapat memperkecil kesalahan (*error*) serta kontrol *derivative* dapat mengurangi *overshoot* atau *undershoot* (Irhas dkk., 2020).

Sistem kontrol PID ideal dikenal juga dengan nama struktur PID Tipe A atau struktur PID *non-interacting*. Struktur ini adalah struktur PID yang umum ditemukan pada sebagian besar buku-buku teks kontrol. Persamaan matematis kontroler PID ideal secara umum ditunjukkan pada **Persamaan (2.2)** atau **Persamaan (2.3)**.

$$CO(t) = K_P \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.2)$$

Atau

$$CO(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Dengan $CO(t)$ adalah keluaran kendali, $e(t)$ *error* keluaran terhadap *set point*, K_P, K_I, K_D adalah konstanta *proportional, integral, dan derivative*, T_I adalah *time integral* dan T_D adalah *time derivative*.

Kontrol PID pada **Persamaan (2.2)** dan **Persamaan (2.3)** dikenal juga dengan istilah PID ideal bentuk *dependent* dan PID ideal bentuk *independent*. Kedua istilah tersebut mengacu pada dependensi (ketergantungan) setiap suku persamaan terhadap perubahan nilai *gain* proporsional (K_P). Bentuk **Persamaan (2.2)** perubahan nilai K_P tidak saja berpengaruh pada nilai penguatan *proportional*, tetapi juga akan mempengaruhi keluaran suku integrator dan suku derivator, sehingga persamaan tersebut dinamakan bentuk *dependent*, sedangkan untuk struktur PID pada **Persamaan (2.3)** perubahan nilai K_P hanya akan mempengaruhi suku keluaran *proportional* saja sedangkan keluaran kontrol dari suku integrator dan derivator tidak terpengaruh, sehingga dengan demikian persamaan tersebut dinamakan bentuk *independent*.

Dalam transformasi laplace, **Persamaan (2.2)** dan **Persamaan (2.3)** tersebut dapat direpresentasikan dalam **Persamaan (2.4)** dan **Persamaan (2.5)**.

$$CO(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (2.4)$$

$$CO(s) = \left(K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s \right) \quad (2.5)$$

Menurut Setiawan (2008) ada 4 jenis kontrol yang dapat digunakan dalam pengontrolan variabel proses, yaitu:

a) Kontrol *Proportional* (P)

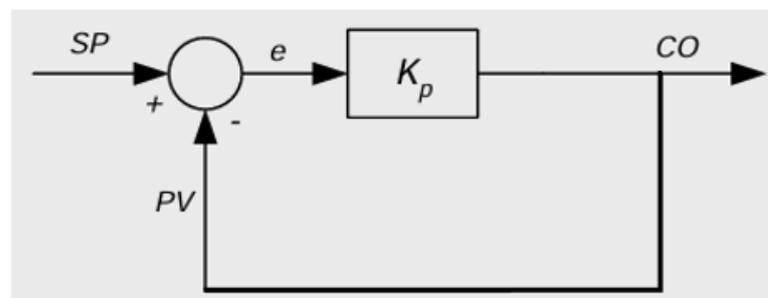
Berdasarkan **Persamaan (2.2)**, kontrol *proportional* secara praktis dapat diperoleh dengan cara mengatur nilai T_I dan T_D sama dengan nol (atau $K_I = K_D = 0$). Sehingga, hubungan antara keluaran kontrol dengan *error* pada aksi kontrol *proportional* dapat ditulis seperti **Persamaan (2.6)**.

$$CO(t) = K_p e(t) \quad (2.6)$$

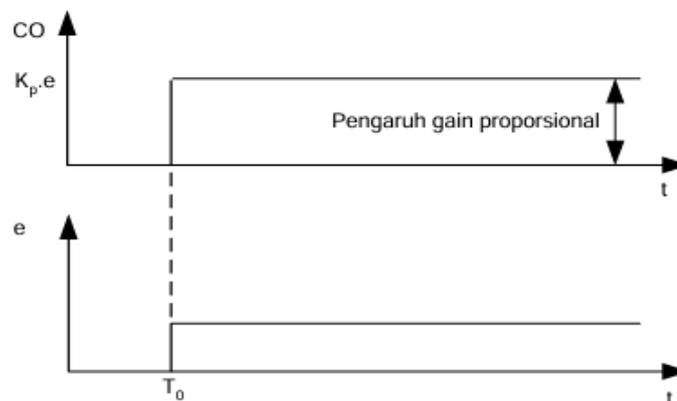
Dalam tranfosrmasi laplace, **Persamaan (2.6)** tersebut dapat direpresentasikan dalam **Persamaan (2.7)**.

$$CO(s) = K_p \quad (2.7)$$

Diagram blok untuk **Persamaan (2.6)** ditunjukkan pada **Gambar 2.10 (a)**.



(a)



(b)

Gambar 2.10 (a) Diagram blok kontrol propotional (b) Relasi masukan dan keluaran kontrol *proportional* (Setiawan, 2008).

Dari **Gambar 2.10 (b)** nampak bahwa besar keluaran kontrol akan selalu sebanding dengan besar sinyal *error*. Aksi kontrol *proportional* dalam menanggapi perubahan *setpoint* atau gangguan akan selalu menunjukkan *error steady state* pada keluaran proses yang dikontrolnya. Besar-kecilnya *error steady state* sangat tergantung pada nilai penguatan (*gain*) yang dipilih, semakin besar K_P yang digunakan, maka *error steady state* akan semakin mengecil. Pembesaran nilai *gain* tersebut selain akan memperkecil *error steady state* juga akan mempercepat respon keluaran proses.

b) Kontrol *Proportional Integral* (PI)

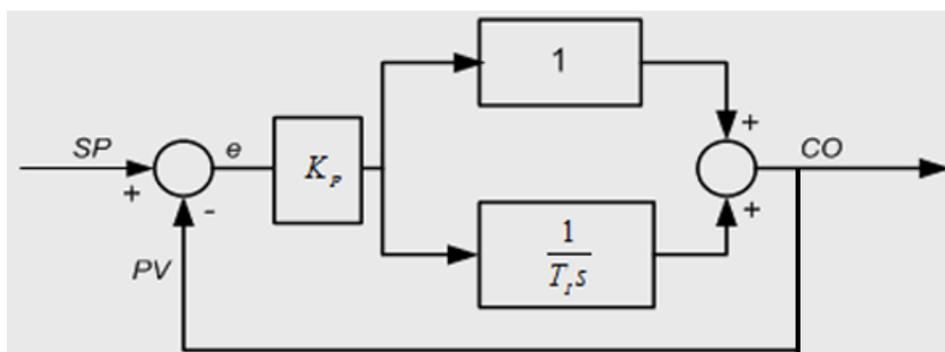
Kontrol *proportional integral* biasanya digunakan untuk pengontrolan proses yang memiliki dinamika relatif cepat yaitu seperti aliran, tekanan dan level. Untuk sebuah modul kontrol PID, Kontrol PI dapat diperoleh dengan cara mengatur nilai *integral* sama dengan nol, secara matematis dapat direpresentasikan pada **Persamaan (2.8)**.

$$CO(t) = K_P \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau \right) \quad (2.8)$$

Dalam transformasi laplace, **Persamaan (2.8)** dapat direpresentasikan dalam **Persamaan (2.9)**.

$$CO(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (2.9)$$

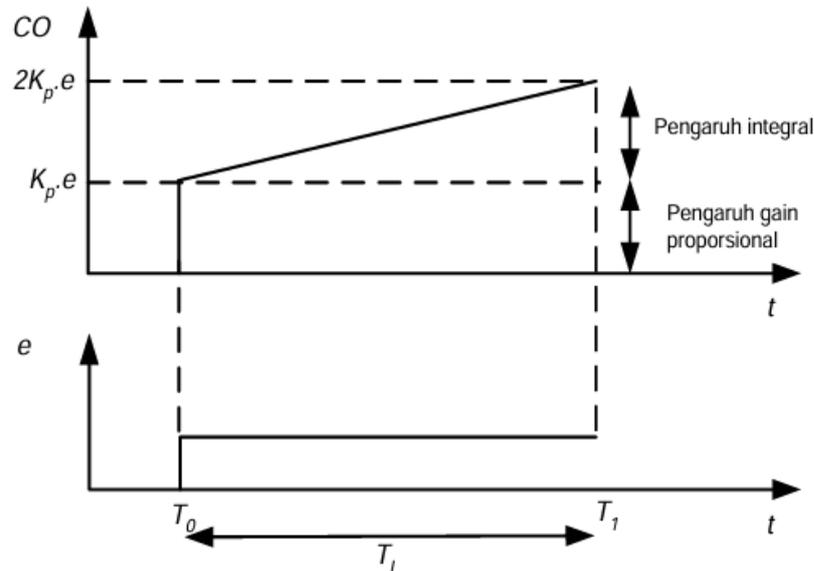
Diagram blok untuk **Persamaan (2.9)** ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Diagram blok kontrol *proportional integral* (Setiawan, 2008).

Penambahan blok integrator di dalam kontroler pada dasarnya untuk menggantikan sinyal bias manual (atau manual reset) yang berfungsi menghilangkan *error steady*

state. Selama masih terdapat selisih atau *error* antara *setpoint* dengan variabel proses maka keluaran kontroler PI akan selalu membesar atau mengecil. Aksi kontrol *proportional integral* ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Aksi kontrol *proportional integral* (PI) (Setiawan, 2008).

Untuk nilai K_P dan T_I yang dipilih, kontribusi suku *integral* akan sama nilainya dengan pengaruh kontrol *proportional* setelah selang waktu T_I . Seperti halnya dengan *gain proportional*, pemilihan parameter *integral* pada kontrol PI akan sangat mempengaruhi dinamika keluaran proses yang sedang dikontrol. Jika kedua parameter kontrol K_P dan T_I ini dipilih secara tepat, maka respon yang didapat akan optimal. Pembesaran atau pengecilan nilai K_P dan T_I dari nilai optimalnya dapat menyebabkan respon menjadi terlalu lambat atau terlalu berosilasi.

c) Kontrol *Proportional Derivative* (PD)

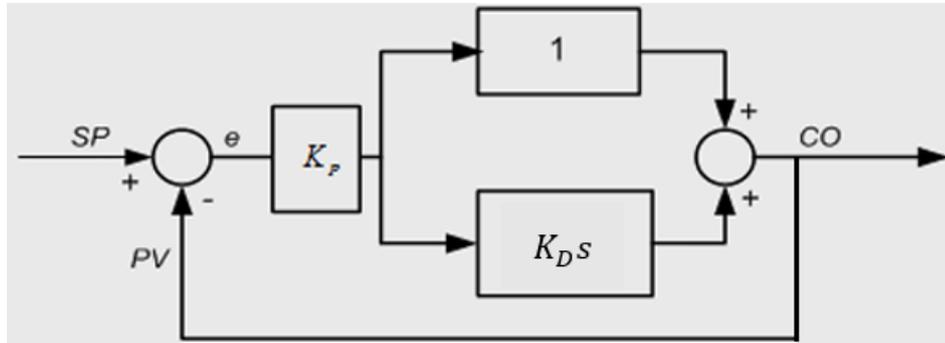
Dalam modul kontrol PID, Kontrol PD diperoleh dengan cara mengatur penguatan *derivative* pada struktur PID sama dengan nol, secara matematis dapat direpresentasikan pada **Persamaan (2.10)**.

$$CO(t) = K_P \left(e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.10)$$

Dalam transformasi laplace, **Persamaan (2.10)** dapat direpresentasikan dalam **Persamaan (2.11)**.

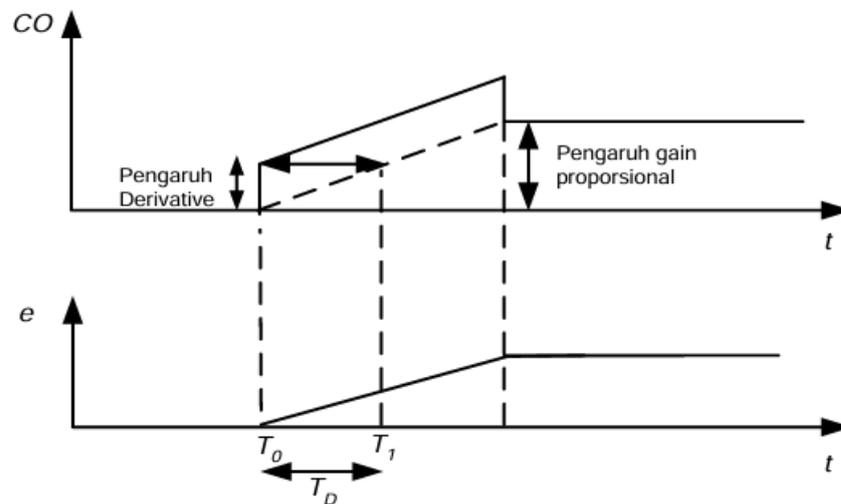
$$CO(s) = K_p(1 + K_D s) \quad (2.11)$$

Diagram blok untuk **Persamaan (2.11)** ditunjukkan pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Diagram blok kontrol *proportional derivative* (Setiawan, 2008).

Secara umum dapat dikatakan bahwa fungsi dari kontrol *derivative* adalah memperbaiki stabilitas dan mempercepat respon keluaran proses. Tetapi walaupun demikian penggunaan kontrol PD untuk pengontrolan proses jarang digunakan karena penggunaan mode kontrol PD ini akan selalu menghasilkan *error steady state*. Aksi kontrol *proportional derivative* ditunjukkan pada **Gambar 2.14**.

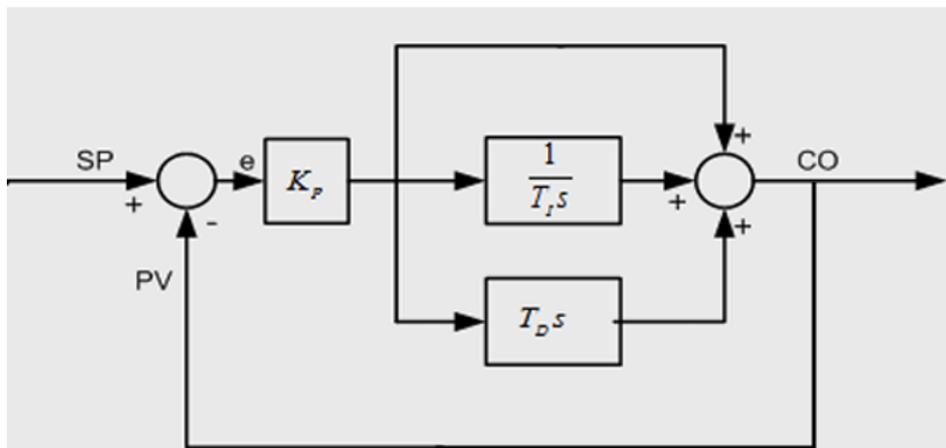


Gambar 2.14 Aksi kontrol *proportional derivative* (Setiawan, 2008).

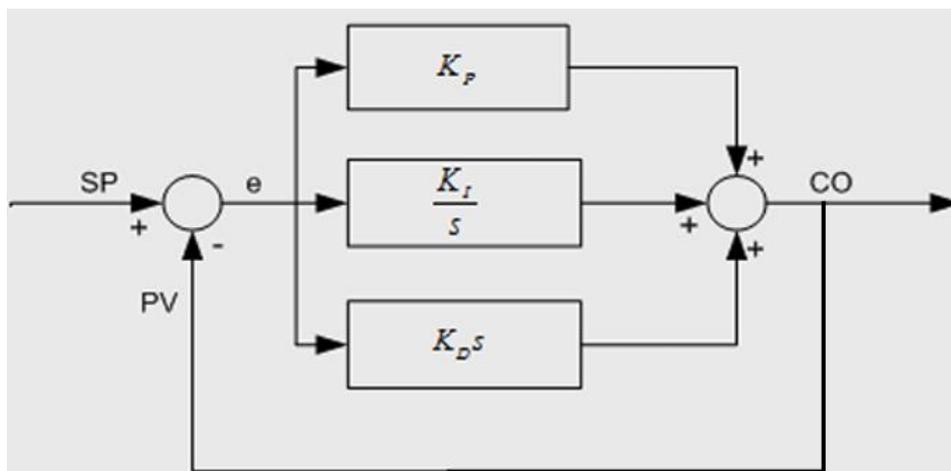
Sifat utama dari aksi kontrol PD adalah mendahului sinyal masukan (*error*). Dalam hal ini waktu *derivative* (T_D) adalah waktu yang diperlukan sehingga keluaran kontrol *proportional* besarnya sama dengan keluaran dari kontrol *derivative*.

d) Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)

Aksi kontrol PID pada dasarnya bertujuan untuk menggabungkan kelebihan komponen komponen dasar kontrol PID. Kontrol *proportional* berfungsi untuk mempercepat respon, kontrol *integral* berfungsi untuk menghilangkan *error steady state*, kontrol *derivative* berfungsi untuk memperbaiki sekaligus mempercepat respon transien. Secara matematis kontrol PID dapat direpresentasikan pada **Persamaan (2.2)** dan **Persamaan (2.3)**. Diagram blok kontrol PID ditunjukkan pada **Gambar 2.15**.



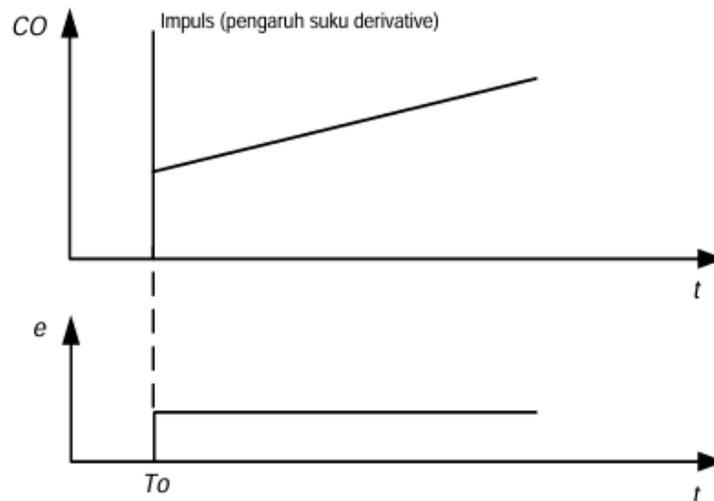
(a)



(b)

Gambar 2.15 Diagram blok kontrol PID (a) Bentuk *dependent* (b) Bentuk *Independent* (Setiawan, 2008).

Gambar 2.15 menunjukkan bahwa semua komponen pada kontroler PID jenis ideal ini bekerja pada masukan *error*. Hubungan antara masukan *error* dengan keluaran kontroler PID tersebut ditunjukkan pada **Gambar 2.16**.

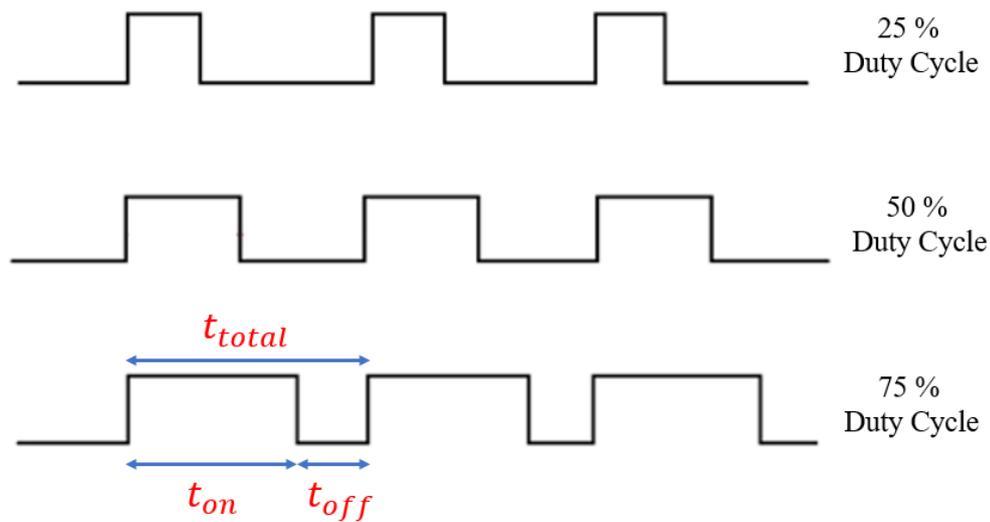


Gambar 2.16 Aksi kontrol PID (Setiawan, 2008).

2.2.6 Pulse with Modulation (PWM)

Pulse with Modulation (PWM) merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam pengaturan kecepatan motor DC dengan menggunakan mikrokontroler. Kecepatan motor DC tergantung dari daya yang diberikan atau sebanding dengan tegangan masukan ketika arus konstan. Semakin besar tegangan, maka semakin cepat putaran suatu motor DC (Pane dkk., 2019).

PWM juga merupakan suatu metode yang melibatkan perbandingan antara sinyal pembawa dengan sinyal modulasi untuk menghasilkan sinyal kotak dengan lebar pulsa yang berbeda. Lebar pulsa tersebut dapat disesuaikan melalui pengaturan *duty cycle*. *Duty cycle* merupakan persentase periode sinyal tinggi dan periode sinyal rendah. Hubungan antara presentase *duty cycle* akan berbanding lurus dengan tegangan rata rata yang dihasilkan. Sinyal PWM memiliki lebar pulsa yang bervariasi sesuai *duty cycle* (Akbar dan Riyadi, 2018). *Duty cycle* dan sinyal PWM ditunjukkan pada **Gambar 2.17**.



Gambar 2.17 Duty cycle dan sinyal PWM (Akbar dan Riyadi, 2018).

Dengan t_{on} adalah waktu tegangan berada pada posisi *high* atau berlogika 1 (s), t_{off} adalah waktu tegangan berada pada posisi *low* atau berlogika 0 (s) dan t_{total} adalah waktu satu siklus atau satu periode (s).

Persentase waktu dimana sinyal PWM tetap pada kondisi *high* disebut dengan siklus kerja atau *duty cycle*. Persamaan untuk menghitung siklus kerja atau *duty cycle* didefinisikan seperti **Persamaan (2.12)**.

$$D = \frac{t_{on}}{T} \times 100\% \quad (2.12)$$

Dengan D adalah *duty cycle* (%), t_{on} adalah waktu tegangan berada pada posisi *high* (s) dan T adalah waktu satu siklus atau satu periode (s).

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *duty cycle* dan dapat didefinisikan seperti **Persamaan (2.13)**.

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2.13)$$

Dengan V_{out} adalah tegangan keluaran (V), D adalah *duty cycle* (%) dan V_{in} adalah tegangan masukan (V).

Frekuensi sinyal PWM menentukan seberapa cepat PWM menyelesaikan satu periode. Satu periode adalah waktu ON dan OFF penuh dari sinyal PWM seperti

yang ditunjukkan pada **Gambar 2.17**. Persamaan untuk menghitung frekuensi ditunjukkan pada **Persamaan (2.14)**.

$$F = \frac{1}{T} \quad (2.14)$$

Dengan F adalah frekuensi (Hz) dan T adalah waktu satu siklus atau satu periode (s).

2.2.7 Arduino

Arduino merupakan suatu mikrokomputer yang dapat diprogram untuk berfungsi sebagai masukan dan keluaran melalui alat bantu yang menghasilkan hasil tertentu. Pada tahun 2005 Massimo Banzi dan David Cuartielles memperkenalkan arduino dengan tujuan menciptakan perangkat yang dapat mengendalikan proyek mahasiswa secara lebih terjangkau dari pada perangkat yang tersedia pada waktu itu (Fatmawati dkk., 2020). Arduino adalah sebuah platform komputasi fisik *open source* berbasiskan rangkain *input* atau *output* sederhana (I/O) dan lingkungan pengembangan yang mengimplementasikan bahasa *processing* untuk mengembangkan obyek interaktif mandiri atau dapat dihubungkan ke perangkat lunak pada komputer (Anantama dkk., 2020).

Arduino adalah platform pembuatan prototipe elektronik yang bersifat *open source hardware* yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan (Arifin dkk., 2016). Arduino adalah suatu kit elektronik atau papan rangkaian elektronik yang bersifat *open source*. Komponen utama arduino yaitu berupa chip mikrokontroler dengan jenis AVR yang diproduksi oleh perusahaan ATMEL. Arduino sendiri terbagi menjadi beberapa jenis, diantaranya arduino uno, arduino duemilanove, arduino mega, arduino nano, arduino romeo, dan lain-lain (Kholilah dan Al Tahtawi, 2016).

Menurut Junaidi dkk. (2020) bahwa arduino dikategorikan menjadi 2 macam yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

1. Perangkat keras (*hardware*)

Papan arduino terdiri dari sejumlah komponen. Beberapa blok komponen utama beserta fungsinya yaitu sebagai berikut.

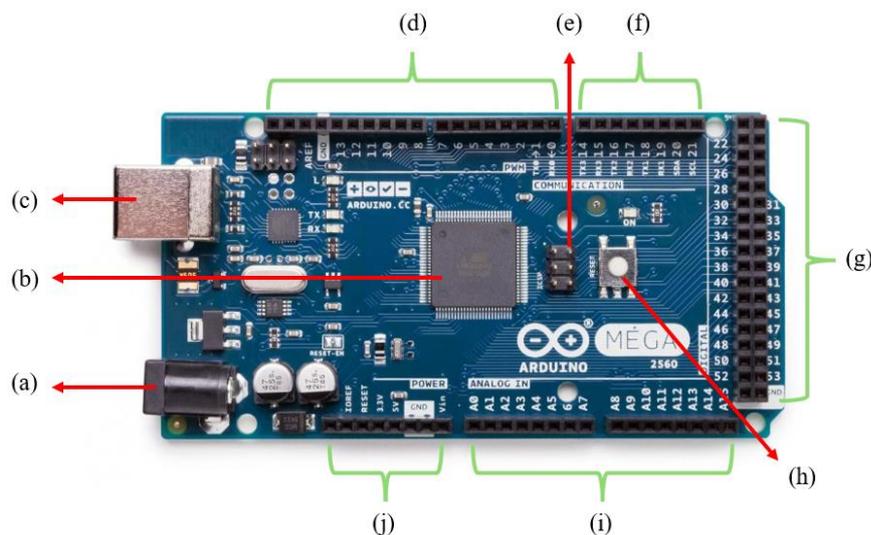
- a. Mikrokontroler merupakan bagian utama dari arduino yang berfungsi sebagai komputer mini dan dapat menerima serta mengirim informasi atau perintah ke perangkat yang terhubung dengannya.
- b. Catu daya eksternal digunakan untuk memberi daya pada board Arduino dengan tegangan yang diatur mulai dari 9 hingga 12 volt.
- c. USB plug digunakan untuk mengunggah suatu program ke mikrokontroler menggunakan kabel USB.
- d. Program *internal* merupakan kode perangkat lunak yang dapat diunggah ke mikrokontroler melalui port USB.
- e. Tombol reset yang berada pada papan arduino dapat digunakan untuk mengatur ulang mikrokontroler Arduino.
- f. Pin analog terdiri dari sejumlah pin, mulai dari A0 sampai A15. Pin ini digunakan untuk masukan atau keluaran analog. Jumlah pin analog pun bervariasi sesuai dengan berbagai tipe arduino.
- g. Pin I/O digital terdiri dari beberapa pin, mulai dari pin 2 hingga pin 16 yang digunakan untuk *input* atau *output* digital. Jumlah pin digital juga bervariasi sesuai dengan jenis arduino tertentu.
- h. Pin power dan GND menyediakan tegangan 3,3 volt, 5 volt dan *ground*. Memberikan sumber daya dan koneksi grounding yang penting bagi berbagai komponen pada papan arduino.

2. Perangkat lunak (*software*)

Kode program yang ditulis untuk arduino dikenal sebagai *sketch*. *Sketch* merupakan istilah kode program untuk arduino. Perangkat lunak yang digunakan untuk mengembangkan *sketch* tersebut untuk arduino umumnya dikenal sebagai Arduino IDE. Perangkat lunak ini ini berisi bagian-bagian di dalamnya seperti yang dijelaskan sebagai berikut.

- Text editor* merupakan tempat untuk kode sederhana dapat ditulis menggunakan versi bahasa pemrograman C ++ yang disederhanakan.
- Message area* merupakan area untuk menampilkan kesalahan dan juga memberikan umpan balik tentang menyimpan dan mengirim kode.
- Text* menampilkan keluaran teks dari lingkungan arduino termasuk pesan kesalahan lengkap dan informasi lainnya.
- Console toolbar* ini memuat berbagai tombol seperti *compile*, *upload*, *new*, *open*, *save*, dan *serial monitor*. Pada sudut kanan bawah jendela menampilkan board dan port serial yang digunakan.

Perangkat keras arduino terdiri dari beberapa bagian pada setiap jenisnya, perangkat keras arduino mega 2560 ditunjukkan pada **Gambar 2.18**.



Gambar 2.18 Bagian-bagian arduino mega 2560 (Junaidi dkk., 2020).

Arduino mega 2560 salah satu jenis *single board* keluaran arduino yang menggunakan mikrokontroler ATmega 2560. Bagian-bagian arduino mega 2560 yang ditunjukkan **Gambar 2.18** memiliki fungsi masing-masing, yaitu:

- Input* sumber tegangan DC: Menerima tegangan DC sebagai sumber daya untuk menyediakan daya operasional untuk arduino atau mikrokontroler.
- Mikrokontroler Atmega 2560: Merupakan otak utama sistem, bertanggung jawab untuk mengontrol dan mengkoordinasikan fungsi-fungsi berbagai komponen dalam papan arduino.

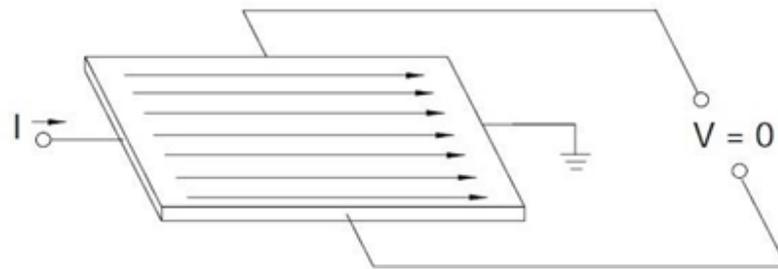
- c) USB tipe-B plug: Merupakan antarmuka USB yang digunakan untuk menyambungkan mikrokontroler ke komputer untuk mentransfer data atau menyediakan daya.
- d) Pin PWM: Digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM, yang berguna untuk mengontrol posisi perangkat seperti motor DC, motor *stepper*, motor servo atau mengatur lebar pulsa sinyal.
- e) *In Circuit Serial Programming* (ICSP): Merupakan antarmuka untuk memprogram mikrokontroler secara langsung di dalam rangkaian, memungkinkan pengembangan dan pemrograman mikrokontroler tanpa melepaskan chip dari sirkuit.
- f) Pin komunikasi: Merupakan pin yang digunakan untuk mengatur komunikasi antara mikrokontroler dan perangkat lain, biasanya melibatkan protokol seperti *inter integrated circuit* (I2C), *serial peripheral interface* (SPI) atau *universal asynchronous receiver* (UART).
- g) Pin digital I/O: Digunakan untuk menghubungkan dan mengontrol perangkat eksternal yang beroperasi dalam mode masukan atau keluaran digital, seperti sensor atau aktuator.
- h) Tombol reset: Mengaktifkan fungsi reset pada mikrokontroler, yang berguna untuk memulai ulang atau menginisialisasi kembali program yang berjalan.
- i) Pin *input* analog: Digunakan untuk mengukur tegangan analog dari sensor atau sumber daya eksternal, memberikan fleksibilitas untuk membaca data analog dan mengonversinya menjadi nilai digital.
- j) Pin *power*: Merupakan pin yang digunakan untuk menyediakan daya listrik ke mikrokontroler dan komponen lain dalam sistem, biasanya terhubung dengan sumber tegangan positif dan ground.

2.2.8 Sensor Efek Hall (*Hall Effect Sensor*)

Sensor efek hall merupakan suatu perangkat atau komponen yang bisa diaktifkan oleh medan magnet eksternal. Medan magnet sendiri mempunyai dua karakteristik penting, yaitu densitas flux (*flux density*) dan kutub (kutub utara dan selatan). Sinyal masukan dari sensor efek hall ini merupakan densitas medan magnet yang berada

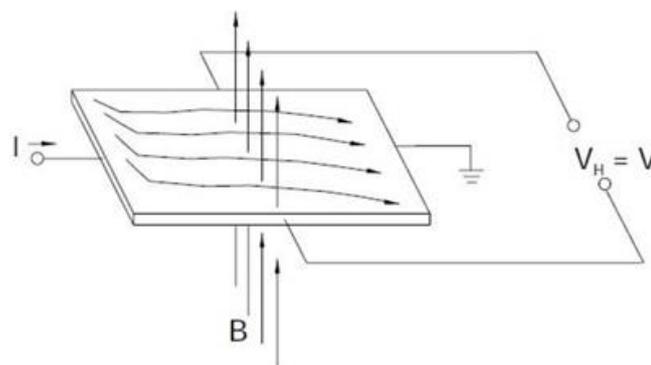
disekitar sensor tersebut, jika densitas medan magnet melampaui batas ambang yang telah ditentukan maka sensor akan langsung mendeteksi serta menghasilkan tegangan keluaran yang biasa disebut sebagai *hall voltage* (V_H) (Kuncoro dkk., 2021).

Prinsip dasar sensor efek hall adalah merubah arus yang mengalir melalui penghantar yang berada disekitar medan magnetik menjadi tegangan yang integral terhadap besar arus yang melewati penghantar tersebut (Sampebatu dkk., 2022). Apabila tidak terdapat medan magnetik pada sensor maka distribusi arus yang mengalir pada sensor tidak menyebabkan timbulnya tegangan keluaran, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2.19**.



Gambar 2.19 Prinsip *hall element* tanpa medan magnetik (Sampebatu dkk., 2022).

Akan tetapi apabila terdapat medan magnetik pada sensor maka arus yang mengalir pada penghantar menghasilkan tegangan keluaran atau *hall voltage* (V_H) (Sampebatu dkk., 2022). Sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2.20**.



Gambar 2.20 Prinsip *hall element* dengan medan magnetik (Sampebatu dkk., 2022).

Gaya lorentz merupakan prinsip kerja utama dari efek hall. Sebuah penghantar konduktor berbentuk pelat dialiri arus. Bila pelat penghantar diberi medan magnet,

pelat konduktor akan mengalami gaya lorentz yang ditunjukkan pada **Persamaan (2.15)**.

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (2.15)$$

Dengan \mathbf{F} adalah gaya (N), q adalah elektron bermuatan dalam bahan sensor (C), \mathbf{v} adalah kecepatan elektron bergerak akibat arus listrik yang dialirkan melalui sensor (m/s), \mathbf{B} adalah medan magnet yang diukur oleh sensor (T).

Muatan positif akan mengalami gaya lorentz ke arah atas, maka pada bagian atas pelat konduktor seolah-olah akan berjajar muatan positif (kutub positif), sedangkan muatan negatif akan mengalami gaya lorentz ke arah bawah, maka pada bagian bawah pelat konduktor seolah-olah akan berjajar muatan negatif (kutub negatif). Oleh karena itu akan timbul medan listrik dan beda potensial pada penghantar. Besarnya beda potensial ini merupakan tegangan hall (V_H), dimana nilai V_H ini dapat dinyatakan dengan **Persamaan (2.16)**.

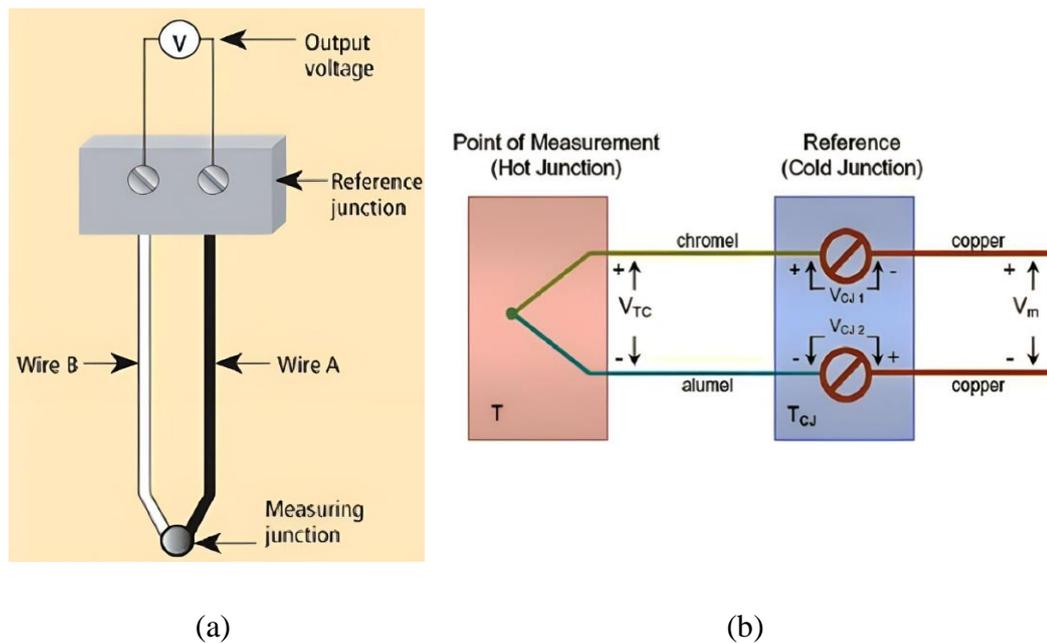
$$V_H = \frac{IB}{nqw} \quad (2.16)$$

Dengan I adalah arus listrik yang mengalir melalui bahan sensor (A), B adalah besarnya medan magnet (T), n konsentrasi pembawa muatan (m^{-3}), q besarnya muatan listrik pembawa (C) dan w adalah tebal pelat penghantar konduktor bahan sensor (m) (Sinaga dan Situmorang, 2013).

2.2.9 Termokopel

Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang aplikasinya sangat sering ditemui diberbagai bidang. Termokopel adalah salah satu jenis sensor yang digunakan untuk mengukur suhu dengan prinsip *seebeck*, dimana pada persambungan dua logam jika dipanaskan akan menimbulkan beda potensial atau tegangan listrik (Rachman dan Wahanani, 2016). Termokopel adalah sepasang kawat logam jenis yang tidak sama jenisnya dihubungkan bersama-sama yang apabila kedua ujungnya masing-masing dimasukkan ke dalam dua tempat yang berbeda suhunya, maka timbul gaya gerak listrik temperatur antara kedua ujungnya.

Termokopel tipe K memiliki rentang pengukuran dari $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $1.250\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan menggunakan logam nikel kromium dan nikel aluminium pada kedua ujung logamnya (Hatmoko dkk., 2021). Sama halnya seperti sensor pada umumnya yang berfungsi sebagai masukan pada sebuah sistem kendali, sensor termokopel tidak hanya mampu mendeteksi perubahan suhu, tetapi juga dapat berfungsi sebagai masukan analog dalam suatu sistem kendali. Sensor termokopel ditunjukkan pada **Gambar 2.21**.

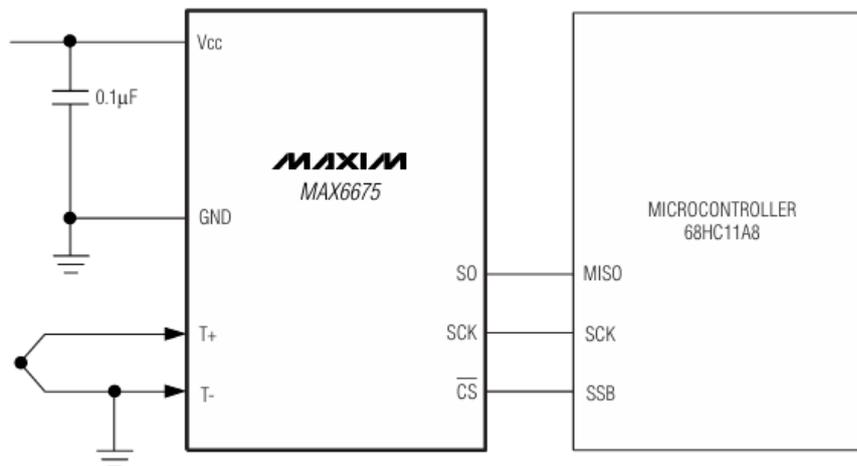


Gambar 2.21 (a) sensor termokopel (b) konstruksi sensor termokopel (Karim,2013).

Termokopel bekerja berdasarkan hukum *seebeck* dimana jika ada 2 buah material logam berbeda jenis lalu disatukan dan diberi beda temperatur pada sambungannya (*hot junction*), maka akan menghasilkan *electromotive (emf)*. Nilai *emf* tersebut juga dikenal sebagai koefisien *seebeck* yang memiliki nilai yang bervariasi pada setiap jenis termokopel. Koefisien *seebeck* pada termokopel tipe K adalah $40\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (Riantono dkk., 2022).

Untuk membaca keluaran sensor termokopel tipe K digunakan modul MAX 6675. Modul MAX 6675 dengan sensor termokopel tipe K merupakan sensor suhu yang terbagi menjadi dua komponen yang berbeda tapi merupakan satu kesatuan, MAX 6675 adalah modul yang berfungsi untuk mengonversi sinyal dari termokopel

menjadi data digital menggunakan *analog to digital converter* (ADC) beresolusi 12-bit. Modul ini dilengkapi dengan antar muka *serial peripheral interface* (SPI) yang kompatibel dengan berbagai sistem kontrol digital. MAX 6675 juga memiliki rangkaian pengkondisi sinyal yang mengubah sinyal dari termokopel menjadi tegangan sesuai dengan standar masukan ADC. Pin masukan T+ dan T- pada modul ini terhubung dengan rangkaian internal yang berfungsi untuk mengurangi gangguan (*noise*) yang mungkin masuk bersama sinyal dari termokopel. Sebelum mengonversi tegangan dari termokopel menjadi nilai suhu, MAX 6675 secara otomatis melakukan penyesuaian suhu pada sisi dingin termokopel dengan menggunakan referensi 0 °C yang telah terintegrasi (Datasheet, 2021). Rangkaian cara kerja sensor termokopel dan MAX 6675 ditunjukkan pada **Gambar 2.22**.



Gambar 2.22 Rangkaian membaca suhu dari termokopel menggunakan MAX6675 (Datasheet, 2021).

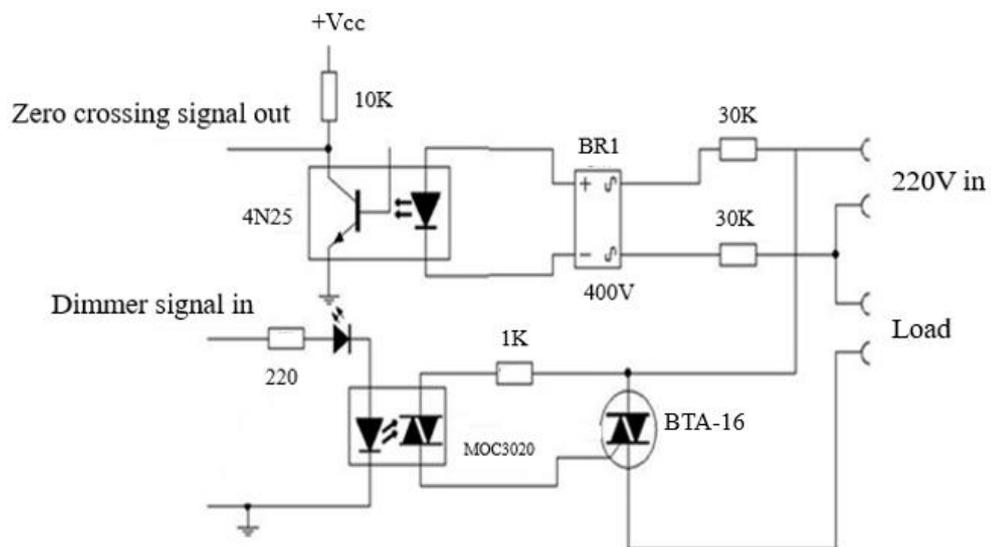
Berdasarkan jenisnya, sensor termokopel dapat dibagi menjadi beberapa macam, diantaranya:

1. Tipe B (campuran platina dan rhodium) dapat mengukur suhu yang sangat tinggi, berkisar antara 0 °C sampai 1.820 °C.
2. Tipe E (campuran nikel kromium dan konstanta), dapat mengukur suhu dalam rentang -270 °C sampai 1.000 °C.
3. Tipe J (campuran besi dan tembaga nikel), dapat mengukur suhu dalam rentang 0 °C sampai 750 °C.

4. Tipe K (campuran nikel kromium dan nikel aluminium), dapat mengukur suhu dalam rentang $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $1.250\text{ }^{\circ}\text{C}$.
5. Tipe N (campuran nikel kromium silikon dan nikel silikon magnesium), dapat mengukur suhu dalam rentang $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $1.300\text{ }^{\circ}\text{C}$.
6. Tipe R (campuran platina rhodium dan platina), dapat mengukur suhu dalam rentang $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $1.450\text{ }^{\circ}\text{C}$.
7. Tipe S (campuran platina rhodium dan platina), dapat mengukur suhu dalam rentang $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $1.450\text{ }^{\circ}\text{C}$.
8. Tipe T (campuran tembaga dan tembaga nikel), dapat mengukur suhu dalam rentang $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $350\text{ }^{\circ}\text{C}$.

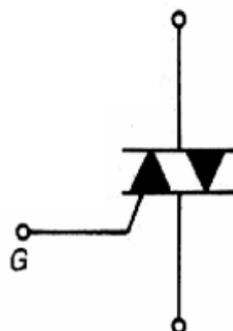
2.2.10 AC Light Dimmer

AC light dimmer adalah rangkaian elektronika yang dapat mengontrol jumlah besar atau kecilnya tegangan AC yang akan diberikan ke beban. *AC light dimmer* adalah modul yang dikontrol melalui mikrokontroler dengan memanfaatkan sinyal PWM (Wahyudi dan Nugraha, 2023). Modul *AC light Dimmer* ini terdiri dari 2 rangkaian, yaitu rangkaian *zero cross detector* (ZCD) dan rangkaian *triode for alternating current* (TRIAC). Secara umum prinsip kerja dari rangkaian ZCD adalah mendeteksi gelombang sinusoidal 220 VAC saat melewati titik tegangan nol. Sebrangan titik nol yang dideteksi tersebut adalah peralihan dari puncak gelombang sinus ke lembah gelombang sinus (positif ke negatif / negatif ke positif). Pada sebrangan tersebut dijadikan titik acuan awal pemberian waktu tunda (*delay*) untuk memicu aktifnya komponen TRIAC dengan memberikan tegangan pada gate-nya. Dengan ini dapat menentukan frekuensi suatu gelombang dengan mendeteksi banyaknya *zero point* pada rentang waktu tertentu yang kemudian *zero point* tersebut dimanfaatkan untuk mengatur *interupsi* pada gelombang AC sesuai *delay* yang diinginkan sehingga dapat berpengaruh pada besar-kecilnya daya keluaran (Fatahillah dkk., 2019). Rangkaian *zero crossing detector* ditunjukkan pada **Gambar 2.23**.



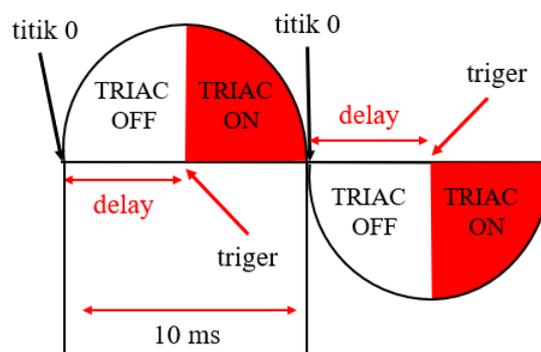
Gambar 2.23 Rangkaian AC light dimmer (Yuliarmas dkk., 2015).

Pada modul ini untuk pengaturan daya AC dengan cara merubah besaran phase listrik AC dan mengatur waktu penyulutan TRIAC pada mikrokontroler. TRIAC merupakan saklar untuk arus bolak-balik. TRIAC merupakan suatu komponen yang mempunyai susunan atas 5 lapisan bahan jenis P dan N dalam arah lain antara terminal T_1 dan T_2 dan dapat menghantarkan dalam arah yang lain sebagaimana ditunjukkan secara jelas pada simbolnya. Secara elektris, TRIAC merupakan suatu komponen yang berkelakuan seperti dua buah SCR (*Thyristor*) yang digabungkan dalam hubungan negatif terbalik (Kustija, 2014). Simbol TRIAC ditunjukkan pada **Gambar 2.24**.



Gambar 2.24 Simbol TRIAC (Kustija, 2014).

Rangkaian *zero crossing detector* sering diaplikasikan pada peralatan yang digunakan untuk mengendalikan beban pada rangkaian pada jaringan listrik AC dan menggunakan eksekutor berupa TRIAC. Titik persilangan dengan nol tegangan sumber untuk beban yang dikendalikan dengan komponen saklar berupa TRIAC diperlukan untuk menentukan waktu mulai pemberian *trigger* atau sinyal kontrol pada TRIAC tersebut. Pemberian sinyal masukan pada TRIAC yang tepat akan meningkatkan efisiensi daya keluaran dari pengendalian beban listrik AC (Indriani dkk., 2018). Cara kerja TRIAC ditunjukkan pada **Gambar 2.25**.



Gambar 2.25 Prinsip kerja ZCD pada rangkaian kontrol TRIAC (Ramdani dkk., 2021).

Gambar 2.25 merupakan skema prinsip kerja ZCD pada rangkaian kontrol TRIAC. ZCD mendeteksi titik nol gelombang sinusoidal 220 VAC, yaitu saat gelombang melewati nol dari positif ke negatif atau sebaliknya. Setelah titik nol terdeteksi, diberikan waktu tunda (*delay*) untuk mengaktifkan TRIAC melalui *gate*-nya. Penundaan ini memungkinkan pengaturan daya keluaran dengan mengontrol waktu nyala TRIAC dalam setiap setengah siklus gelombang.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung Februari hingga Agustus 2024.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini alat yang digunakan yaitu:

1. Solder, digunakan untuk melakukan penyolderan untuk menyambung berbagai komponen elektronik.
2. Timah, digunakan sebagai perekat dari penyolderan.
3. PCB *board*, digunakan untuk simulasi rangkaian.
4. Multimeter, digunakan sebagai media pengukuran arus, tegangan, dan hambatan.
5. *Tachometer* digital, digunakan untuk mengukur kecepatan motor DC untuk kebutuhan kalibrasi.
6. *Thermometer* digital, digunakan sebagai pengukur suhu untuk kebutuhan kalibrasi.

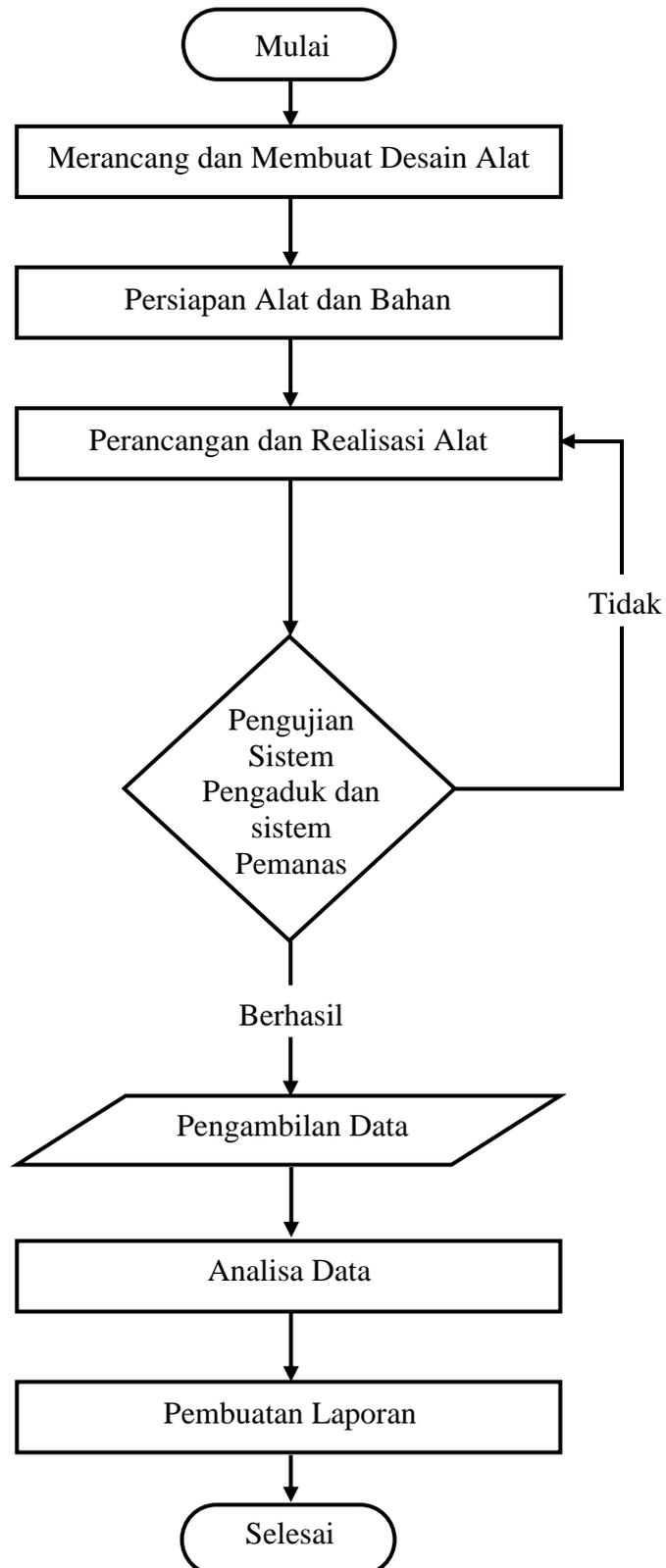
Selain alat-alat tersebut, adapun bahan berupa komponen yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. *Power supply*, digunakan sebagai penyuplai tegangan dan sumber tegangan DC.
2. Arduino mega 2560, digunakan sebagai pusat kontrol untuk mengendalikan sistem.

3. Dua buah magnet samarium-cobalt, digunakan sebagai media yang dideteksi oleh sensor efek hall.
4. Satu buah magnet *stirrer*, digunakan sebagai pengaduk.
5. Motor DC, digunakan sebagai penggerak pengaduk.
6. *Driver* L298N, digunakan sebagai pengatur tegangan PWM untuk memutar kecepatan motor DC.
7. Sensor efek hall, digunakan sebagai sensor kecepatan motor DC.
8. *AC light dimmer*, digunakan sebagai pengatur tegangan AC untuk memanaskan elemen pemanas.
9. Termokopel tipe-K, digunakan sebagai sensor suhu.
10. LCD 20×4, digunakan untuk menampilkan hasil proses arduino.
11. Modul MAX6675, digunakan sebagai pengubah data analog termokopel tipe-K menjadi data digital.
12. *Keypad* 4×4, digunakan untuk media masukan data.
13. Saklar, digunakan untuk menyambung dan memutus tegangan 220 volt.
14. Kabel penghubung, digunakan untuk menyambungkan komponen elektronik.

3.3 Prosedur Penelitian

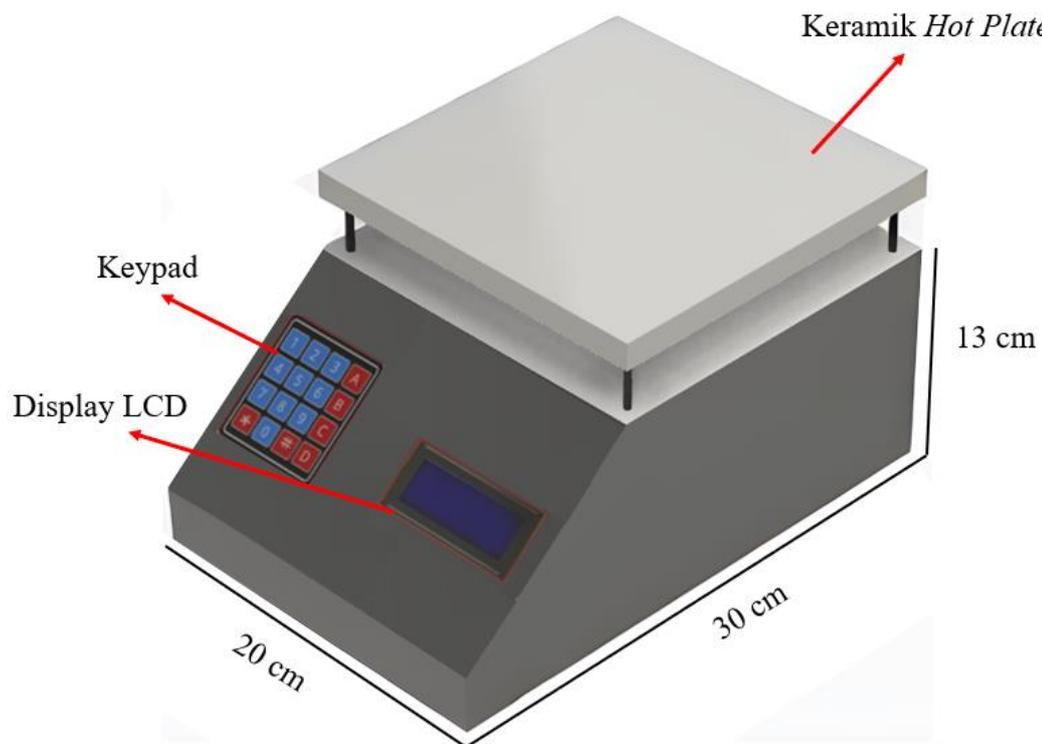
Penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa tahapan, yaitu studi literatur, desain alat, perancangan sistem pengaduk, perancangan sistem pemanas, perancangan elektronik, dan perancangan sistem, serta pengujian alat dan pengambilan data. Prosedur penelitian ini ditunjukkan dalam **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

3.3.1 Desain Alat

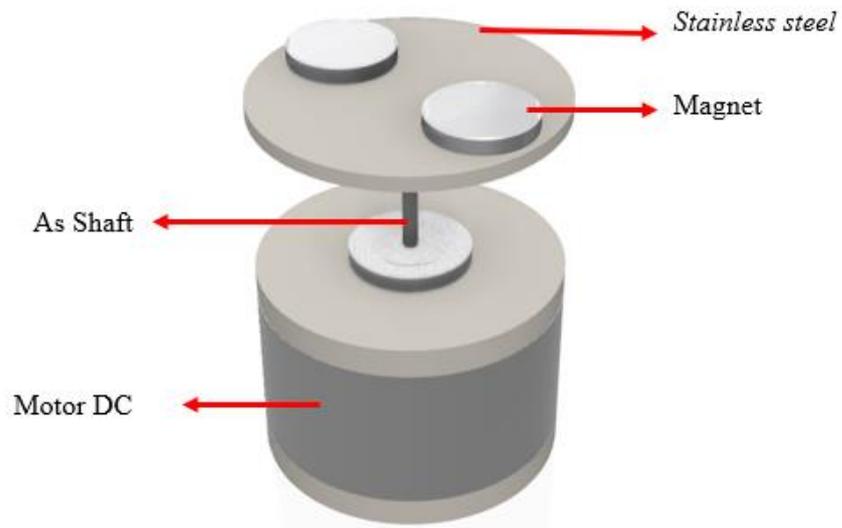
Desain alat *hot plate stirrer* yang biasa digunakan untuk mencampur larutan menggunakan prinsip gaya magnet. Alat ini menggunakan *body* dari pelat besi, pada bagian *hot plate* menggunakan keramik, saklar untuk memutuskan arus listrik, kemudian terdapat LCD 20×4 dan *keypad* 4×4 pada bagian depan untuk masukan nilai dan menampilkan nilai secara langsung. Desain alat penelitian ini di tunjukkan pada **Gambar 3.2**.



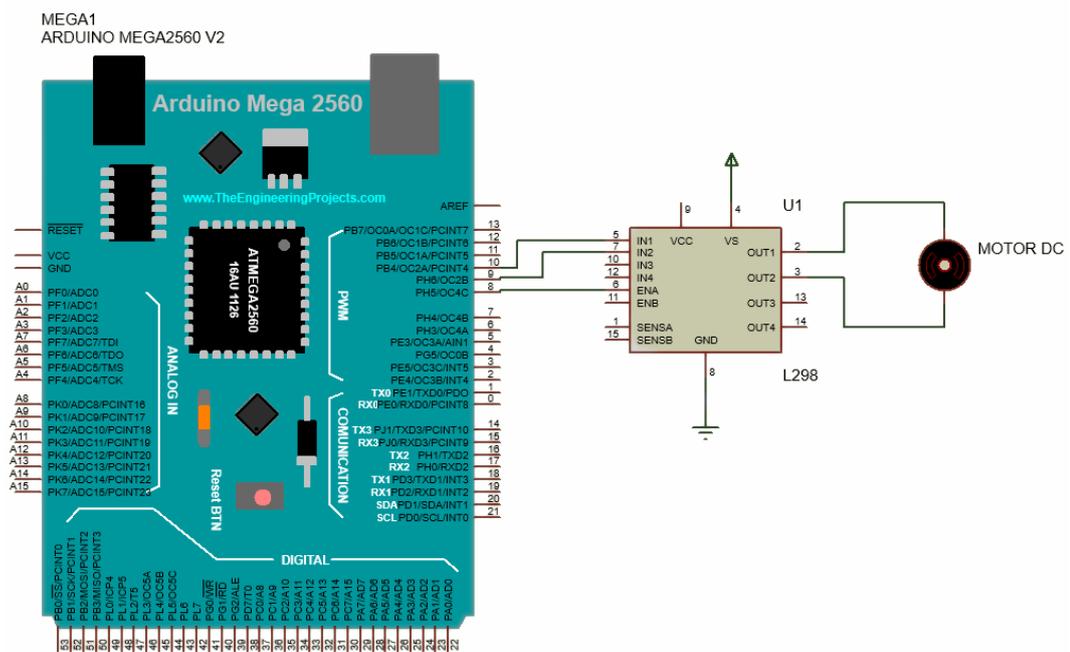
Gambar 3.2 Desain alat penelitian.

3.3.2 Perancangan Sistem Pengaduk

Komponen yang digunakan di sistem pengaduk adalah motor DC dan 2 buah magnet neodmium. Desain rancangan sistem pengaduk ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



(a)



(b)

Gambar 3.3 (a) Desain sistem pengaduk (b) Skema elektronika sistem pengaduk.

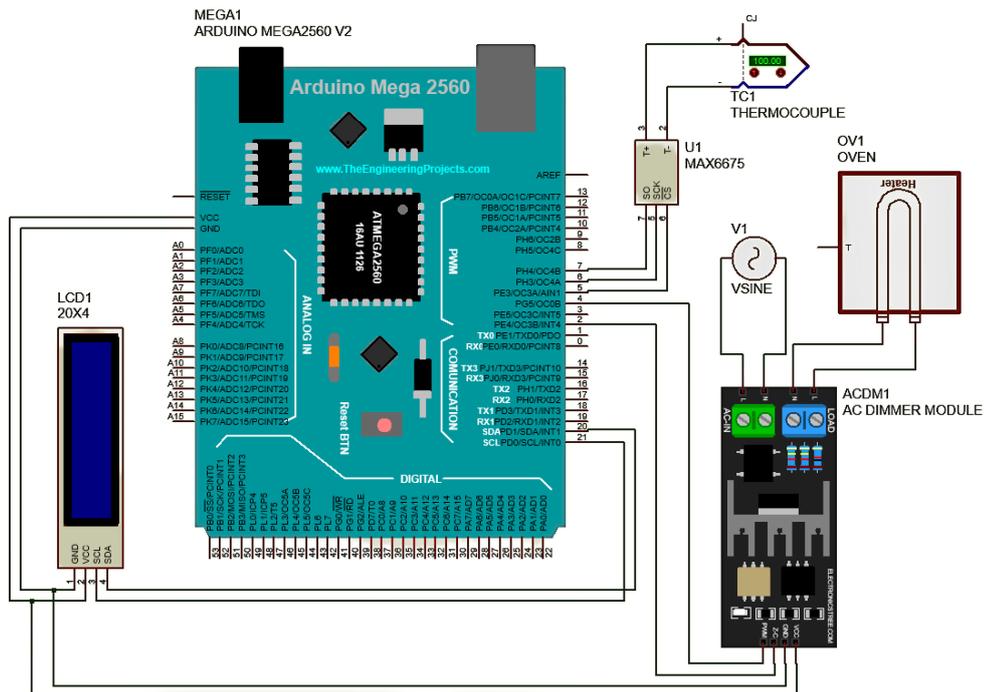
- a. Motor DC: Motor ini mempunyai kecepatan tinggi dan torsi yang cukup untuk sebuah *hot plate stirrer*. Kecepatan motor dapat mencapai 1.200

RPM ketika tidak ada beban. Tegangan yang digunakan sangat kecil yaitu sebesar 12 volt DC.

- Magnet neodymium: Sebagai magnet penggerak *stirrer* yang di gerakan motor DC untuk mengaduk larutan pada gelas kimia.
- Driver* L298N: Berfungsi sebagai *driver* motor yang mengatur besar dan kecilnya tegangan untuk mengontrol kecepatan dan perputaran motor DC.
- Power supply*: Sebagai penyuplai tegangan DC untuk sistem elektronika yang digunakan.

3.3.3 Perancangan Sistem Pemanas

Bagian-bagian dari perancangan sistem pemanas yaitu keramik *hot plate*, elemen pemanas (*heater*), *AC light dimmer*, sensor termokopel, dan modul MAX6675. Desain perancangan sistem pemanas ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



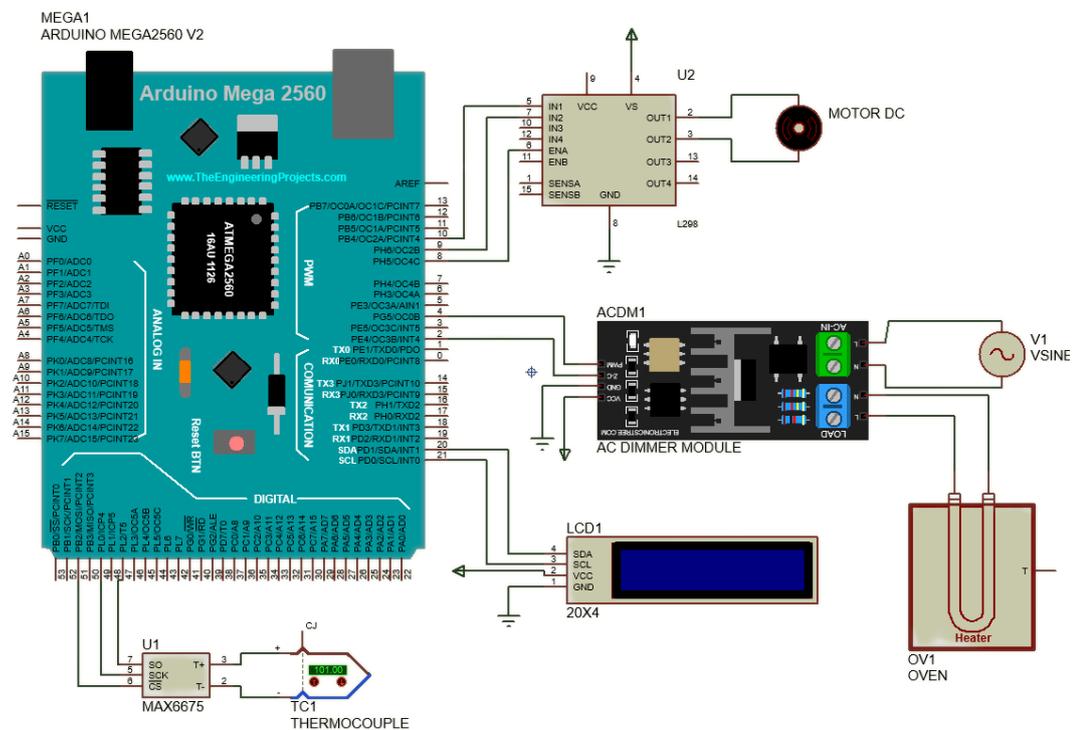
Gambar 3.4 Skema elektronika sistem pemanas.

- Elemen pemanas: Sebagai pemanas larutan kimia pada gelas kimia. Elemen pemanas ditempelkan pada keramik *hot plate*.

- b. Keramik *hot plate*: Berfungsi sebagai alas gelas kimia dan sebagai penghantar panas antara elemen pemanas dengan gelas kimia.
- c. Sensor termokopel tipe-K: Berfungsi sebagai pengukur perbedaan suhu pada alat *hot plate stirrer*, saat alat diinialisasi menggunakan *keypad* nilai masukan suhu akan di proses oleh arduino dan akan dikirim sinyal keluaran oleh sensor termokopel, kemudian akan ditampilkan ke dalam LCD.
- d. Modul MAX6675: Modul ini berfungsi untuk mengirim data dari sensor termokopel ke arduino. Modul MAX6675 mengubah sinyal analog menjadi digital supaya dapat di proses arduino.
- e. *AC light dimmer*: Berfungsi untuk mengendalikan dan mengatur besar kecilnya tegangan listrik ke elemen pemanas.

3.3.4 Perancangan Elektronik

Bagian-bagian dari perancangan elektronik alat *hot plate stirrer* ialah seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.

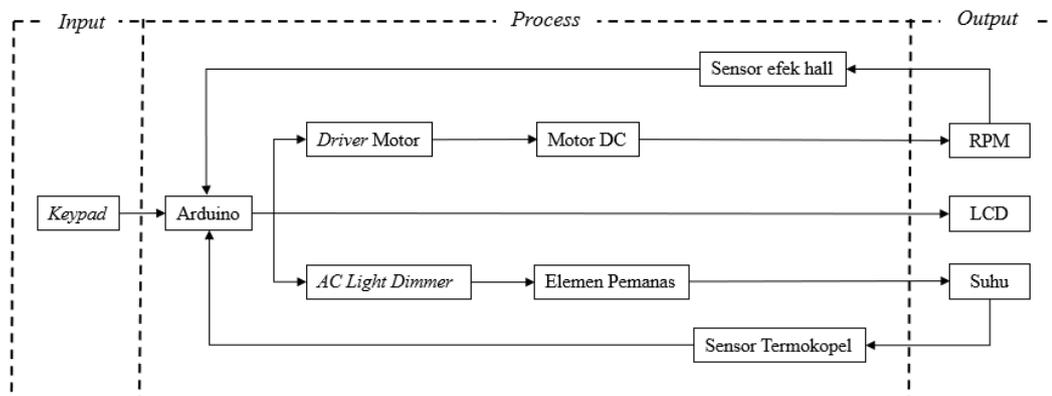


Gambar 3.5 Perancangan elektronika alat *hot plate stirrer*.

- Arduino mega 2560: Rancang bangun alat ini menggunakan sebuah papan arduino. Arduino yang di lengkapi dengan mikrokontroler ATmega 2560 ini bertugas sebagai penghasil sinyal PWM, sinyal tersebut sebagai modal awal untuk mengendalikan motor DC dan mengendalikan *AC light dimmer*.
- LCD 20×4: Digunakan sebagai tampilan masukan kecepatan pengadukan, suhu, dan waktu. LCD juga akan menampilkan suhu, waktu dan kecepatan pengadukan secara langsung.
- Keypad* 4×4: Digunakan sebagai suatu masukan pada beberapa peralatan yang berbasis mikroprosesor atau mikrokontroler. Fungsi *keypad* pada penelitian ini yaitu untuk memasukan nilai kecepatan pengadukan, suhu, waktu dan mereset arduino.
- Saklar: Berfungsi untuk memutuskan dan menyambungkan aliran listrik.

3.3.5 Perancangan Sistem

Diagram blok perancangan sistem ditunjukkan pada **Gambar 3.6**



Gambar 3.6 Diagram blok perancangan sistem.

Diagram blok **Gambar 3.6** menunjukkan sistem menerima nilai masukan dari *keypad*, kemudian arduino menerima dan mengolah nilai yang ada dan langsung menampilkan nilai ke LCD yang di masukkan dari *keypad*. Disaat yang bersamaan arduino mengeluarkan sinyal yang dikirimkan ke rangkaian pengendali pengaduk atau pemanas. Sinyal akan dikirimkan ke *driver motor* maupun *AC light dimmer*. *Driver motor* yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan pengadukan, sedangkan

AC light dimmer berfungsi sebagai pengatur tenggangan AC untuk elemen pemanas sesuai nilai *setpoint* yang dimasukkan. Arduino bertugas mengeluarkan nilai kecepatan dan suhu pada layar LCD. Nilai suhu dan kecepatan tersebut ditampilkan secara langsung, dimulai saat posisi rendah hingga posisi yang diinginkan.

Untuk mengetahui kecepatan motor DC dan perubahan suhu secara langsung digunakan sensor efek hall dan sensor termokopel tipe-K. Sensor efek hall bertugas untuk mengukur kecepatan motor DC yang kemudian diproses oleh arduino yang nantinya akan di tampilkan melalui LCD secara langsung, sensor efek hall juga berfungsi sebagai umpan balik ke arduino. Sensor termokopel berfungsi sebagai pengukur suhu, termokopel juga berfungsi sebagai umpan balik ke arduino, di dalam rangkaian pengendali tersebut sinyal analog yang dihasilkan sensor termokopel akan di proses menjadi sinyal digital oleh modul MAX6675 dan di kirimkan kepada arduino untuk ditampilkan melalui LCD secara langsung.

3.3.6 Pengujian Alat *Hot Plate Stirrer*

Pengujian dan kalibrasi alat *hot plate stirrer* dilakukan dengan pengambilan data pada alat dan alat standar untuk mengukur nilai masing-masing parameter (suhu dan RPM). Data yang diperoleh pada penelitian ini yaitu data kalibrasi kecepatan motor DC dan data kalibrasi suhu. Kalibrasi bertujuan untuk memperoleh nilai *error* pengukuran dan masukan pada alat *hot plate stirrer*. Rancangan data pengujian dan kalibrasi kecepatan pengaduk akan di tunjukkan pada **Tabel 3.1** dan rancangan data pengujian dan kalibrasi suhu ditunjukkan pada **Tabel 3.2**. Adapun data pengulangan suhu yang ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 1 Data pengujian dan kalibrasi kecepatan pengaduk

No	<i>Setpoint</i> (RPM)	Rata-rata alat <i>hot plate</i> <i>stirrer</i> (RPM)	Rata-rata alat standar (RPM)	Akurasi (%)	<i>Error</i> (%)
1					
2					
...					
...					
12					

Tabel 3. 2 Data pengujian dan kalibrasi suhu

No	Setpoint (°C)	Rata-rata alat <i>hot plate</i> <i>stirer</i> (°C)	Rata-rata alat standar (°C)	Akurasi (%)	Error (%)
1					
2					
...					
...					
6					

Nilai akurasi (A) dan *error* (E) dapat diperoleh dengan menggunakan **Persamaan (3.1)** dan **Persamaan (3.2)**.

$$A(\%) = \left(1 - \left|\frac{Y - X_n}{Y}\right|\right) \times 100\% \quad (3.1)$$

$$E(\%) = \left|\frac{Y - \bar{X}_n}{Y}\right| \times 100\% \quad (3.2)$$

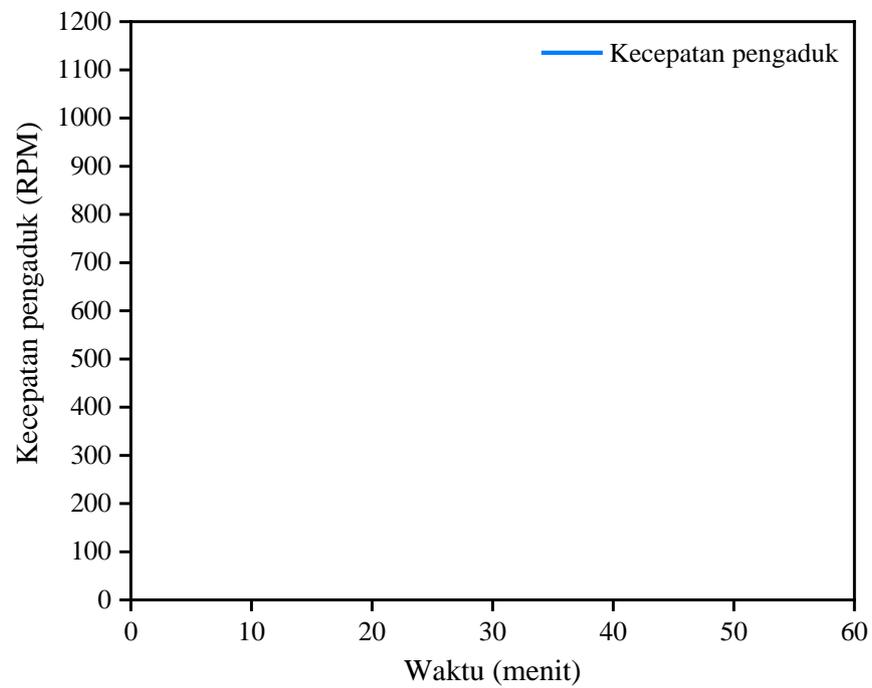
Dengan Y adalah nilai parameter referensi atau nilai standar, X_n adalah nilai parameter ke- n pada sensor, dan \bar{X}_n adalah nilai rata-rata keseluruhan n parameter pada sensor.

Tabel 3. 3 Data pengujian pengulangan suhu

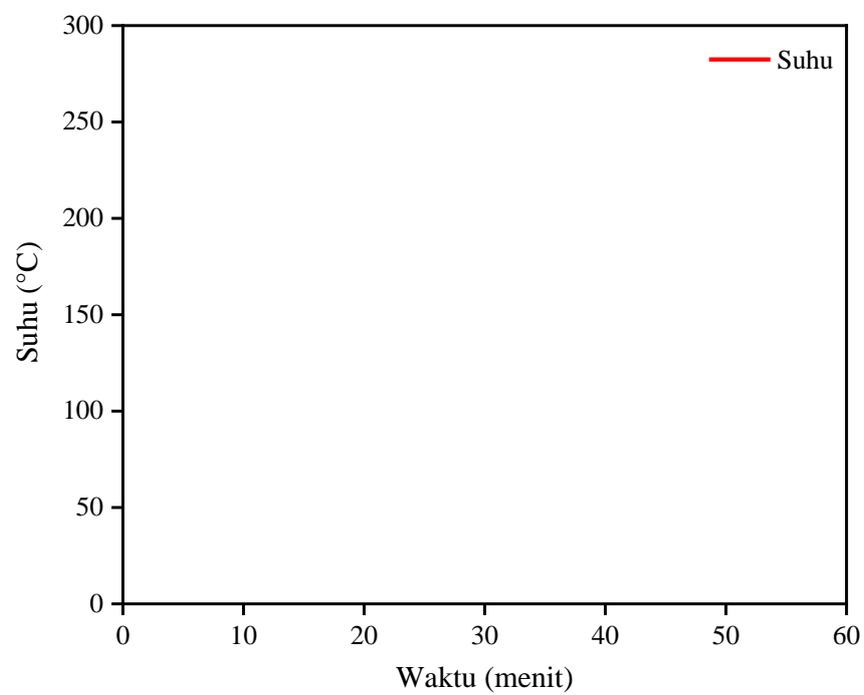
Waktu (menit)	Suhu (°C)		
	100	200	300
0			
0,5			
1			
1,5			
2			

Data hasil pengujian alat yang diperoleh kemudian dianalisa. Data yang diperoleh yaitu data kecepatan pengaduk dan suhu yang akan di plot ke dalam bentuk grafik stabilitas dan pengulangan (*repeatability*). Grafik ini menampilkan perbandingan antara data yang di inialisasi melalui *keypad* dengan data yang ditampilkan pada *display* LCD serta menampilkan perbandingan antara hasil pengukuran alat *hot*

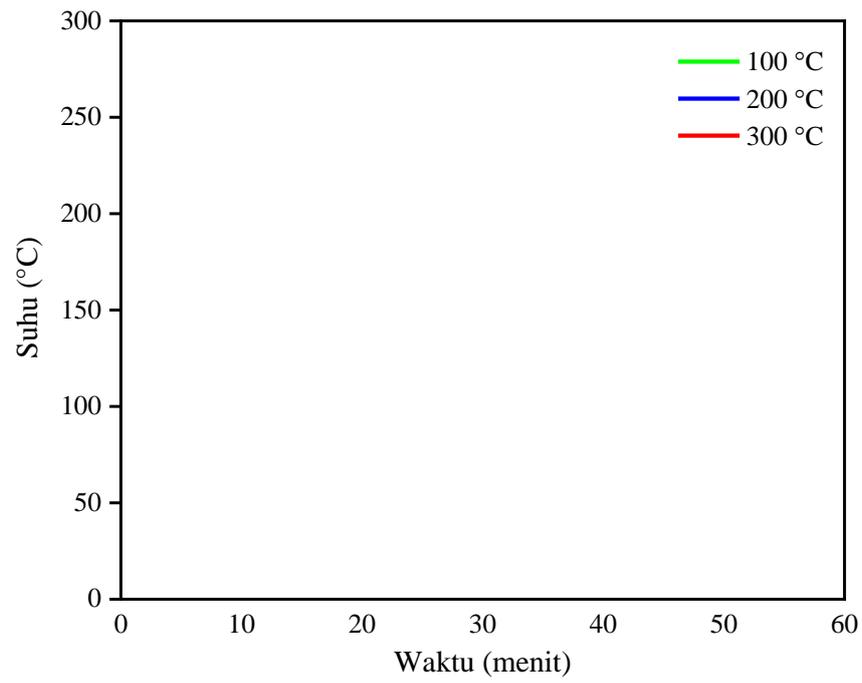
plate stirrer dan hasil pengukuran alat standar. Rancangan grafik dapat dilihat pada **Gambar 3.7 - Gambar 3.9.**



Gambar 3.7 Grafik stabilitas kecepatan pengaduk.



Gambar 3.8 Grafik stabilitas suhu.



Gambar 3.9 Grafik pengulangan suhu pada 100 °C, 200 °C dan 300 °C.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan data hasil pengukuran parameter kecepatan pengaduk dan suhu yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem kontrol PID telah direalisasikan pada alat *hot plate stirrer* untuk mengatur suhu pemanasan dan kecepatan pengaduk dengan akurasi yang tinggi dan *error* yang rendah.
2. Alat *Hot plate stirrer* mampu mengukur kecepatan pengaduk menggunakan sensor efek hall dengan keakurasian tinggi pada kecepatan 300 RPM sebesar 100%.
3. Alat *Hot plate stirrer* mampu mengukur suhu pemanasan menggunakan sensor termokopel tipe-K dengan keakurasian tinggi pada suhu 250 °C sebesar (99,64 ± 0,3)%.
4. Alat *Hot plate stirrer* mampu mencapai suhu 50 sampai 200 °C dalam rentang waktu 5 sampai 10 menit, untuk suhu 250 °C waktu yang dibutuhkan ialah 10,5 menit dan untuk suhu 300 °C waktu yang dibutuhkan ialah 13 menit.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Mengganti *keypad* 4×4 menjadi *keypad* 1×4 supaya mudah untuk mengatur *setpoint*.
2. memperbaiki sistem pemanas dan pengaduk supaya tidak *overshoot* dari *setpoint* yang diinginkan.
3. Memperbaiki keluaran pembacaan sensor dan sistem yang tampil pada LCD.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, I., Prakoso, D. S., Faurina, R., dan Daratha, N. (2022). Sistem Kendali Suhu Mesin Tetas Telur Ayam Buras Menggunakan Kontroler PID dengan Metode Tuning Ziegler Nichols Open Loop Step Response. *Jurnal Amplifier : Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 12(1), 1–5.
- Akbar, D., dan Riyadi, S. (2018). Pengaturan Kecepatan Pada Motor Brushless DC (BLDC) Menggunakan PWM (Pulse Width Modulation). *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol Dan Otomasi*, 1(1), 255–262.
- Anantama, A., Apriyantina, A., Samsugi, S., dan Rossi, F. (2020). Alat Pantau Jumlah Pemakaian Daya Listrik Pada Alat Elektronik Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 1(1), 29–34.
- Aprilyani, S. T., Irianto, I., dan Sunarno, E. (2020). Desain dan Komparasi Kontrol Kecepatan Motor DC. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 7(2), 127–134.
- Ariffudin, S. D., dan Wulandari, D. (2014). Perancangan Sistem Pemanas pada Rancang Bangun Mesin Pengaduk Bahan Baku Sabun Mandi Cair. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 1(2), 52–57.
- Arifin, J., Hermawansyah, dan Zulita, L. N. (2016). Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama*, 12(1), 89–98.
- Bagia, I. N., dan Parsa, I. M. (2018). *Motor-Motor Listrik*. Yogyakarta. Rasi Terbit.
- Cahyadi, M., Nasrullah, E., dan Trisanto, A. (2016). Rancang Bangun Catu Daya DC 1V–20V Menggunakan Kendali P-I Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 10(2), 99–109.
- Dabukke, H., Primasyukra, M. A., Lasiyah, N., dan Gaol, M. A. L. (2023). Analisis Kecepatan Putaran Hotplate Magnetic Stirrer Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Mutiara Elektromedik*, 7(1), 26–30.
- Datasheet. (2021). *Cold Junction Compensated K-Thermocouple to Digital Converter (0°C to +1024°C)*. Diambil dari <https://www.maximintegrated.com/en.html>. Diakses: [25 November 2023].
- Fajar, A. (2017). Rancang Bangun Generator Sinkron Axial Flux Permanent Magnet 1500 Watt. *Jurnal Teknik Energi*, 5(33), 18–36.

- Fatahillah, Indra, W. F., dan Rahmat, A. S. (2019). Rancang Bangun Pemanas dan Pengaduk Larutan Terintegrasi Untuk Sintetis Material Berbasis Mikrokontroler. *Proceeding of Engineering*, 6(2), 5358–5366.
- Fatmawati, K., Sabna, E., dan Irawan, Y. (2020). Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar Menggunakan Sensor Jarak Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Riau Journal Of Computer Science*, 6(2), 124–134.
- Harsoyo, I., ABA, M. U. N., Wahyudi, B., dan Firmansyach, D. A. (2024). Hotplate Magnetic Stirrer Dilengkapi Pengatur Waktu, Suhu dan Kecepatan Melalui LCD Nextion. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 12(01), 103–112.
- Hatmoko, S. H., Santosa, K. S., Giarno, G. G., Haryanto, D. H., Juarsa, M. J., Kusuma, M. H., Antariksawan, A. R., dan Widodo, S. W. (2021). Karakterisasi Termokopel Tipe K Pada Fasilitas Simulasi Sistem Fassisip-02. *Poros*, 16(2), 127–137.
- Indriani, A., Hadi, F., dan Aulani, R. (2018). Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa Dengan Pengaturan Sudut Penyalaan (Firing Angle) Triac pada Konveyor Model Rotary Pengereng Karet. *Amplifier*, 8(2), 29–34.
- Irsyad, L. P., Yudianingsih, dan Lestari, S. (2016). Perancangan Alat Magnetic Stirrer Dengan Pengaturan Kecepatan Pengaduk dan Pengaturan Waktu Pengadukan. *Jurnal Infact*, 1(2), 22–29.
- Junaidi, J., Hesti, H. W., Sri, S. W., dan Amir, S. (2020). Kontrol Kecepatan dan Temperatur dengan Teknik Pulse Width Modulation untuk Aplikasi Hotplate Stirrer Berbasis Arduino. *Jurnal Fisika Flux*, 17(1), 37–43.
- Karim, S. (2013). *Sensor dan Aktuator untuk SMK/MAK Kelas XI. Edisi Pertama*. Jakarta. Kementerian Pendidikan & kebudayaan.
- Kholilah, I., dan Al Tahtawi, A. R. (2016). Aplikasi Arduino-Android untuk Sistem Keamanan Sepeda Motor. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 1(1), 53–58.
- Kuncoro, S. D., Androva, A., dan Mukhtar, A. (2021). Rancang Bangun Instrumentasi Hall Effect Sensor Magnetic Pada Dynamometer Prony Breake Dengan Sistem Monitoring Lcd 16X4 Displayberbasis Mikrokontroler Arduino. *Cross-Border*, 6(2), 843–851.
- Kustija, J. (2014). *Elektronika industri*. Bandung. UPI Prees.
- Maldiputra, Y., Honggowidjaja, S., dan Kattu, G. S. (2018). Perancangan Furniture “Knockdown” Berbasis Magnet untuk Apartemen Tipe Studio. *Jurnal Intra*, 6(2), 792–796.
- Meriadi, M., Meliala, S., dan Muhammad, M. (2018). Perencanaan Dan Pembuatan Alat Pengereng Biji Coklat Dengan Wadah Putar Menggunakan Pemanas Listrik. *Jurnal Energi Elektrik*, 7(2), 47–53.

- Mikrajuddin Abdullah. (2017). *Fisika Dasar II*. Bandung. Institut Teknologi Bandung.
- Muharom, S., Masfufiah, I., Firmansyah, R. A., Hamid, A., dan Oetomo, S. (2021). Implementasi Kontrol Suhu Menggunakan Metode PID pada Aplikasi Inkubator Infant Warmers. *Cyclotron*, 4(1), 55–59.
- Mulyatno, M., Indriyanto, C., dan Metere, S. (2021). Hot plate magnetic stirrer dengan tampilan temperatur dan kecepatan motor. *J Hospital Technology and Mechatronics*, 2(1), 25–44.
- Ningsih, E. S. (2018). Jenis Magnet dan Peruntukannya dalam Pembelajaran. *Ilmu Pendidikan*, 1(1), 1–13.
- Pane, J., Surya, A., Novita, S., Mazmur, R., Aryza, A., Hamdani, dan Rizky, A. (2019). Implementasi PID Dalam Mengendalikan Motor Menggunakan Metode PID dan Mikrokontroler Atmega. *Sainteks*, 1(1), 196–201.
- Prasetyo, R. H., Fathona, I. W., dan Suhendi, A. (2020). Perancangan Sistem Pengontrol Suhu dan Kecepatan Pengadukan Pada Magnetic Stirrer Multi Hot Plate. *E-Proceeding of Engineering*, 7(1), 1289–1296.
- Rachman, A. N., dan Wahanani, N. A. (2016). Pengembangan Sistem Instrumentasi Thermobath dan Akuisisi Data Termokopel Tipe K. *Sigma Epsilon*, 20(1), 31–39.
- Ramdani, Marisa, dan Carudin. (2021). Implementasi Kendali Intensitas Cahaya Lampu dengan Internet Of Things Berbasis Arduino Uno menggunakan Metode Fuzzy Logic. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 7(1), 51–58.
- Riantono, A., Teguh, B., dan Koestoer, A. (2022). Kalibrasi Sensor Temperatur Termokopel Tipe K dan DS18B20 Pada Temperatur Es Mencair dan Air Mendidih Sistem Dengan Akuisisi Data (DAQ) Berbasis Arduino. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XVII*, 9(10), 1–7.
- Sampebatu, L., Patabang, S., dan Leda, J. (2022). Pengujian Sensitivitas Dan Akurasi Sensor Arus Hall Effect Menggunakan Arduino Uno. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 2(2), 276–285.
- Setiawan, I. (2008). *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Jakarta. Elex Media Komputindo.
- Sinaga, R., dan Situmorang, M. (2013). Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Sensor Hall Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535. *Saintia Fisika*, 1(1), 1–8.
- Supari. (2006). *Pengantar Elektronika Daya Teori dan Aplikasi*. Semarang. Semarang University Press.
- Wahyudi, M. R., dan Nugraha, A. R. (2023). Alat Inkubator Kandang Anak Ayam Menggunakan Sensor Suhu DHT11 Dengan Mikrokontroler Arduino. *JUTEKIN (Jurnal Teknik Informatika)*, 11(2), 21–30.

Widiatmoko, Q. (2023). Hot Plate Magnetic Stirrer Berbasis Arduino Terintegrasi Smartphone Android. *Skripsi. Universitas Widya Husada Semarang*.

Yuliarmas, N., Aisyah, S., dan Toar, H. (2015). Implementasi Kontrol PID pada Mesin Pengembang Roti. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 11(3), 109–113.

Zaifuddin, Ibadillah, A., Alfita, R., dan Laksono, D. T. (2021). Hotplate Magnetic Stirrer Pengatur Panas Otomatis dan Kecepatan Air Berbasis Propotional Integral Derivatif (PID). *Procedia of Engineering and Life Science*, 1(1), 1–6.