

TUGAS AKHIR

SISTEM AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL HEAVY FUEL OIL (HFO) MAIN ENGINE PADA KAPAL TANKER

*Diselesaikan Untuk Melengkapi Tugas-tugas dan
Memenuhi Syarat-syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

MHD ALI INDRA SYAHPUTRA
2007220015



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Mhd Ali Indra Syahputra
Tempat /Tanggal Lahir : Medan/27 September 2001
NPM : 2007220015
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Sistem Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil (HFO) Main Engine Pada Kapal Tanker”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 16 Agustus 2024

Saya yang menyatakan,



Mhd Ali Indra Syahputra

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Mhd Ali Indra Syahputra

NPM : 2007220015

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Sistem *Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil*
(HFO) *Main Engine* Pada Kapal Tanker

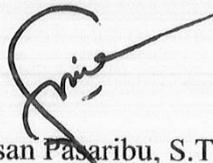
Bidang ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 16 Agustus 2024

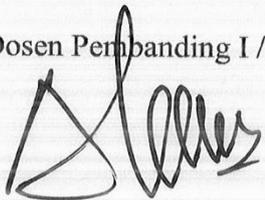
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembimbing I / Penguji



Dr. Sudirman Lubis, S.T., M.T

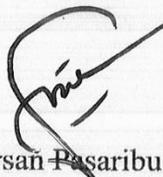
Dosen Pembimbing II / Peguji



Arya Rudi Nasution, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

ABSTRAK

Bahan bakar merupakan komponen yang sangat penting bagi suatu transportasi. Salah satunya adalah operasional kapal yang menggunakan bahan bakar (*fuel oil*). Kapal laut salah satu transportasi air yang memiliki banyak kegunaan bagi kehidupan manusia, salah satunya sebagai kendaraan buat manusia maupun sebagai alat transportasi untuk mengantar barang. Oleh karena itu kapal laut bisa berjalan menggunakan mesin induk (*main engine*) yang disuplai menggunakan bahan bakar (*fuel oil*) dengan fungsi sebagai tenaga penggerak mesin induk tersebut. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk tetap menjaga kriteria operasi bahan bakar agar sesuai yang dibutuhkan oleh mesin induk (*main engine*). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif, karena penulis akan mengkaji makna pada sistem ini termasuk interaksi secara langsung terhadap mereka yang memahami secara lebih komperhensif. Hasil atau kesimpulan dari sistem yang dibuat oleh penulis adalah untuk menjaga temperature pada bahan bakar agar tetap sesuai dengan *settingan viscosity*/kekentalan bahan bakar yang diinginkan secara otomatis. Sistem ini menggunakan pemanas/*heater* dan sensor suhu pada tangki penyimpanan bahan bakar untuk disalurkan ke mesin induk. Dan sistem ini juga dapat dioperasikan baik saat kapal dalam keadaan *idle* maupun dalam kondisi berlayar.

Kata Kunci : Bahan bakar, Pengatur Suhu, Sensor Suhu, Mesin Induk.

ABSTRACT

Fuel is a very important component for transportation. One of them is ship operations that use fuel (fuel oil). Ships are a type of water transportation that has many uses for human life, one of which is as a vehicle for humans or as a means of transportation to deliver goods. Therefore, ships can run using a main engine which is supplied using fuel (fuel oil) which functions as a driving force for the main engine. The aim of this final assignment is to maintain the fuel operating criteria to match those required by the main engine. The method used in this research is a qualitative method, because the author will examine the meaning of this system, including direct interactions with those who understand it more comprehensively. The result or conclusion of the system created by the author is to maintain the fuel temperature so that it remains in accordance with the desired fuel viscosity setting automatically. This system uses a heater and temperature sensor in the fuel storage tank to be distributed to the main engine. And this system can also be operated both when the ship is idle and in sailing conditions.

Keyword : Fuel Oil, Temperature Control, Temperature Sensor, Main Engine.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita semua sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Sistem Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil (HFO) Main Engine Pada Kapal Tanker**” dengan baik.

Dimana tugas akhir ini adalah suatu kewajiban yang harus dilaksanakan oleh mahasiswa/i Teknik Elektro dan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dan hasil tugas akhir ini dilampirkan pada sebuah laporan yang wajib diselesaikan untuk para mahasiswa/i.

Dalam penulisan tugas akhir ini saya menyadari masih banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun dalam susunan kalimat yang mana saya mengharapkan saran dari berbagai pihak demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Sudirman Lubis, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Arya Rudi Nasution, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST,MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniklistrikan kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Jafar Sijak dan Sri Mardiana, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro khususnya kelas A3 yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.
9. Seluruh saudara dan saudariku yang namanya tidak dapat saya sebutkan satu persatu, atas dukungan dan bantuan yang diberikan kepada saya.

Akhirnya saya mengharapkan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca. Dan kepada Allah SWT , saya serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Medan, 27 September 2023



MHD ALI INDRA SYAHPUTRA
2007220015

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metode Penulisan	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Mesin <i>Diesel</i>	6
2.1.1 Prinsip Kerja Mesin <i>Diesel</i>	8
2.1.2 Langkah Kerja Mesin <i>Diesel</i>	9
2.1.3 Jenis-jenis Mesin <i>Diesel</i>	12
2.1.4 Bagian-bagian Mesin <i>Diesel</i>	13
2.2 Bahan Bakar Mesin <i>Diesel</i>	24
2.2.1 Sistem Bahan Bakar.....	24
2.2.2 Karakteristik Bahan Bakar (<i>Fuel Oil Characteristics</i>).....	28
2.2.3 Komponen Sistem Bahan Bakar.....	32

2.3 <i>Heavy Fuel Oil (HFO)</i>	37
2.3.1 Alur Sistem <i>Treatment Heavy Fuel Oil (HFO)</i>	39
2.3.2 Kualitas Bahan Bakar HFO (<i>Fuel Oil Quality</i>).....	40
2.4 <i>Temperature Controller</i>	42
2.4.1 Prinsip Kerja <i>Temperature Controller</i>	43
2.4.2 Konfigurasi Pengendali Temperatur.....	44
2.4.3 Metode Kontrol.....	45
2.4.4 Bagian-bagian <i>Temperature Controller</i> Tipe PID REX-C700.....	46
2.5 Sensor RTD PT100	52
2.5.1 Prinsip Kerja Sensor RTD PT100	54
2.5.2 Konfigurasi Sensor RTD PT100.....	54
2.5.3 Bagian-bagian Sensor RTD PT100	55
2.6 Elemen <i>Heater</i>	59
2.6.1 Prinsip Kerja Elemen <i>Heater</i>	60
2.6.2 Material Elemen <i>Heater</i>	61
2.6.3 Bagian-bagian Elemen <i>Heater</i>	63
2.7 <i>Miniature Circuit Breaker (MCB)</i>	63
2.7.1 Fungsi MCB	64
2.7.2 Prinsip Kerja MCB	66
2.7.3 Bagian-bagian MCB	67
2.8 Magnetik Kontaktor	70
2.8.1 Fungsi Magnetik Kontaktor.....	71
2.8.2 Prinsip Kerja Magnetik Kontaktor	71
2.8.3 Bagian-bagian Magnetik Kontaktor	72
2.9 <i>Thermal Overload Relay (TOR)</i>	74
2.9.1 Fungsi <i>Thermal Overload Relay (TOR)</i>	75

2.9.2 Prinsip Kerja <i>Thermal Overload Relay</i> (TOR).....	75
2.9.3 Bagian-bagian <i>Thermal Overload Relay</i> (TOR).....	76
2.10 <i>Relay</i>	77
2.10.1 Fungsi <i>Relay</i>	80
2.10.2 Prinsip Kerja <i>Relay</i>	80
2.10.3 Bagian-bagian <i>Relay</i>	80
2.11 <i>Selector Switch</i>	83
2.11.1 Fungsi <i>Selector Switch</i>	84
2.11.2 Prinsip Kerja <i>Selector Switch</i>	84
2.11.3 Bagian-bagian <i>Selector Switch</i>	84
2.12 <i>Emergency Push Button</i>	86
2.12.1 Fungsi <i>Emergency Push Button</i>	86
2.12.2 Prinsip Kerja <i>Emergency Push Button</i>	87
2.12.3 Bagian-bagian <i>Emergency Push Button</i>	87
2.13 Lampu Indikator	88
2.13.1 Fungsi Lampu Indikator	89
2.13.2 Prinsip Kerja Lampu Indikator	89
2.13.3 Bagian-bagian Lampu Indikator	90
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	92
3.1 Waktu dan Tempat	92
3.1.1 Waktu.....	92
3.1.2 Tempat	92
3.2 Alat dan Bahan	92
3.2.1 Alat Perancangan.....	93
3.2.2 Bahan Perancangan.....	93
3.3. Prosedur Kerja Alat.....	94

3.4 Tahapan Penelitian	94
3.5 Analisis Data	95
3.6 <i>Flowchart</i> Perancangan Sistem	96
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	97
4.1 Hasil Perancangan Alat	97
4.1.1 Dimensi.....	97
4.1.2 Wiring Diagram Rangkaian.....	99
4.2 Hasil <i>Settingan</i> Parameter <i>Temperature Controller</i>	100
4.2.1 Pengujian Sistem <i>Temperature Controller</i>	102
4.3 Hasil Pengujian Sensor RTD PT100	104
4.3.1 Pengambilan Data Proses Pemanasan Heater	104
4.3.2 Hasil Data Temperatur Terhadap Waktu	104
4.3.3 Hasil Data Temperatur Pada Saat <i>Steady State</i>	106
4.4 Hasil Pengujian Elemen <i>Heater</i>	107
4.4.1 Pengamatan Hasil Pengukuran Waktu dan Suhu.....	108
4.4.2 Perhitungan Resistansi Elemen <i>Heater</i>	109
BAB V PENUTUP	111
5.1 Kesimpulan.....	111
5.2 Saran.....	111
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Langkah Isap.....	10
Gambar 2. 2 Proses Langkah Kompresi.....	10
Gambar 2. 3 Proses Langkah Usaha	11
Gambar 2. 4 Proses Langkah Buang.....	12
Gambar 2. 5 Mesin Diesel 4 Tak Pada Tug Boat.....	13
Gambar 2. 6 Cylinder Blok Mesin Diesel.....	15
Gambar 2. 7 Cylinder Head Mesin Diesel	16
Gambar 2. 8 Katup (Valve) Mesin Diesel.....	17
Gambar 2. 9 Torak (Piston) Mesin Diesel	18
Gambar 2. 10 Batang Engkol (Connecting rod) Mesin Diesel	20
Gambar 2. 11 Poros Engkol (Crank Shaft) Mesin Diesel.....	21
Gambar 2. 12 Poros Nok (Cam Shaft) Mesin Diesel.....	23
Gambar 2. 13 Roda Gila (Fly Wheel) Mesin Diesel.....	24
Gambar 2. 14 Skema Sistem Bahan Bakar Mesin Diesel	25
Gambar 2. 15 Skema Sistem Pompa Pribadi	26
Gambar 2. 16 Skema Sistem Pompa Distribusi	27
Gambar 2. 17 Sistem Pompa Akumulator	27
Gambar 2. 18 Storage Tank	33
Gambar 2. 19 Settling Tank	33
Gambar 2. 20 Transfer Pump.....	34
Gambar 2. 21 Separator	34
Gambar 2. 22 Day Tank (Tangki Harian).....	35
Gambar 2. 23 Balance Tank (Tangki Imbang)	35
Gambar 2. 24 Filter (Saringan)	36
Gambar 2. 25 Booster Pump.....	36
Gambar 2. 26 Feed Pump.....	37
Gambar 2. 27 Temperature Controller.....	43
Gambar 2. 28 Skema Sistem Kendali Umpan Balik.....	44
Gambar 2. 29 Respon Objek Terhadap Aksi Pengendali	45
Gambar 2. 30 Respon Objek Terhadap Metode Control ON-OFF	46

Gambar 2. 31 Dimensi Temperature Controller	48
Gambar 2. 32 Tampilan depan Temperature Controller	49
Gambar 2. 33 Konfigurasi Terminal Temperature Controller	50
Gambar 2. 34 Sensor RTD PT100	53
Gambar 2. 35 Sensor Thermocouple.....	54
Gambar 2. 36 Koneksi Listrik RTD PT100	57
Gambar 2. 37 Dimensi RTD PT100	58
Gambar 2. 38 Terminal Head RTD PT100.....	59
Gambar 2. 39 Immersion Heater.....	60
Gambar 2. 40 Dimensi Immersion Heater	63
Gambar 2. 41 Miniature Circuit Breaker (MCB).....	64
Gambar 2. 42 Komponen-komponen MCB.....	67
Gambar 2. 43 Dimensi Minature Circuit Breaker (MCB)	69
Gambar 2. 44 Magnetik Kontaktor	71
Gambar 2. 45 Dimensi Magnetik Kontaktor.....	73
Gambar 2. 46 Pengaturan Kontak Magnetik Kontaktor	73
Gambar 2. 47 Thermal Overload Relay	75
Gambar 2. 48 Dimensi Thermal Overload Relay	77
Gambar 2. 49 Pengaturan Kontak Thermal Overload Relay	77
Gambar 2. 50 Relay 4PDT	79
Gambar 2. 51 Dimensi Relay 4PDT	82
Gambar 2. 52 Dimensi Socket Relay	82
Gambar 2. 53 Pengaturan Kontak Relay 4PDT	83
Gambar 2. 54 Selector Switch.....	84
Gambar 2. 55 Dimensi Selector Switch.....	85
Gambar 2. 56 Emergency Push Button.....	86
Gambar 2. 57 Dimensi Emergency Push Button	88
Gambar 2. 58 Pengaturan Kontak Emergency Push Button	88
Gambar 2. 59 Lampu Indikator.....	89
Gambar 2. 60 Prinsip Kerja Lampu Indikator	89
Gambar 2. 61 Dimensi Lampu Indikator	91
Gambar 3. 1 Flowchart Perancangan Sistem	96

Gambar 4. 1 Dimensi Box Panel.....	97
Gambar 4. 2 Wiring Diagram Rangkaian Sistem	99
Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Sistem Pada Set Point 95°C	103
Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Temperatur Terhadap Waktu	105
Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Temperatur Pada Saat Steady State	107
Gambar 4. 6 Diagram Blok Pengujian	108
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengukuran Waktu dan Suhu	109

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Sheet Temperature Conversion Resistance RTD PT100	56
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian.....	92
Tabel 4. 1 Settingan Parameter Temperature Controller	100
Tabel 4. 2 Pengukuran Temperature Pada Set Point 95 °C.....	102
Tabel 4. 3 Data ESS (Error Steady State) Dengan Set Point 95°C.....	103
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Temperatur Terhadap Waktu.....	104
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Temperatur Pada Saat Steady State	106
Tabel 4. 6 Data Hasil Pengukuran Waktu dan Suhu.....	108

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin *diesel* merupakan sistem penggerak utama yang banyak digunakan sebagai alat transportasi baik itu di darat, laut, maupun udara. Selain sebagai alat transportasi, mesin *diesel* berkembang pula sebagai angkutan berat maupun pembangkit listrik. Mesin *diesel* memiliki peran yang sangat penting sebagai penggerak utama di atas kapal. Dimana mesin *diesel* tersebut ditujukan untuk kelancaran operasional pelayaran, yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga pendorong bagi *propeller* kapal. Salah satu yang paling penting dalam mesin *diesel* ini adalah sistem pada bahan bakarnya. Transfer bahan bakar kapal dan sistem pemisahan adalah serangkaian proses bahan bakar sebelum digunakan pada mesin *diesel*. Sistem ini direkomendasikan untuk kapal *tanker* dan kapal jenis lainnya.

Penelitian sebelumnya hanya membahas teori perhitungan, sehingga timbul ide peneliti untuk membahas sistem pengelolaan bahan bakar secara otomatis. Sistem pengatur suhu pada bahan bakar untuk mesin *diesel* inilah yang nantinya akan digunakan sebagai pemanasan pada bahan bakar untuk menjaga kekentalan/*viscosity* yang diinginkan. Jika tidak menjaga kekentalan pada bahan bakar, maka berdampak buruk pada sifat bahan bakar itu sendiri, sehingga akan mempengaruhi kinerja dan daya tahan pada mesin *diesel*. Untuk menjaga performa pada mesin *diesel* agar tetap baik maka dari itu perlu perhatian khusus kualitas bahan bakar yang digunakan dalam pengoperasian mesin diesel tersebut. Jenis bahan bakar yang akan digunakan adalah HFO (*Heavy Fuel Oil*).

Dikutip dari (Marsudi & Palippui, 2020) bahan bakar *Heavy Fuel Oil* (HFO) adalah bahan bakar hasil dari pengolahan minyak bumi dari campuran residu (bahan bakar sisa) yang kemudian terdapat kandungan material yang tidak dibutuhkan dalam proses pembakaran untuk mesin *diesel*. Bahan bakar HFO memiliki viskositas (kekentalan) yang tinggi dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya, viskositas yang diinginkan pada suhu tertentu, tetapi pada umumnya

pada acuan dengan suhu temperatur 95°C, sehingga dalam pengolahan bahan bakar HFO harus benar-benar diperhatikan.

Berdasarkan pada penjelasan sebelumnya sistem otomatis pengatur suhu pada bahan bakar untuk mesin *diesel* nantinya akan dilakukan dengan sistem otomatis, yang mana akan ada sebuah elemen pemanas/*heater* yang akan dimasukkan ke dalam tangki penyimpanan bahan bakar sebelum disalurkan ke mesin *diesel*. Elemen pemanas/*heater* tersebutlah yang akan memanaskan bahan bakar untuk menjaga tingkat kekentalan pada bahan bakar sesuai yang diinginkan. Dilengkapi dengan sistem otomatis pengatur suhu sehingga tidak perlu khawatir jika suhu yang dihasilkan oleh elemen pemanas terus meningkat, karena secara otomatis elemen pemanas akan berhenti meningkatkan suhu, sehingga bisa menjaga suhu temperatur sesuai yang diinginkan.

Maka dari itu dalam penelitian ini pembahasan dari optimalisasi sistem pengolahan bahan bakar dengan jenis HFO (*Heavy Fuel Oil*), dikendalikan secara otomatis yang mampu untuk mengawasi dan memulihkan suhu temperatur pada tangki penyimpanan bahan bakar sehingga memudahkan orang yang bekerja di kapal agar tidak terus menerus memonitoring suhu temperatur pada bahan bakar, dan akan dilakukan penanganan khusus untuk memperhatikan berbagai aspek tertentu seperti, karakteristik bahan bakar (*Fuel Oil Characteristics*) serta bahan bakar *treatment* untuk menunjang kinerja dari mesin *diesel* pada kapal *tanker*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini untuk mendukung pengoperasian mesin *diesel* pada kapal *tanker* dari pengaruhnya kualitas bahan bakar berjenis HFO (*Heavy Fuel Oil*) sangatlah penting. Maka sesuai judul yang diambil oleh peneliti di atas berdasarkan pada sumber data dan pengalaman kerja praktik yang peneliti alami selama di kapal *tanker* sebagai acuan untuk membuat skripsi/tugas akhir ini, maka pembahasan ini dapat di tentukan beberapa indikator dalam rumusan masalah ini yaitu :

1. Bagaimana perancangan rangkaian sistem *automatic temperature control* untuk bahan bakar pada *main engine* ?

2. Seberapa besar tingkat sensitivitas menggunakan sensor RTD PT100 dari serangkaian sistem yang akan di buat ?
3. Bagaimana upaya optimalisasi bahan bakar *treatment* jenis HFO (*Heavy Fuel Oil*) berdasarkan alur sistem nya pada mesin *diesel* di kapal *tanker* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang didapat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk melakukan perancangan rangkaian sistem *automatic temperature control* untuk bahan bakar pada *main engine*.
2. Untuk mengetahui seberapa besar tingkat sensitivitas pada sensor RTD PT100 dari serangkaian sistem yang akan di buat.
3. Untuk mengetahui bagaimana upaya optimalisasi bahan bakar *treatment* jenis HFO (*Heavy Fuel Oil*) berdasarkan alur sistem nya pada mesin *diesel* di kapal *tanker*.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah di paparkan di atas, maka penelitian ini memfokuskan dari pokok permasalahan yang terjadi dalam rangka untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dengan *fuel oil treatment* guna menunjang performa dari mesin *diesel* untuk kapal *tanker*. Maka dilakukan pembatasan ruang lingkup sebagai berikut :

1. Merancang sistem *automatic temperature control* untuk bahan bakar pada *main engine* agar lebih terkontrol dalam penggunaan suhu temperturnya.
2. Merancang sistem *automatic temperature control* menggunakan sensor RTD PT100 agar mengetahui tingkat sensitivitas pada saat proses pemanasan bahan bakar.
3. Upaya urutan proses optimalisasi bahan bakar *treatment* jenis HFO (*Heavy Fuel Oil*) berdasarkan alur sistem nya pada mesin *diesel*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang ingin di capai penulis dalam pembuatan skripsi/tugas akhir ini adalah :

1. Bagi pembaca

Agar skripsi ini dapat membantu bagi yang membaca ataupun *crew* kapal sebagai tambahan informasi, wawasan bertambahnya pengetahuan dalam pengembangan studi akan cara bagaimana optimalisasi bahan bakar *treatment* guna menunjang kinerja dari mesin *diesel*.

2. Bagi institusi

Manfaat yang ingin di capai oleh penulis dalam pembuatan skripsi ini adalah menambahnya pengetahuan dasar dari jurusan kuliah umum, sehingga bukan hanya jurusan kuliah perkapalan saja yang tahu, melainkan jurusan kuliah umum juga tahu gambaran dari kegiatan yang di lakukan di kamar mesin kapal sehingga menambah wawasan baru yang dimiliki.

3. Bagi perusahaan

Manfaat yang ingin di capai adalah menjalin hubungan baik dengan lembaga pendidikan khususnya Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan perusahaan pelayaran, sehingga menerapkan sistem yang sama dalam mengatasi permasalahan di atas kapal yang tentunya dengan masalah yang sama.

4. Bagi peneliti

Manfaat yang ingin di capai adalah untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

1.6 Metode Penulisan

Adapun metode penulisan yang digunakan untuk mendapatkan data dalam membahas permasalahan sesuai dengan judul yang di atas adalah :

1. Metode literatur

Metode ini merupakan pengumpulan data dari berbagai buku tentang teori-teori.

2. Metode survei analitik

Metode ini merupakan pengumpulan data dengan cara survei observasi, survei penilaian, insiden kritis, dan analisis faktor.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam upaya untuk mencapai pembuatan tugas akhir yang maksimal sehingga mencapai sebuah pemahaman ilmu pengetahuan. Maka penelitian tugas akhir ini disusun dengan sistematika yang terdiri dari 5 bab, yang setiap bab nya memiliki penjelasan berdasarkan pengalaman kerja praktik di perusahaan pelayaran disusun secara berkesinambungan yang dalam pembahasannya merupakan satu rangkaian yang tidak terpisahkan, adapun sistematika penelitian tersebut disusun sebagai berikut :

a. **BAB I PENDAHULUAN**

Dalam bab ini peneliti menjelaskan mengenai uraian dan penjelasan yang melatar belakangi pemilihan judul skripsi, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

b. **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini menjelaskan mengenai tinjauan pustaka yang berisikan teori dan gambaran pengetahuan yang ada saat ini sehingga disusun dalam satu kesatuan utuh untuk dijadikan landasan penyusunan kerangka pemikiran dan definisi tentang istilah lain dalam penelitian.

c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini menjelaskan mengenai jenis metode penelitian, waktu dan tempat penelitian, sumber data, teknis analisis data dan prosedur penelitian.

d. **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini menjelaskan mengenai uraian hasil penelitian dan pemecahan masalah guna memberikan jalan keluar atas masalah yang dihadapi.

e. **BAB V PENUTUP**

Pada bagian penutup berisikan kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan masalah yang menghasilkan saran yang dapat bermanfaat bagi pihak yang terkait sesuai dengan fungsi penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin *Diesel*

Membahas soal sejarah motor bakar atau biasa disebut mesin *diesel*. Mesin *diesel* diciptakan oleh Rudolf Diesel, seorang ilmuwan Jerman kelahiran 18 Maret 1858 di Perancis, yang berhasil mempertunjukkan hasil karyanya pada tahun 1892. Namun sebelumnya pada tahun 1876, seorang ilmuwan Jerman bernama Nikolaus Otto berhasil menciptakan sebuah motor gas dengan siklus empat langkah yang merupakan prinsip kerja dari motor bensin pada waktu itu. Kedua tokoh tersebut sangat berpengaruh bagi pengembangan mesin *diesel* pada waktu ini. Namun sebelumnya seorang ilmuwan yang berasal dari Perancis bernama Lenoir berhasil menciptakan mesin gas bersiklus dua langkah pada tahun 1860. Pada mesin yang dia ciptakan tersebut katup isap menutup menjelang akhir gerakan torak dari TMB ke TMA dan pada waktu itu diadakan loncatan bunga api listrik untuk menyalakan dan membakar gas pada tekanan atmosfer. Maka dari itu mesin yang bekerja dengan sistem tanpa kompresi tidak dapat menghasilkan daya dan efisiensi yang cukup tinggi, sehingga pada tahun 1862 seorang ilmuwan bernama Beau de Rochas berusaha untuk memperbaiki atau menyempurnakan sistem tersebut. Dalam hal itu Beau de Rochas memandang perlu adanya kompresi lebih dahulu sebelum gas tersebut dinyalakan. Teori tersebut sekarang menjadi prinsip kerja mesin dengan siklus empat langkah. Ide tersebut pertama kalinya dituangkan pada mesin yang dibuat oleh Nikolaus Otto.

Menurut (Hanafi, 2006) mesin *diesel* merupakan jenis mesin dengan pembakaran dalam karena gas panas yang diperoleh dari proses pembakaran didalam mesin itu sendiri dilakukan dengan cara menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi dan dipakai untuk melakukan kerja mekanis, yaitu menjalankan mesin tersebut. Sehingga mesin pancar gas untuk pesawat terbang, sistem turbin gas untuk pembangkit listrik, mesin induk kapal, dan motor roket termasuk dalam golongan mesin *diesel*.

Menurut (Muksin, 2014) motor *diesel* adalah jenis motor bakar torak (*piston*) atau disebut juga dengan motor pembakaran kompresi (*compression ignition engine*). Pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar dilakukan dengan cara menyemprotkan bahan bakar ke dalam silinder motor yang terisi dengan udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi, sebagai akibat dari proses kompresi.

Mesin *diesel* memiliki efisiensi termal (energi panas) terbaik dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam maupun pembakaran luar lainnya, karena memiliki rasio siklus kompresi yang sangat tinggi. Mesin *diesel* kecepatan-rendah (seperti pada mesin kapal) dapat memiliki efisiensi termal lebih dari 50%. Kemudian mesin *diesel* dikembangkan dalam versi dua-tak dan empat-tak. Mesin ini awalnya digunakan sebagai pengganti mesin uap. Sejak tahun 1910-an, dan mesin ini mulai digunakan untuk kapal dan kapal selam, kemudian diikuti lokomotif, truk, pembangkit listrik, dan peralatan berat lainnya.

Mesin *diesel* adalah jenis khusus dari mesin pembakaran dalam karakteristik utama pada mesin *diesel* yang membedakannya dari motor bakar yang lain, terletak pada metode pembakaran bahan bakarnya. Ditinjau dari cara memperoleh energi termal ini mesin kalor dibagi menjadi dua golongan, yaitu mesin pembakaran luar dan mesin pembakaran dalam. Pada mesin pembakaran luar atau sering disebut juga sebagai *Eksternal Combustion Engine* (ECE) proses pembakaran terjadi diluar mesin, energi termal dari gas hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja mesin melalui dinding pemisah, contohnya mesin uap. Pembakaran dalam atau sering disebut juga sebagai *Internal Combustion Engine* (ICE) proses pembakaran berlangsung di dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Mesin pembakaran dalam umumnya dikenal juga dengan nama motor bakar. Dalam kelompok ini terdapat motor bakar torak dan sistem turbin gas. Terlepas dari penjelasan secara singkat mengenai mesin *diesel* maka terdapat segi keuntungan dan kerugian mesin *diesel* daripada mesin pembakaran lainnya sebagai berikut :

a. Keuntungan

- Mesin *diesel* mempunyai efisiensi panas yang lebih besar dari mesin pembakaran yang lain. Sehingga penggunaan bahan bakarnya lebih ekonomis daripada mesin pembakaran yang lain.
- Mesin *diesel* lebih tahan lama dan tidak memerlukan elektrik igniter, sehingga kesulitan lebih kecil daripada mesin pembakaran yang lainnya.
- Momen mesin *diesel* tidak berubah pada tingkatan kecepatan yang luas. Bahwa mesin *diesel* lebih fleksibel dan lebih mudah dioperasikan.

b. Kerugian

- Tekanan pembakaran maksimum hampir dua kali dari jenis mesin yang lainnya seperti mesin bensin, sehingga suara dan getaran mesin *diesel* lebih besar.
- Tekanan pembakarannya lebih tinggi, yang mengakibatkan mesin *diesel* harus dibuat dari bahan yang bertekanan tinggi dan harus mempunyai struktur yang sangat kuat. Sehingga mesin *diesel* jauh lebih berat daripada mesin pembakaran lainnya dan biaya pembuatannya pun jadi lebih mahal.
- Mesin *diesel* memerlukan sistem bahan bakar yang presisi, sehingga pemeliharaannya harus lebih teliti.
- Mesin *diesel* mempunyai perbandingan kompresi yang lebih tinggi dan membutuhkan gaya yang lebih tinggi untuk memutarnya, sehingga mesin *diesel* memerlukan alat pemutar seperti motor stater dan baterai yang berkapasitas lebih besar.

2.1.1 Prinsip Kerja Mesin *Diesel*

Menurut (Yuswidjanto, 2021) motor *diesel* dikategorikan dalam jenis motor bakar torak dan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Prinsip kerja dari mesin *diesel* adalah dengan cara merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Energi kimia diperoleh melalui proses reaksi kimia (pembakaran) dari bahan bakar (solar) dan oksidiser (udara) di dalam silinder (ruang bakar). Pembakaran pada mesin *diesel* terjadi ketika kenaikan temperatur campuran udara dan bahan bakar akibat kompresi torak hingga mencapai temperatur nyala dari bahan bakar.

Temperatur saat terjadinya kompresi di dalam silinder (ruang bakar) bisa mencapai suhu hingga 5500°C , sedangkan titik didih pada bahan bakar *diesel* berada pada suhu mencapai 3000°C yang kemudian mengakibatkan bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya tanpa harus menggunakan busi seperti pada mesin berbahan bakar bensin yang memiliki titik bakar lebih kecil dibandingkan dengan mesin *diesel*, sehingga mesin *diesel* tidak membutuhkan busi sebagai pemicu percikan pembakaran karena bahan bakar pada mesin *diesel* dapat terbakar dengan sendirinya pada saat terjadinya kompresi pada ruang bakar.

Tekanan gas hasil pembakaran pada bahan bakar dan udara akan mendorong torak (*piston*) yang dihubungkan dengan poros engkol menggunakan batang torak, sehingga membuat torak dapat bergerak bolak-balik (*reciprocating*). Gerakan bolak-balik dari torak akan diubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol (*crank shaft*). Dan sebaliknya gerak rotasi poros engkol juga diubah menjadi gerak bolak-balik torak pada langkah kompresi.

2.1.2 Langkah Kerja Mesin Diesel

Mesin *diesel* membutuhkan proses untuk melakukan proses pembakaran. Proses pembakaran dari mesin *diesel* terdiri dari empat tahap atau langkah. Keempat tahap atau langkah tersebut dijelaskan menurut (Yuswidjanto, 2021) adalah sebagai berikut :

2.1.2.1 Langkah Isap

Langkah isap merupakan proses ketika udara dimasukkan ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*). Sehingga torak (*piston*) bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju ke TMB (Titik Mati Bawah). Lalu torak (*piston*) membentuk vakum didalam silinder seperti motor bensin. Dan yang terjadi, hanya katup hisap yang terbuka sehingga memungkinkan udara masuk ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*) melalui filter udara dan katup buang tertutup selama langkah hisap ini sedang berlangsung.



Gambar 2. 1 Proses Langkah Isap

Sumber: (Ardiansyah, 2019)

2.1.2.2 Langkah Kompresi

Langkah kompresi merupakan terjadinya ketika torak (*piston*) bergerak dari TMB (Titik Mati Bawah) menuju ke TMA (Titik Mati Atas). Pada saat langkah kompresi ini kedua katup baik katup udara masuk ataupun katup udara pembuangan dalam keadaan tertutup. Sehingga udara yang berada didalam ruang bakar dapat di kompres dengan baik dan menjadi panas. Beberapa derajat sebelum *piston* mencapai TMA, bahan bakar akan disemprotkan keruang bakar oleh *injector* yang berbentuk kabut. pada langkah kompresi udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi akan disemprotkan atau di injeksikan oleh injektor sehingga terjadilah pembakaran diruang bakar mesin tersebut hingga mencapai suhu 900°C.



Gambar 2. 2 Proses Langkah Kompresi

Sumber: (Ardiansyah, 2019)

2.1.2.3 Langkah Usaha

Langkah usaha merupakan ketika posisi torak (*piston*) bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju ke TMB (Titik Mati Bawah) dan kedua katup baik itu katup *inlet* ataupun *outlet* masih dalam keadaan tertutup. udara didalam yang sudah dikompresi akan disemprokan oleh *injector* sehingga mengakibatkan ledakan akibat terjadinya pertemuan antara udara bersuhu tinggi dengan bahan bakar yang disemprotkan dengan *injector*. Kemudian bahan bakar yang disemprotkan oleh *injector* merupakan bahan bakar yang sudah dimampatkan dengan tekanan tertentu sehingga memudahkan untuk terjadi ledakan. Tekanan yang besar tersebut akan mendorong piston kebawah yang menyebabkan terjadi gaya aksial. Gaya aksial ini dirubah dan diteruskan oleh poros engkol menjadi gaya radial (putar).



Gambar 2. 3 Proses Langkah Usaha

Sumber: (Ardiansyah, 2019)

2.1.2.4 Langkah Buang

Langkah buang merupakan proses terjadinya ketika torak (*piston*) bergerak dari TMB (Titik Mati Bawah) menuju ke TMA (Titik Mati Atas) dikarenakan dorongan hasil dari ledakan. Secara bersamaan katup *outlet* terbuka tetapi katup inlet masih tertutup sehingga udara sisa pembakaran akan di dorong keluar dari ruang silinder menuju *exhaust manifold* dan langsung menuju knalpot. Begitu seterusnya sehingga terjadi siklus pergerakan piston yang tidak berhenti.



Gambar 2. 4 Proses Langkah Buang

Sumber: (Ardiansyah, 2019)

2.1.3 Jenis-jenis Mesin *Diesel*

Menurut (Yuswidjanto, 2021) mesin *diesel* terbagi menjadi dua jenis yaitu; mesin *diesel* 2 tak dan mesin *diesel* 4 tak. Berikut adalah penjelasan mengenai perbedaan antara mesin *diesel* 2 tak dan mesin *diesel* 4 tak.

2.1.3.1 Mesin *Diesel* 2 Tak

Mesin *diesel* 2 tak mempunyai perbedaan dari mesin *diesel* 4 tak, perbedaan tersebut adalah pada mesin *diesel* 2 tak dalam menyelesaikan siklusnya hanya perlu satu kali putara saja pada poros engkol (*crank shaft*). Kemudian pada mesin *diesel* 2 tak hanya mempunyai satu katup (*valve*) yaitu *exhaust valve*, yang dimana udara kompresi masuk melalui *blower* pada *turbocharge* menuju *scaving air* atau dengan sebutan udara bilas. Disebut sebagai udara bilas karena udara yang masuk melalui *scaving port* akan menggantikan gas hasil pembakaran dengan udara bersih yang kemudian akan digunakan untuk proses pembakaran bahan bakar didalam ruang bakar.

Keuntungan bila memakai mesin *diesel* 2 tak daripada mesin *diesel* 4 tak tak, terdapat pada *responsive*, karena tenaga yang dihasilkan oleh mesin *diesel* 2 tak lebih besar daripada mesin *diesel* 4 tak. Selain keuntungan terdapat juga kerugian yang dimiliki oleh mesin *diesel* 2 tak yang sebanding dengan besarnya tenaga yang dihasilkan oleh mesin *diesel* 2 tak. Sehingga konsumsi bahan bakar pada mesin *diesel* 2 tak lebih besar daripada konsumsi bahan bakar mesin *diesel* 4 tak.

2.1.3.2 Mesin *Diesel* 4 Tak

Pada mesin *diesel* 4 tak dalam menyelesaikan siklus kerjanya hanya memerlukan 2 kali putaran poros engkol (*crank shaft*). Proses yang dilalui pada mesin *diesel* 4 tak untuk mendapatkan hasil satu kali usaha pembakaran terdiri dari empat proses yaitu ; proses isap, proses kompresi, proses usaha, dan proses buang. Pada mesin *diesel* 4 tak tidak mempunyai *scaving port* karena mesin *diesel* 4 tak hanya memiliki satu pasang katup (*valve*) yaitu ; *valve inlet* dan *valve outlet*.

Keuntungan bila menggunakan mesin *diesel* 4 tak dibandingkan mesin *diesel* 2 tak terdapat pada konsumsi bahan bakarnya lebih sedikit daripada mesin *diesel* 2 tak. Selain itu kekurangan yang terdapat pada mesin *diesel* 4 tak terdapat pada kurangnya *responsive*, karena tenaga yang dihasilkan dari putaran mesin cenderung lebih rendah dibandingkan dengan mesin *diesel* 2 tak.



Gambar 2. 5 Mesin *Diesel* 4 Tak Pada *Tug Boat*

2.1.4 Bagian-bagian Mesin *Diesel*

Didalam mesin *diesel* terdapat bagian-bagian yang memiliki fungsi tersendiri dan bekerja sama dengan bagian yang lain sehingga menjadi satu kesatuan pada mesin *diesel*. Berikut penjelasan mengenai bagian-bagian dari mesin *diesel*.

2.1.4.1 *Cylinder Blok* Mesin *Diesel*

Menurut (Annamneedi, 2016) *cylinder blok* pada mesin *diesel* adalah struktur terpadu yang terdiri dari silinder mesin bolak-balik dari beberapa struktur pendukung didalam mesin *diesel* tersebut, seperti (saluran pendingin, saluran masuk dan pembuangan serta *port*, dan bak mesin). Istilah blok mesin sering digunakan secara sinonim dengan "*cylinder blok*". Dalam hal dasar pada elemen-

elemen mesin, berbagai bagian utama dari sebuah mesin (seperti silinder, kepala silinder, saluran pendingin, dan bak mesin) secara konseptual berbeda, dan konsep-konsep ini semua dapat dipakai sebagai potongan diskrit yang dibuat bersama-sama. Sejarah singkat mengenai konstruksi seperti itu sangat luas pada dekade awal komersialisasi mesin pembakaran *internal* pada tahun 1880-an hingga 1920-an dan kadang-kadang masih digunakan dalam aplikasi tertentu di mana ia tetap menguntungkan.

Menurut (R, Suresh, 2015) *cylinder* blok merupakan salah satu komponen mesin pembakaran *internal* yang paling banyak digunakan. Mereka harus memenuhi persyaratan mengenai daya tahan dan fungsionalitas. Blok mesin biasanya terbuat dari besi cor dan atau di mesin modern, *aluminium* dan magnesium digunakan sebagai bahan dasarnya. Beban yang bekerja pada blok mesin adalah beban termal, beban mekanis dll.

Pada *cylinder* blok mesin *diesel* terdapat lubang silinder yang ber dinding halus, dimana fungsinya sebagai torak (*piston*) bergerak bolak-balik dan pada bagian sisi-sisi blok silinder dibuatkan lubang-lubang mantel air pendingin yang berfungsi sebagai sistem pendinginan dari mesin itu sendiri. Terlepas dari penjelasan diatas, fungsi utama dari *cylinder* blok pada mesin *diesel* sebagai berikut:

- a. Sebagaiudukan silinder liner dan kepala silinder.
- b. Sebagai rumah mekanisme poros engkol (*crankshaft*), batang penghubung (*connecting rod*), torak (*piston*), dan lain-lain.
- c. Terdapat ruang dan lubang-lubang untuk aliran air pendingin dan sirkulasi oli yang masing-masing memiliki fungsi tersendiri.



Gambar 2. 6 *Cylinder Blok Mesin Diesel*

2.1.4.2 *Cylinder Head Mesin Diesel*

Menurut (Nasution & Razali, 2019) *cylinder head* pada mesin *diesel* merupakan salah satu komponen yang penting dan kompleks dari motor bakar dalam bagian dari ruang bakar, katup masuk dan katup buang dengan *valve seats* dan *valve guides*, injektor, dan sistem pendingin. *Cylinder head* dibuat dari besi cor atau *aluminium* yang harus kuat supaya dapat menerima tekanan dari pembakaran dan sebagai penutup dari *cylinder liner*. Pada *cylinder head* terdapat *spark plug* pada *spark ignition engines*, injektor bahan bakar pada *compression ignition engines*, dan pada *overhead valve engine* terdapat mekanisme buka tutup katup. Adapun beberapa fungsi dari *cylinder head* adalah sebagai berikut :

- a. Sebagai penutup dari *cylinder liner*.
- b. Menjadi bagian yang menopang katup buang dan katup masuk.
- c. Sebagai tempat untuk pembakaran campuran pada bahan bakar dan udara.
- d. Sebagai tempat untuk pemasangan saluran air pendingin atau *water jacket*.
- e. Sebagai tempat untuk pemasangan saluran masuk (*intake manifold*) dan saluran buang (*exhaust manifold*).
- f. Dan lain-lain.



Gambar 2. 7 *Cylinder Head* Mesin *Diesel*

2.1.4.3 Katup (*Valve*) Mesin *Diesel*

Menurut (Hetharia, 2012) katup atau *engine valve* adalah komponen penting dalam sebuah mesin *diesel*. *Engine valve* berada pada kepala silinder (*head cylinder*) pada setiap mesin *diesel* yang berbentuk seperti payung. *Engine valve* terbagi menjadi dua kerja, pertama sebagai katup isap (*inlet valve*) yang berfungsi sebagai membuka saluran bahan bakar yang akan masuk pada ruang bakar, katup hisap ini bekerja atau membuka pada saat torak (*piston*) akhir langkah buang sampai pada saat *piston* awal langkah kompresi. Kedua sebagai katup buang (*exhaust valve*) yang berfungsi sebagai membuka saluran buang yang akan membuang sisa-sisa pembakaran, katup buang ini bekerja atau membuka pada saat *piston* akhir langkah kerja sampai pada saat *piston* awal langkah isap.

Mekanisme katup merupakan mekanisme untuk pengaturan pada proses pembukaan dan penutupan katup pada saluran masuk dan buang motor bakar. Mekanisme tersebut berfungsi untuk membuka dan menutup katup isap dan katup buang (*inlet & exhaust valve*) yang sesuai dengan *firing* order suatu silinder dan proses pengerjaannya, yang memasukkan campuran bahan bakar dan udara serta mengeluarkan gas buang sisa pembakaran. Pada mesin *diesel* dijumpai kerusakan pada sistem yang menyebabkan *timing belt* pada mesin ini putus, sehingga menyebabkan, pengguna mesin *diesel* harus mengganti *engine valve* akibat katup tersebut bengkok dan tidak dapat dipakai lagi (Usman, 2016).



Gambar 2. 8 Katup (*Valve*) Mesin *Diesel*

2.1.4.4 Torak (*Piston*) Mesin *Diesel*

Torak (*piston*) adalah bagian utama dan penting pada mesin *diesel* sebagai penggerak translasi gaya tekanan akibat dari proses pembakaran yang terjadi didalam silinder ke poros engkol (*crank shaft*) dengan perantaraan batang penggerak (*connecting rod*). Dengan begitu selama mesin beroperasi, maka *piston* senantiasa akan bekerja pada kondisi tekanandan temperatur yang tinggi. Gaya kesamping yang timbul, akan mengakibatkan terjadinya tekanan pada *piston* terhadap dinding silinder sehingga pada bagian ini dinding silinder dan *ring piston* akan cepat aus. Agar *piston* dapat bekerja dengan baik, maka material yang dibutuhkan *piston* harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Tahan terhadap tekanan dan temperatur yang tinggi.
- b. Mempunyai koefisien muai yang kecil.
- c. Mempunyai koefisien gesek yang kecil.
- d. Mempunyai bobot yang ringan, agar dapat mengurangi gaya inersia dari bagian yang bergerak.
- e. Mempunyai sifat penghantar panas yang baik sehingga panas dapat dengan mudah ditransfer keluar.

Piston pada mesin *diesel* dibuat tahan terhadap panas dan tekanan yang lebih tinggi daripada *piston* mesin bensin. Toleransinya dengan kepala silinder lebih kecil disebabkan oleh perbandingan kompresi yang tinggi, sehingga bagian atas *piston* dibuat potongan untuk mencegah terjadinya benturan *piston* dengan katup. Pada tipe injeksi langsung (*direct injection*), potongan ini juga memiliki fungsi sebagai ruang bakar. Kemudian dalam hal ini, pada ruang bakar bisa membangkitkan arus pusar gas yang bersuhu tinggi sehingga bahan bakar akan bercampur lebih cepat

dan terbakar lebih sempurna. Pada umumnya *piston* memiliki dua bahan jenis yang berbeda yaitu *aluminium alloy* dan *cast iron* yang sering digunakan dan memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

a. *Aluminium alloy*

- Jenis bahan ini dipakai pada motor bakar dengan putaran tinggi dan sedang.
- Lebih tahan terhadap korosi dan keausan.
- Lebih ringan dari *cast iron*.
- Konduktivitas termalnya (energi panas) lebih baik.
- Lebih tahan terhadap tekanan dan temperatur yang tinggi.
- Angka pemuaian yang lebih besar.

b. *Cast iron*

- Jenis bahan ini dipakai pada motor bakar dengan putaran rendah.
- Bobotnya lebih berat dibandingkan *aluminium alloy*.
- Konduktivitas termalnya lebih rendah dibandingkan *aluminium alloy*.
- Angka pemuaian yang rendah.
- Tahan terhadap temperatur yang tinggi.



Gambar 2. 9 Torak (*Piston*) Mesin *Diesel*

2.1.4.5 Batang Engkol (*Connecting Rod*) Mesin *Diesel*

Menurut (Maanen, P, 1997) *connecting rod* adalah komponen pada motor *diesel* yang memiliki fungsi sebagai menyalurkan tenaga ledakan pembakaran pada bahan bakar yang diterima oleh *piston* ke poros engkol untuk diubah menjadi gerak rotasi. Dengan demikian *connecting rod* dapat menerima beban panas, beban gesekan, dan beban tekan dari ledakan pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Beban panas yang diterima oleh *connecting rod* berasal dari rambatan panas yang di hantarkan

oleh torak (*piston*). Panas yang berlebihan akan menyebabkan pemuaian pada *connecting rod*, terutama pada bagian yang dekat dengan *piston*, oleh karena itu perlu adanya pendinginan pada bagian tersebut. Beban gesekan pada *connecting rod* terjadi pada bagian yang berhubungan dengan pin atau poros pada saat mesin sedang bekerja, sedangkan beban tekan berasal dari tenaga pembakaran yang selanjutnya akan diteruskan ke poros engkol. Adapun gaya-gaya yang diterima oleh batang penggerak (*connecting rod*) adalah sebagai berikut :

- a. Gaya inersia dari bagian yang bertranslasi dan berotasi.
- b. Gaya gesek dari ring piston dan bantalan batang penggerak.
- c. Gaya akibat kompresi dan ekspansi pada piston yang diteruskan oleh batang penggerak.
- d. Gaya akibat tekanan gas pembakaran (F_g).

Kemudian fungsi dari batang engkol (*connecting rod*) adalah sebagai berikut :

- a. Menghubungkan Antara *piston* dengan *crank shaft*.
- b. Merubah gerak lurus pada *piston* mejadi gerak putar pada *connecting rod*.
- c. Memindahkan gaya *piston* ke *crank shaft* dan membangkitkan momen putar pada *crank shaft*.

Dan bagian-bagian yang terdapat pada *connecting rod* adalah sebagai berikut :

- a. “*Rod eye*”, yang berfungsi sebagai penahan pada *piston pin bushing*.
- b. “*Piston in bushing*”, merupakan jenis bearing yang berfungsi sebagai mendistribusikan beban.
- c. “*Shank*”, merupakan salah satu bagian pada *connecting rod* antara *small* dan *big end*, berbentuk (I) yang kuat dan kaku.
- d. “*Cap*”, salah satu bagian *connecting rod* yang terletak pada bagian ujung besar (*big end*) *connecting rod*. Komponen ini melingkar di *crank shaft bearing journal* yang berfungsi untuk mengikatkan *connecting rod* ke *crank shaft*.
- e. “*Bolt dan nut rod*”, berfungsi sebagai pengunci *rod* dan *cap* pada *crank shaft*.
- f. “*Connecting rod bearing*”, yang memiliki fungsi untuk melapisi atau menjadi bantalan untuk *connecting rod* dengan *crank shaft*.



Gambar 2. 10 Batang Engkol (*Connecting rod*) Mesin *Diesel*

2.1.4.6 Poros Engkol (*Crank Shaft*) Mesin *Diesel*

Menurut (Tristanto Prasetya et al., 2018) poros engkol (*crank shaft*) merupakan sebuah bagian yang penting pada mesin *diesel* yang mengubah gerak *vertical* atau *horizontal* dari *piston* menjadi gerak rotasi (putaran). Untuk mengubahnya, dengan proses kerja dari sebuah *crank shaft* membutuhkan pena engkol (*crankpin*), sebuah *bearing* tambahan yang diletakkan di bagian ujung batang penggerak pada setiap silinder, yang berfungsi untuk untuk mengubah gerak naik turun torak (*piston*) menjadi gerak putar yang akhirnya dapat menggerakkan roda gila (*fly wheel*).

Bahan dari poros engkol (*crank shaft*) harus memiliki sifat yang baik terhadap kelelahan, karena poros engkol akan mengalami pembebanan yang berubah-ubah sesuai dengan sudut engkol. Kemudian bagian-bagian yang terdapat pada *crank shaft* menurut (Tristanto Prasetya et al., 2018) adalah sebagai berikut :

a. *Main bearing*

Main bearing terletak pada blok mesin yang merupakan tumpuan utama bagi *crank shaft* pada saat berputar. Disebut *main bearing* karena *bearing* ini tidak kemana-mana hanya duduk diam di blok mesin. Dan bantalan ini terdiri dari dua belahan yang berbentuk setengah lingkaran yang dilengkapi dengan alur pelumas.

b. *Crank shaft thrust bearing*

Crank shaft thrust bearing merupakan bearing yang didesain untuk menahan beban *horizontal* yang paralel dengan sumbu poros *horizontal*.

c. *Counter balance weight*

Merupakan penyeimbang pada putaran mesin.

d. *Crank pin journal dan main journal*

Bagian poros engkol yang dihubungkan dengan blok silinder, *main journal* adalah *crank journal* yang terletak di tengah. Pada *main journal* terdapat bantalan yang disebut dengan bantalan duduk (*main bearing*), sementara pada *main journal oil* pada bagian samping juga terdapat bantalan yang disebut dengan metal bulan.

e. Pena engkol (*crank pin*)

Pena engkol merupakan bagian poros engkol yang akan dihubungkan dengan *big end* pada *connecting rod*. Kemudian *crank pin* akan dipasangi bantalan yang biasa disebut dengan metal jalan.

f. *Crank arm*

Crank arm salah satu bagian pada *crank shaft* yang berfungsi sebagai penghubung antara *crank journal* ke *crank pin*.



Gambar 2. 11 Poros Engkol (*Crank Shaft*) Mesin *Diesel*

2.1.4.7 Poros Nok (*Cam Shaft*) Mesin *Diesel*

Menurut (Burgess, Peter, and Gollan, 2000) dalam bukunya yang berjudul “*How To Build, Modify And Power Tune Cylinder Head*”, menjelaskan bahwa poros nok (*cam shaft*) adalah salah satu bagian dari mesin *diesel* yang memiliki tugas untuk mengatur waktu membuka dan menutup katup (*valve*) pada saat kondisi yang tepat. Maka dari itu hal ini memiliki tujuan untuk mengisi silinder dengan campuran bahan bakar dan juga udara sebelum terjadinya pembakaran serta mengosongkan silinder setelah proses pembakaran. Hal tersebut terdengar cukup

sejalan, tetapi bagaimana fungsi ini dilakukan akan memiliki efek yang besar terhadap torsi, daya, jangkauan kerja dan kemampuan *engine*. Disatu sisi ada beberapa fungsi yang dimiliki oleh *cam shaft* antara lain sebagai berikut :

- a. Membuka dan menutup katup sesuai dengan urutan timing pengapian atau *firing order*.
- b. Untuk mengatur poros distributor, pada *cam shaft* ini terdapat gigi penggerak distributor atau disebut distributor *drive gear*. Distributor ini seperti berputar dan digerakkan oleh *cam shaft*.

Kemudian dalam bentuk dari *cam shaft* memiliki desain dari empat hal yaitu sebagai berikut :

- a. Durasi

Yang dimaksud oleh durasi adalah sebagai waktu buka dan tutup katup dalam satu siklus kerja yang dihitung berdasarkan perubahan pada posisi poros engkol (*crank shaft*) yang diukur dalam bentuk derajat. Berdasar riset, besar kecil durasi ideal *cam shaft* ditentukan oleh karakter jalanan dan besarnya volume silinder.

- b. *Lift*

Lift merupakan tinggi angkatan pada katup yang dihitung dari posisi katup menutup sempurna sampai dengan posisi katup membuka secara penuh sempurna. Selisih dari hal tersebut adalah *lift* katup. Besar kecil pada *lift* katup ditentukan oleh diameter katup (0,32 dari D katup), perbandingan *rocker arm*, kualitas bahan katup dan pegas katup.

- c. Profil

Profil adalah bentuk dari *cam shaft*, yang membedakan antara *cam shaft* satu dengan yang lainnya adalah dilihat dari *flank* dan *nose*. Meskipun durasi dan *lift* sama belum tentu karakter *cam shaft* nya sama juga.

- d. *Lobe Sparation Angle* (LSA)

Lobe sparation angle (LSA) merupakan jarak titik pada puncak tonjolan antara *cam in* dan *cam out* yang ditentukan dalam bentuk sudut derajat poros engkol. Kemudian hal ini memiliki hubungan dengan sudut *overlapping cam shaft* pada motor. Dari hasil penelitian yang dilakukan, bahwasannya LSA sangat mempengaruhi karakter pada mesin motor yang dihasilkan. Semakin

kecil LSA *power band* yang dihasilkan pada mesin maka semakin sempit dan *peak power* terjadi pada rpm tinggi. Begitu juga sebaliknya dengan LSA besar.



Gambar 2. 12 Poros Nok (*Cam Shaft*) Mesin *Diesel*

2.1.4.8 Roda Gila (*Fly Wheel*) Mesin *Diesel*

Menurut dalam jurnal (Syawani, 2016) bahwasannya roda gila (*fly wheel*) adalah bentuk dari media penyimpanan pada energi dengan prinsip gerak rotasi dimana energi yang tersimpan berupa energi kinetik. Jika dibandingkan dengan media lain seperti pada baterai (*accu*), roda gila mempunyai kepadatan hingga ratusan kali lebih banyak serta memiliki sifat yang dapat menyimpan ataupun melepas energi dengan cepat. Roda gila memiliki momen inersia yang signifikan, dengan begitu dapat menahan perubahan kecepatan rotasi. Besarnya energi yang tersimpan pada roda gila sebanding dengan kuadrat kecepatan rotasi.

Roda gila juga memiliki peran sebagai simpanan energi yang menjaga agar poros engkol dapat berputar untuk menggerakkan torak (*piston*) ketika melakukan siklus langkah baung, langkah hisap, dan langkah kompresi atau dapat disebut juga sebagai gas hasil dari pembakaran yang hanya melakukan kerja positif, yaitu berupa mendorong *piston* bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju ke TMB (Titik Mati Bawah) selama siklus langkah ekspansi saja. Selain itu ada beberapa fungsi dari roda gila (*fly wheel*) sebagai berikut :

- a. Sebagai energi cadangan dan mensuplay ketika energi yang dikeluarkan pada motor berkurang.
- b. Untuk meratakan momen putar yang terjadi pada poros agar kecepatan poros engkol dapat diusahakan *uniform* (merata).
- c. Mendorong *piston* pada langkah tekan bila mesin berputar pelan.



Gambar 2. 13 Roda Gila (*Fly Wheel*) Mesin *Diesel*

2.2 Bahan Bakar Mesin *Diesel*

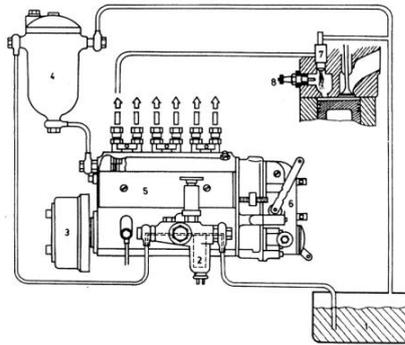
Menurut (Poeswanto & Yani, 2015) bahan bakar merupakan zat yang dapat dibakar dengan respon yang cepat bersama udara (oksigen) dengan hasil dari reaksi pembakaran yakni menghasilkan panas dan juga tenaga. Kandungan yang terdapat pada bahan bakar mesin *diesel* diperoleh dari reaksi zat *Carbon* (C) dan *Hydrogen* (H) serta senyawa yang lainnya sehingga dapat disebut juga sebagai senyawa bahan bakar (*Hydrocarbon*) yang akan bereaksi dengan oksigen sehingga menghasilkan suatu nilai kalor.

2.2.1 Sistem Bahan Bakar

Menurut dalam jurnal (Poeswanto & Yani, 2015) menyatakan bahwa sistem bahan bakar pada mesin *diesel* yang dimana, pompa pengalir mengisap bahan bakar dari tangki bahan bakar. Kemudian bahan bakar disaring oleh penyaring bahan bakar sehingga kandungan air yang terdapat pada bahan bakar dipisahkan oleh *fuel* sedimenter sebelum dialirkan ke pompa injeksi pada bahan bakar. Pompa injeksi terdiri dari; pompa injeksi, governor dan pompa pengalir. Dengan digerakkan oleh mesin, pompa injeksi menekan bahan bakar sehingga dialirkan ke *nozzel* injeksi, dan selanjutnya diinjeksikan ke dalam silinder menurut urutan pengapian. Untuk penyalurannya sampai pada ruang bakar dengan suatu kondisi tertentu diperlukan suatu sistem bahan bakar. Adapun fungsi dari sistem bahan bakar menurut (Poeswanto & Yani, 2015) adalah sebagai berikut :

- a. Mengatomkan atau mengabutkan bahan bakar agar mudah tercampur merata dengan udara sehingga mudah terbakar.

- b. Mengatur jumlah bahan bakar yang sama pada setiap pemasukan di masing-masing silinder pada setiap kebutuhan, sehingga tenaga (*power*) setiap silinder adalah sama.
- c. Mengatur saat mulai proses waktu penyemprotan dan lamanya proses selesai penyemprotan.



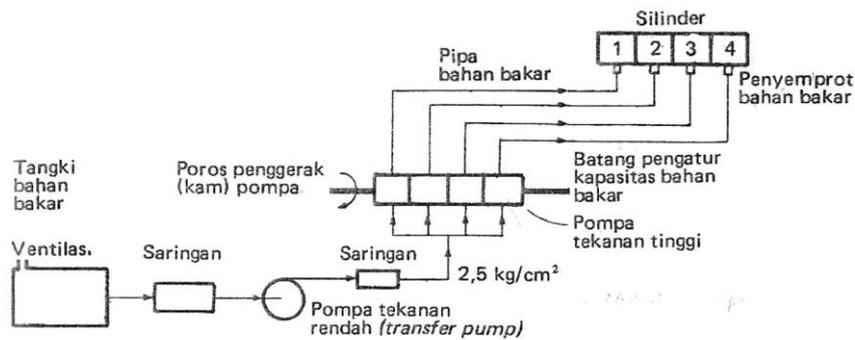
Gambar 2. 14 Skema Sistem Bahan Bakar Mesin *Diesel*

Sumber: (Jamal, 2018)

Pemeliharaan pada mesin *diesel* khususnya pada peralatan sistem bahan bakar memerlukan perhatian yang khusus. Sehingga ada tiga sistem pada bahan bakar yang sering digunakan yaitu sebagai berikut.

2.2.1.1 Sistem Pompa Pribadi

Yang dimaksud sistem pompa pribadi adalah sistem yang menggunakan satu pompa tekanan tinggi untuk setiap silindernya. Sehingga ketika proses penyemprotan dilakukan oleh satu pompa yang bertekanan tinggi. Pompa ini adalah pompa *plunyer* yang dilengkapi dengan peralatan pengatur kapasitas. Daya yang didapatkan untuk menggerakkan pompa ini adalah daya yang dihasilkan oleh mesin itu sendiri.



Gb. 46 Skema sistem pompa - pribadi

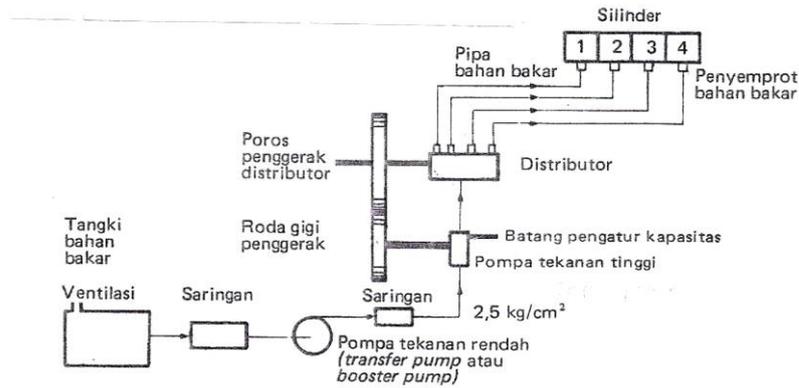
Gambar 2. 15 Skema Sistem Pompa Pribadi

Sumber: (Vera, 2019)

2.2.1.2 Sistem Pompa Distribusi

Sistem pompa distribusi adalah sistem pompa yang hanya menggunakan satu pompa bertekanan tinggi untuk melakukan semua penyemprotan yang ada di setiap silinder. Pada sistem ini pompa mengalirkan bahan bakar bertekanan tinggi sehingga masuk ke dalam distributor. Distributor adalah alat untuk membagi bahan bakar ke dalam setiap penyemprotan sesuai urutan yang ditentukan.

Pompa bertekanan tinggi pada sistem distributor dilengkapi dengan alat pengatur kapasitas. Keuntungan dari sistem ini adalah harganya yang relatif murah dibandingkan dengan sistem pompa pribadi. Tetapi kekurangan dari sistem pompa distribusi adalah kerja pompa yang menjadi lebih berat, terutama jika harus melayani jumlah silinder yang banyak. Selain itu pada sistem ini tekanan dan kapasitas penyemprotan bahan bakar berubah-ubah sesuai dengan kecepatan putar poros pada mesin, karena pompa tersebut digerakan oleh mesin melalui *fly wheel*.



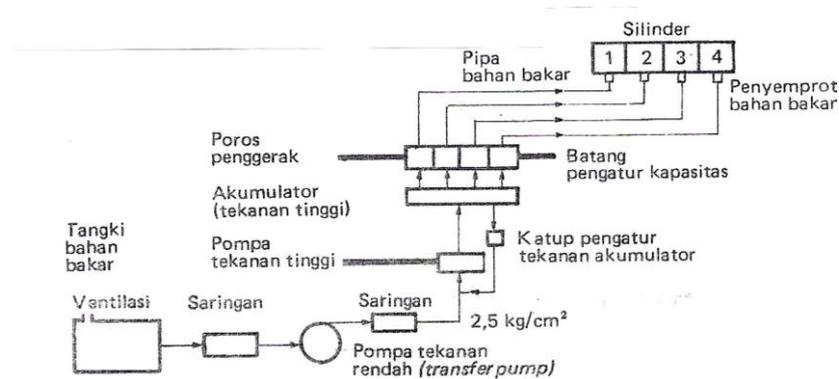
Gb. 47 Skema sistem distribusi

Gambar 2. 16 Skema Sistem Pompa Distribusi

Sumber: (Vera, 2019)

2.2.1.3 Sistem Pompa Akumulator

Pada sistem pompa akumulator, pompa itu mengalirkan bahan bakar masuk kedalam sebuah akumulator yang dilengkapi dengan katup pengatur bertekanan sehingga tekanan pada bahan bakar didalam akumulator dapat konstan. Apabila tekanan tersebut lebih besar dari yang ditentukan, maka katup pengatur akan terbuka dan bahan bakar akan mengalir kembali kedalam pipa isap dari pompa tekanan tinggi. Dari akumulator bahan bakar mengalir kedalam alat pengatur kapasitas, baru kemudian ke penyemprot lalu masuk ke dalam silinder.



Gb. 48 Skema sistem akumulator bahan bakar

Gambar 2. 17 Sistem Pompa Akumulator

Sumber: (Vera, 2019)

Ketiga sistem tersebut mempergunakan beberapa komponen yang sama seperti; tangki, saringan (*filter*) dan pompa penyalur bertekanan rendah. Saringan pada

bahan bakar sangatlah diperlukan untuk mencegah masuknya kotoran kedalam pompa penyalur, pompa tekanan tinggi, dan penyemprot bahan bakar. Kotoran didalam aliran pada bahan bakar dapat menyebabkan kerusakan, terutama keausan pada pompa dan juga penyemprot. Kemudian saluran pada bahan bakar bias tersumbat sehingga mengganggu kerja dari mesin *diesel* dan pompa penyalur akan mengalirkan bahan bakar dari tangki ke pompa tekanan tinggi agar pompa tekanan tinggi dapat selalu terisi bahan bakar dalam segala keadaan pada saat operasi. Tekanan aliran harus selalu lebih tinggi daripada tekanan atmosfer sekitarnya, terutama untuk mencegah masuknya udara ke dalam saluran bahan bakar sekiranya terjadi kebocoran. Ketiga sistem pada bahan bakar tersebut menggunakan pompa bertekanan tinggi, tetapi terdapat perbedaan pada jumlah ataupun fungsinya.

2.2.2 Karakteristik Bahan Bakar (*Fuel Oil Characteristics*)

Karakteristik bahan bakar merupakan nilai acuan yang harus dimiliki pada bahan bakar untuk menghasilkan kinerja yang baik sesuai yang dibutuhkan. Maka dari itu bahan bakar dengan spesifikasi seperti apa agar kinerja dari mesin *diesel* dapat dioperasikan dengan baik. Secara umum karakteristik bahan bakar yang perlu diketahui adalah sebagai berikut :

2.2.2.1 Masa Jenis (*Density*)

Masa jenis adalah perbandingan antara masa jenis pada bahan bakar terhadap volume pada suhu tertentu yaitu 15°C dibandingkan dengan air pada volume dan temperatur yang sama. Masa jenis (ρ) dapat dihitung menggunakan suatu alat pengukuran yang disebut dengan *hydrometer* dengan satuan kg/m³. Perhitungan besaran pada masa jenis bahan bakar di gunakan untuk menghitung jumlah (*quantity*) bahan bakar yang di salurkan pada saat proses *bunkering* (*BSM QHSE MANUALS and BSM Form TEC/TOM.*, 2009). Besaran pada *density* digunakan untuk mengetahui dari kualitas pembakaran (*ignition quality*) dan kelas (*grade*) dari bahan bakar itu sendiri, masa jenis pada bahan bakar sangat penting di atas kapal untuk melakukan langkah pemurnian pada bahan bakar (*fuel oil purification*), lebih besar nilai suatu *density* pada bahan bakar, maka lebih besar pula pengaturan output dan pengaturan dari *gravity disk* dari *purifier* (Vermiere, 2021).

2.2.2.2 Kekentalan (*Viscosity*)

Viscosity merupakan besaran angka untuk mengetahui besarnya hambatan dari suatu kemampuan jenis zat cair (*liquid*) mengalir melewati perantara/pipa tiap detik. Satuan yang di gunakan dalam besara *viscosity* yaitu satuan Centistoke (cSt) sedangkan dalam ISO8217:2010 menyebutkan temperatur bahan bakar yang di syaratkan pada temperatur 45°C sampai dengan 50°C. Menurut (Vermiere, 2021) menyatakan bahwa kekentalan pada bahan bakar (*fuel oil viscosity*) dapat menurun ketika meningkatnya temperature bahan bakar dan penguraian dari partikel berat akan terpisah berdasarkan berat jenisnya.

2.2.2.3 *Specific Gravity*

Specific gravity merupakan suatu perbandingan antara massa dari volume yang di berikan terhadap zat cair pada suhu 15°C terhadap massa jenis cairan sama dengan volume dari air pada suhu yang sama (Shipping, 2001). Berdasarkan acuan ISO 8217, *specific gravity* pada bahan bakar tercantum pada *Bunker Delivery Note* (BDN) yang dapat digunakan untuk menentukan volume pada bahan bakar yang tersisa (ROB) dan juga untuk mengukur volume dari bahan bakar yang akan di distribusian dalam kegiatan *bunkering*. Perubahan suhu (ΔT) yang terjadi akan berdampak pada hasil dari besaran actual *specific gravity* yang nantinya akan menentukan massa dari bahan bakar dalam *metric ton* (*BSM QHSE MANUALS and BSM Form TEC/TOM.*, 2009).

Menurut (Shipping, 2001) hasil nilai dari *specific gravity* dapat di ketahui dengan menggunakan alat ukur *hydrometer floating* pada suatu cairan dan titik yang ditentukan pada level cairan yang memotong pada skala *hydrometer*, hasil nilai yang telah didapatkan harus di buat berdasarkan *fuel oil temperature* dari *sample* pada saat melakukan tes. Standarisasi yang di pakai dalam menentukan metode pengukuran yaitu ASTM D-287. Dalam operasionalnya *specific gravity* berhubungan dengan *fuel temperature* yang akan berpengaruh terhadap nilai dari *fuel density* yang kemudian akan berdampak pada perubahan kekentalan dari bahan bakar itu sendiri.

2.2.2.4 Titik Nyala (*Flash Point*)

Menurut (Vermiere, 2021) titik nyala (*flash point*) adalah suhu terendah pada saat bahan bakar dapat menyala dalam jangka waktu yang pendek, bahan bakar minyak dapat terbakar bila pada permukaan minyak tersebut didekatkan dengan nyalanya api. Menurut ketentuan dari SOLAS menyebutkan bahwa nilai minimal *flash point* pada bahan bakar yang di gunakan di atas kapal yaitu dengan suhu temperatur 60°C, hal ini bertujuan untuk menghindari pemanasan yang diberikan kepada tiap bahan bakar terhadap ruang penyimpanan (Vermiere, 2021). *The Ministry Of Transportation And Lloyd's* menyatakan bahwa syarat ketentuan dari *flash point* pada bahan bakar yaitu tidak lebih rendah dari suhu temperatur 150°F (65°C) sedangkan menurut *british admiralty* yaitu syarat ketentuan dari *flash point* yaitu tidak lebih rendah dari suhu temperatur 175°F atau 70°C.

2.2.2.5 Tingkat Keasaman (*Acid Number*)

Menurut (Vermiere, 2021) tingkat keasaman (*acid number*) adalah suatu nilai dan tingkat keasaman tertentu yang dimiliki oleh suatu bahan bakar karena kandungan kimia bersifat asam yang terkandung didalamnya. Kandungan kimia tersebut yang di maksud adalah senyawa *Sulphur* (S) yang merupakan kandungan alami di dalam bahan bakar yang tidak bisa di pisahkan dengan reaksi apapun. Semakin tinggi sifat keasaman pada bahan bakar, maka semakin tinggi pula nilai asam kuat. Kandungan *acid number* yang di syaratkan pada bahan bakar terdapat dalam spesifikasi di aturan ISO 8217:2010. 6.

2.2.2.6 Kandungan Abu (*Ash Content*)

Kandungan abu (*ash content*) merupakan jumlah sisa-sisa pada bahan bakar yang tertinggal apabila suatu bahan bakar dibakar sampai habis. Dalam bahan bakar *ash content* dapat di jadikan sebagai tolak ukur untuk menentukan kandungan metal dan elemen pada logam lain yang terkandung dalam bahan bakar dengan di anggap sebagai *fuel contamination* (Vermiere, 2021).

2.2.2.7 Carbon Residue

Kandungan *carbon residue* di dapatkan dari hasil laporan pengujian yang dilakukan dari laboratorium ketika melakukan pengujian dengan mengurangi *supply udara intake* sebagai *air supply* (Vermiere, 2021).

2.2.2.8 Titik Beku (*Cloud Point*)

Menurut (Shipping, 2001) titik beku (*cloud point*) adalah titik suhu terendah dimana bahan bakar mulai membentuk lapisan kristal atau *wax*. Lapisan kristal ini disebabkan oleh ketika terjadinya pengaruh dari udara luar yang berubah suhunya baik secara ekstrem ataupun bertahap, molekul sulfur akan mengalami pembekuan dimana kandungan sulfur akan saling bereaksi dan kemudian menggumpal yang menyebabkan terbentuknya lapisan *wax* pada lapisan atas bahan bakar yang di sebut dengan *wax particles* dan apabila terjadi dalam waktu yang lama, maka kemungkinan besar menyebabkan terjadinya efek dari *cold corrosion*.

2.2.2.9 Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang (*pour point*) merupakan suatu hasil nilai dari suhu terendah pada bahan bakar sehingga bahan bakar tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang ini sangat diperlukan pada saat pemakaian dari bahan bakar, karena jika bahan bakar dibawah suhu yang sudah ditentukan pada titik tuang maka bahan bakar sulit dipompa/dialirkan. Menurut (Shipping, 2001) titik tuang merupakan suhu minimal dimana bahan bakar dapat mengalir melewati pipa-pipa bahan bakar dan berpindah dari satu tempat ketempat lain tanpa meninggalkan atau kehilangan *fuel fluid characteristics* itu sendiri. Pemberian suhu panas pada tangki penyimpanan yang di syaratkan untuk menjaga suhu tanki pada bahan bakar dengan suhu temperatur 12°C sampai dengan 28°C, di atas *pour point* untuk keperluan memompa bahan bakar yang baik (Shipping, 2001). Menurut (Shipping, 2001) batas dari *pour point* pada bahan bakar yaitu tidak lebih dari suhu temperatur 40°C, walaupun begitu pada suhu temperatur 27°C merupakan suhu dari *pour point* yang diizinkan.

2.2.2.10 Kandungan Logam berat (*Catalytic Fines*)

Catalytic fines atau yang lebih di kenal dengan kandungan logam berat adalah senyawan murni yang terkandung dalam bahan bakar dengan penyusun utama yaitu kandungan logam *Aluminum* (Al) dan *Silicon* (Si) yang menyebabkan naiknya konsentrasi dari *abrasive particle* di dalam bahan bakar. Pengaruh dari kandungan *catalytic fines* dalam bahan bakar akan menyebabkan terjadinya *catalytic cracking*, pemisahan bahan bakar dari *catalytic fines* sulit dilakukan dan membutuhkan biaya oprasional yang besar. Menurut peraturan *The International Organization for*

Standardization sejak tahun 1982 telah mempublikasikan bahwa *specification for marine bunker fuels* dengan kriteria maksimal kandungan ambang batas dari *catalytic fines* berdasarkan rekomendasi dari MAN *diesel* sebelum *purification process* yaitu tidak boleh melebihi 80 ppm dan tidak boleh melebihi 15 ppm setelah *purification process*.

2.2.2.11 Nilai Cetane (*Cetane Number*)

Dikutip dari (Shipping, 2001) *cetane number* merupakan nilai angka dari unsur *Cetane* (C) pada bahan bakar yang dapat mempengaruhi nilai pembakaran (*ignition quality*) dari bahan bakar dengan nilai C yang lebih tinggi. *Cetane number* pada bahan bakar bergantung pada kandungan alami *hydrocarbon* dari *refinery process* dan *crude oil*, apabila *crude oil* mengalami *refinery process* dengan lebih intensif, maka akan memiliki tingkat *Calculation Carbon Aromatic Index* (CCAI) yang lebih tinggi yang akan berdampak pada tingkat tinggi rendahnya *ignition delay*. Menurut (Vermiere, 2021) *cetane number* hanya dapat di aplikasikan pada bahan bakar residual (HFO) yang dapat mengindikasikan *ignition delay* pada suatu bahan bakar, CCAI dihitung berdasarkan nilai *density* dan *viscosity* dari bahan bakar residual.

2.2.2.12 Heating Value

Menurut (Shipping, 2001) *heating value* sebagai nilai dari pemanas bahan bakar yang di perlukan dalam proses pemanasan pada bahan bakar. *Diesel engine performance* berdasarkan pada rendahnya *heating value* dari bahan bakar selama masa pembakaran yang diturunkan dari tingginya *heating value* dengan substraksi kedalaman panas dari air yang menguap selama proses pembakaran (Shipping, 2001).

2.2.3 Komponen Sistem Bahan Bakar

Bahan bakar sangatlah diperlukan sebagai sumber energi bagi mesin *diesel*. Untuk penyalurannya sampai pada ruang bakar dengan suatu kondisi tertentu diperlukan suatu sistem bahan bakar, maka dari itu di diperlukan komponen-komponen pada sistem bahan bakar sebagai pendukung untuk proses penyaluran bahan bakar hingga ke mesin *diesel*. Berikut komponen-komponen pada sistem bahan bakar menurut (Hadi & Budiarto, 2008) :

2.2.3.1 *Storage Tank* (Tangki Penyimpanan)

Dikutip dari (Fathnin et al., 2018) *storage tank* merupakan tempat untuk menyimpan produk minyak atau sebagai tempat penimbunan pada bahan bakar sebelum produk minyak atau bahan bakar didistribusikan kepada konsumen.



Gambar 2. 18 *Storage Tank*

2.2.3.2 *Settling Tank* (Tangki Pengendapan)

Menurut (Hadi & Budiarto, 2008) *settling tank* adalah sebagai tempat untuk mengendapkan kandungan air dan kotoran padat pada bahan bakar dari *storage tank*. Lama waktu yang diperlukan untuk mengendapkan bahan bakar, adalah kurang lebih 24 jam, hal ini berdasarkan *class rule*.



Gambar 2. 19 *Settling Tank*

2.2.3.3 Transfer Pump (Pompa Transfer)

Menurut (Hadi & Budiarto, 2008) *transfer pump* adalah pompa yang berfungsi untuk memindahkan bahan bakar dari *storage tank* ke *settling tank*.



Gambar 2. 20 Transfer Pump

2.2.3.4 Separator

Menurut (Hadi & Budiarto, 2008) separator adalah untuk membersihkan dan memurnikan bahan bakar dari pengaruh kandungan air dan kontaminasi partikel padat.



Gambar 2. 21 Separator

2.2.3.5 Day Tank (Tangki Harian)

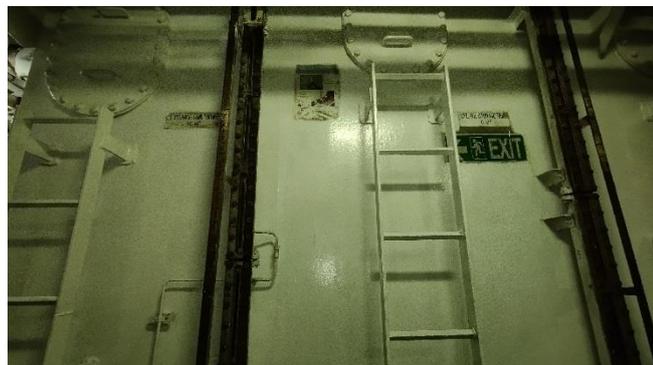
Menurut (Hadi & Budiarto, 2008) *day tank* adalah tempat penyimpanan bahan bakar yang siap disuplai ke *main engine*.



Gambar 2. 22 Day Tank (Tangki Harian)

2.2.3.6 Balance Tank (Tangki Imbang)

Menurut (Hadi & Budiarto, 2008) *balance tank* merupakan tempat penampungan akhir pada bahan bakar untuk disuplai ke *main engine*, dimana memiliki fungsi sebagai pemisah bahan bakar dari kandungan udara. Tangki imbang juga digunakan sebagai tempat penampungan *overflow* bahan bakar yang disuplai ke *main engine*.



Gambar 2. 23 Balance Tank (Tangki Imbang)

2.2.3.7 Filter (Saringan)

Menurut (Hadi & Budiarto, 2008) *filter* adalah berfungsi sebagai penyaring bahan bakar dari *day tank* agar bahan bakar benar-benar bersih untuk disuplai ke *main engine* setelah sebelumnya bahan bakar telah dibersihkan oleh separator sebelum ke *day tank*.



Gambar 2. 24 Filter (Saringan)

2.2.3.8 Booster Pump

Menurut (Hadi & Budiarto, 2008) *booster pump* adalah untuk menarik atau memindahkan bahan bakar dari *balance tank* menuju *main engine*.



Gambar 2. 25 Booster Pump

2.2.3.9 Feed Pump

Menurut (Pranoto & Hidayat, 2017), *feed pump* berfungsi untuk mengisap bahan bakar dari *day tank* kemudian memompanya ke *filter* (saringan).



Gambar 2. 26 *Feed Pump*

2.3 Heavy Fuel Oil (HFO)

Dikutip dari (Marsudi & Palippui, 2020) bahan bakar *Heavy Fuel Oil* (HFO) adalah bahan bakar hasil dari pengolahan minyak bumi dari campuran residu (bahan bakar sisa) yang kemudian terdapat kandungan material yang tidak dibutuhkan dalam proses pembakaran untuk mesin *diesel*. Bahan bakar HFO memiliki viskositas (kekentalan) yang tinggi dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya, viskositas yang diinginkan pada suhu tertentu, tetapi pada umumnya pada acuan dengan suhu temperatur 95°C, sehingga dalam pengolahan bahan bakar HFO harus benar-benar diperhatikan. Pada bahan bakar HFO terdapat campuran dari kandungan air, pasir, lumpur, dan lain-lain, sehingga dibuat dengan cara mencampur antara residu dengan produk lain (*blending*). Menurut (Ginting et al., 2018) percampuran (*blending*) yang dimaksud adalah mencampur dua produk atau lebih sehingga menghasilkan suatu produk yang memenuhi spesifikasi yang bertujuan untuk :

- a. Mendapatkan produk baru dari produk-produk yang ada.
- b. Memperbaiki mutu dari produk yang rusak yaitu produk-produk yang menyimpang dari spesifikasinya.
- c. Mengubah mutu produk yang rendah menjadi produk yang mutunya lebih baik.

Sehingga berdasarkan hasil dari proses *blending* didapatkan sifat-sifat bahan bakar HFO dengan spesifikasi sebagai berikut :

a. Sifat kestabilan

Pada sifat kestabilan pengujian dilakukan dengan cara pengujian pada masa jenis bahan bakar (*fuel density*), pengujian ini berdasar pada *American Society for Testing and Material (ASTM)* sifat kestabilan ini harus terpenuhi dengan memastikan *blending* pada bahan bakar HFO bersifat sejenis (*homogen*). Tujuan dari langkah ini dilakukan untuk menghindari terjadinya *fuel incompatibility* yang dapat mengakibatkan terganggunya kestabilan pada saat proses pembakaran, pengumpulan dan menyebabkan turunnya efisiensi pemakaian pada bahan bakar (Vermiere, 2021).

b. Sifat kekentalan

Pada sifat kekentalan pengujian dilakukan dengan cara menggunakan alat *viscosity kinematic* sedangkan alat untuk mendeteksi tingkat kekentalan pada bahan bakar yaitu menggunakan viscometer dan pengujian *pour point*. Berdasarkan sifat kekentalan ini berhubungan dengan kemampuan pada bahan bakar yang mengalir di dalam pipa atau media hantar (Vermiere, 2021).

c. Sifat korositas

Pada bahan bakar reaksi korosi akan terjadi pada saat pemakaian bahan bakar di mesin pembakaran yang disebabkan adanya perubahan kandungan sulfur menjadi molekul oksida yang kemudian bercampur dengan air dan mengembun menjadi asam. Pengujian sifat korosifitas ini dilakukan dengan pengakajian berdasarkan kandungan sulfur pada bahan bakar HFO (Vermiere, 2021).

d. Sifat kebersihan

Sifat kebersihan merupakan salah faktor internal, yang dimaksud adalah tercampurnya bahan bakar dengan material padat *sand, rust particles, fibbers, catalytic particles* dan kombinasi kandungan anorganik lainnya dan material cair berupa *unwanted material seperti water contamination dan sodium contamination* (Shipping, 2001).

e. Sifat keselamatan

Sifat keselamatan adalah terkait dengan keselamatan pada saat proses penyimpanan serta pada saat penggunaannya. Aspek keselamatan ini harus memastikan bahwa bahan bakar tidak mudah terbakar ketika terjadi loncatan api ataupun hal lainnya.

2.3.1 Alur Sistem *Treatment Heavy Fuel Oil (HFO)*

Bahan bakar sangatlah penting untuk dilakukan *treatment* atau perlakuan khusus pada bahan bakar agar terciptanya kesempurnaan pada saat pembakaran, serta membuat kinerja pada mesin *diesel* menjadi lebih baik. Berikut adalah ulasan mengenai alur sistem *treatment* pada bahan bakar HFO menurut (Salsabila, GR., H., 2019) :

2.3.1.1 *Storage Tank*

Tempat penimbunan cadangan bahan bakar, pengendapan lumpur, kotoran padat dan kandungan air jenuh. Dimana temperatur bahan bakar HFO harus dijaga dengan suhu temperatur 60 – 90°C untuk mempermudah proses pemompaan.

2.3.1.2 *Settling Tank*

Bahan bakar HFO siap disaring dan menurunkan kandungan air lebih. Dimana temperatur pemanas dijaga dengan suhu 90 – 100°C untuk menjaga panas HFO pada suhu 80 – 95°C agar tidak terjadi penggumpalan pada partikel bahan bakar HFO menjadi aspal.

2.3.1.3 *Separator*

Tempat pemisahan air dan partikel bahan bakar HFO berdasar berat jenis. Dimana pemanas pada bahan bakar HFO dijaga pada suhu temperatur 80 – 100°C (alarm separator akan bekerja pada suhu temperatur > 100°C).

2.3.1.4 *Day Tank*

Tempat penyimpan sementara pada bahan bakar HFO yang siap dipergunakan untuk mesin *diesel*. Dimana temperatur bahan bakar HFO dijaga pada suhu temperatur 95°C.

2.3.1.5 Booster Module

Booster module adalah untuk menetapkan viskositas dan temperatur pada bahan bakar HFO sebelum masuk ke sistem bahan bakar mesin *diesel*.

2.3.1.6 Change Over

Pengubahan saluran bahan bakar menuju mesin *diesel* dengan pilihan solar atau HSD (untuk *start up*, mesin *diesel* memerlukan bahan bakar solar atau HSD)

2.3.1.7 Over Flow Tank

Over flow tank adalah tempat penampungan bahan bakar berlebih dari mesin *diesel*.

2.3.1.8 Sludge Tank

Sludge tank adalah tempat penampungan *sludge* atau bahan bakar HFO dengan partikel besar dan air dari separator.

2.3.2 Kualitas Bahan Bakar HFO (*Fuel Oil Quality*)

Dalam kaitannya identifikasi dari optimisasi bahan bakar HFO dalam meningkatkan performa dari mesin *diesel*, maka indentifikasi dari faktor-faktor yang menyebabkan menurunnya kualitas dari bahan bakar HFO yaitu sebagai berikut:

2.3.2.1 Faktor Internal

a. *Fuel oil contamination*

Fuel oil contamination merupakan suatu keadaan dimana tercampurnya bahan bakar dengan substansi tertentu di luar kandungan alami bahan bakar yang menyebabkan terjadinya perubahan kandungan dan spesifikasi dari bahan bakar (Vermiere, 2021). Yang di bagi dalam beberapa golongan, meliputi :

- *Minor fuel contamination*

Minor fuel contamination adalah suatu keadaan dimana kuantitas dari zat kontaminan dalam jumlah yang masih dalam ambang batas (*permissible contaminant*) atau *contaminant* alami dari bahan bakar yang merupakan zat alami penyusunnya di alam bersamaan dengan

minyak mentah (*crude oil*) seperti *iron oxide, ash content sludge, sand, small contaminant of water, salt* (Vermiere, 2021).

- *Major fuel contamination*

Major fuel contamination adalah suatu keadaan dimana kuantitas dari zat kontaminan dalam jumlah melebihi ambang batas (*permissible contaminant*) yang menyebabkan bertambahnya volume bahan bakar secara signifikan dan menyebabkan perubahan zat penyusun, sifat dan karakteristik dari bahan bakar yang berdampak pada penurunan kualitas pada bahan bakar (Vermiere, 2021).

b. Kandungan HFO tidak memenuhi standar

Dikutip dalam buku (Shipping, 2001) yang berisi tentang acuan dan standar yang diterapkan dalam *fuel oil analysis* yaitu mengacu pada ketentuan dari *British Standards Institute (BSI) BSMA 100:1982, "Petroleum Fuels for Marine Oil Engines and Boilers"* dan the CIMAC (*International Congress on Combustion Engines, Congress International des Machines a Combustion*) "*Requirements for Specifications of Intermediate Marine Fuels*" dengan regulasi tambahan yaitu dari ISO (*International Organization for Standardization*) yaitu pada *draft* standar persiapan. Kedua dokumen ini yang menjadi acuan dalam menerapkan standar analisa bahan bakar.

c. *Fuel oil incomptiility*

Fuel oil incomptiility adalah tendensi dari bahan bakar residual (HFO) yang mengalami ketidakstabilan reaksi akibat bercampurnya dua bahan bakar yang tidak homogen terbentuknya *sludge* dan lapisan *wax* pada HFO (Vermiere, 2021).

2.3.2.2 Faktor Eksternal

a. Kurang optimalnya HFO *treatment*

Perlakuan yang diberikan berdasarkan spesifikasi bahan bakar dan memperhatikan manual *book* berdasarkan pada BSM QHSE (*Manuals for Fuel Handling and Treatment*). Berdasarkan hasil dari observasi, dampak yang di timbulkan dari tidak optimalnya HFO *treatment* akan menyebabkan terjadinya permasalahan pada *output* bahan bakar dengan dampak lanjutan

yang berpengaruh terhadap komponen dari *fuel system* yang dapat menghasilkan kerusakan lanjutan yang di sebabkan oleh beberapa faktor seperti *abrasive impurities, fuel oil pressure drop, burnability, water in fuel, storage and pumping problem, fuel incompatibility, corrosion issued* dan *microbiological contamination*.

- b. Kurangnya suku cadang dari HFO *treatment plan* dan *chemical treatment Fuel oil treatment plant* adalah suatu susunan terstruktur dari sistem distribusi bahan bakar yang terhubung secara sistimatis dengan sistem pemurnian bahan bakar, filtrasi, dan berbagai tanki bahan bakar guna menunjang *supply* bahan bakar pada permesinan yang membutuhkan bahan bakar sebagai dasar pengoprasiannya. Dalam tahap perawatan permesinan pendukung dari *fuel treatment* berdasarkan pada *Planning Maintenance System (PMR)*, dalam tahap operasionalnya pentingnya pengadaan suku cadang merupakan aspek penting pendukung performa dari permesinan bantu untuk mendukung kerja dari HFO *treatment*.

2.4 Temperature Controller

Dikutip dari tulisan (Mohammad Atsar Rizky Almeyda, 2022) bahwa *temperature controller* adalah salah satu komponen listrik yang dapat memutuskan dan menghubungkan arus listrik secara otomatis dengan cara mendeteksi suhu pada suatu media atau objek agar tetap terjaga pada suhu yang telah diatur, atau bias katakan bahwa *temperature controller* adalah suatu alat untuk mengatur suhu. Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis menggunakan jenis *temperature controller* dengan tipe PID REX-C700 yang akan digunakan untuk mengendalikan suhu temperatur pada bahan bakar untuk menjaga tingkat viskositas (kekentalan) dari bahan bakar tersebut sesuai suhu derajat yang akan diatur dalam penggunaannya.



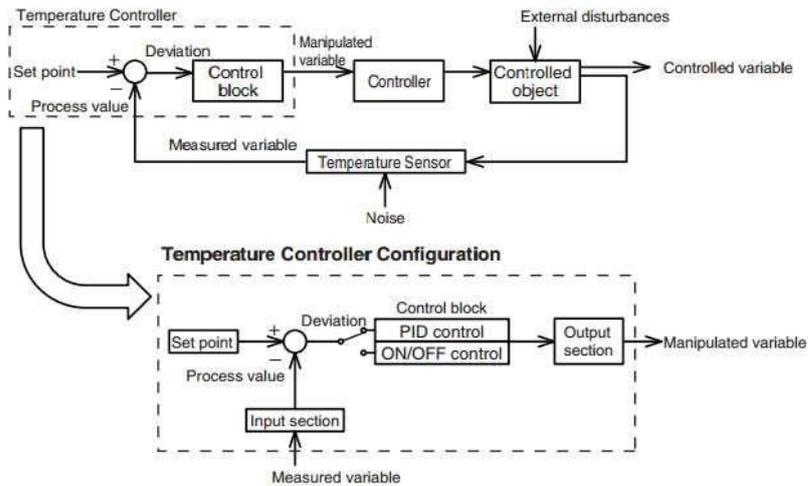
Gambar 2. 27 *Temperature Controller* Tipe PID REX-C700

Sumber: REX-C700 *Instruction Manual*

2.4.1 Prinsip Kerja *Temperature Controller*

Menurut (Tadeus & Setiono, 2018) cara kerja dari *temperature controller* menggunakan skema dari sistem kendali umpan balik yang dimaksud adalah dengan cara membandingkan sinyal dari sensor dengan sinyal referensi lalu melakukan perhitungan sesuai besar deviasi dari keduanya. Nilai deviasi digunakan sebagai salah satu variabel perhitungan tipe kontrol yang dipilih, *ON/OFF* atau PID. Sinyal kontrol yang dikeluarkan oleh blok kontrol akan mengatur kerja peralatan aktuasi, lalu peralatan aktuasi akan mengatur kerja peralatan pemanas atau pendingin.

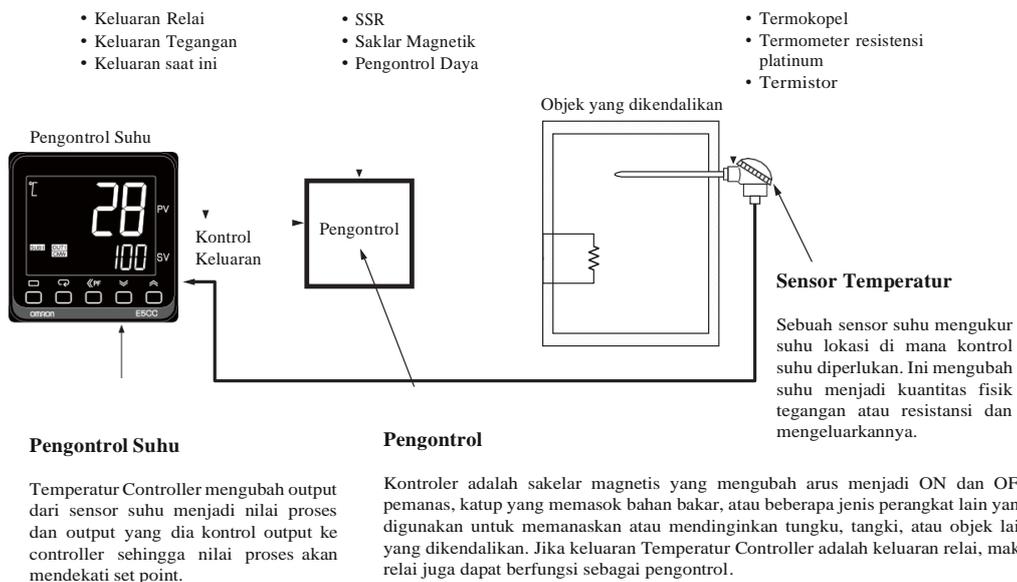
Metode kontrol yang ditanamkan pada pengendali temperatur industri umumnya meliputi *ON-OFF*, *Proportional* (P), *Proportional-Integral* (PI), *Proportional-Derivative* (PD), *Proportional Integral-Derivative* (PID). Tipe peralatan aktuasi yang didukung meliputi *relay* elektromekanis untuk mode *ON-OFF* dan *Solid State Relay* (SSR) untuk metode *ON-OFF*, P, PI, PD, dan PID. Bentuk sinyal aktuasi *control output* dapat dipilih dalam tiga pilihan yaitu *ON/OFF*, *cycle*, dan *phase*. Ketiganya dapat digunakan pada SSR, untuk *relay* elektromekanis hanya dapat menggunakan pilihan *ON/OFF* (Tadeus & Setiono, 2018). Sensor yang didukung mulai dari tipe *Resistance Temperature Detector* (RTD) seperti JPT 100, DPT 100, DPT 50, CU 100, CU 50, Nikel 120 dan tipe *thermocouple* seperti K, J, E, T, L, N, U, R, S, B, C, G.



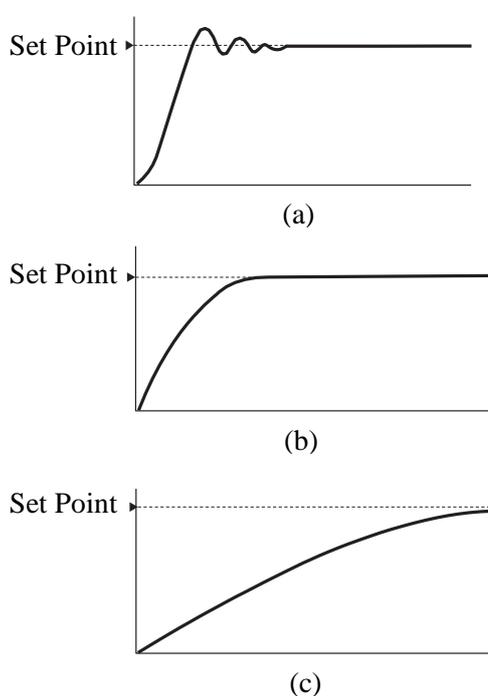
Gambar 2. 28 Skema Sistem Kendali Umpan Balik
 Sumber: Penjelasan Teknik Untuk Pengontrol Suhu

2.4.2 Konfigurasi Pengendali Temperatur

Menurut (Tadeus & Setiono, 2018) secara umum konfigurasi pengendali sistem regulasi pada temperatur merupakan menerima data temperatur dari objek, membandingkan dengan referensi atau *set point*, mengeksekusi perhitungan metode kontrol, dan mengeluarkan sinyal perintah ke peralatan *power* kontroler yang terhubung langsung ke peralatan aktuator berupa elemen pemanas. Pengendali temperatur umumnya dapat menampilkan informasi nilai referensi atau *Set Value* (SV) dan *Process Value* (PV). Contoh berikut menjelaskan tentang konfigurasi dasar untuk *temperature controller*.



Temperature controller dapat mengontrol temperatur sehingga nilai proses bisa sama dengan *set point*, tetapi responnya akan berbeda karena karakteristik objek yang dikontrol dan metode kontrol dari *temperature controller*. Biasanya, respons yang ditunjukkan pada gambar 2. 29 (b), menunjukkan respon objek yang bergerak mencapai *set point* dan tidak mengalami *overshooting* dan *undershooting*. Ada juga kasus seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. 29 (a), menunjukkan respon objek yang mengalami *overshooting* dan *undershooting* sebelum akhirnya mencapai *set point*. Dan yang ditunjukkan pada gambar 2. 29 (c), menunjukkan respon objek yang lambat untuk mencapai *set point*. Berikut adalah gambar tiga macam respon :



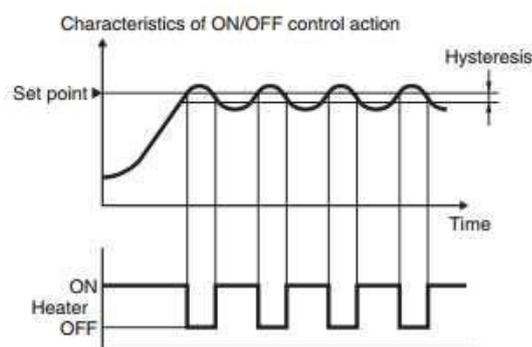
Gambar 2. 29 Respon Objek Terhadap Aksi Pengendali

Sumber: Penjelasan Teknik Untuk Pengontrol Suhu

2.4.3 Metode Kontrol

Menurut (Tadeus & Setiono, 2018) metode kontrol yang ditanamkan pada pengendali temperatur pada umumnya meliputi *ON-OFF*, *Proportional* (P), *Proportional-Integral* (PI), *Proportional-Derivative* (PD), *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Cara kerja metode kontrol *ON-OFF* ditunjukkan oleh Gambar 3. 30. Jika PV (*Process Value*) lebih rendah dari SV (*Set Value*), *output* akan aktif dan aliran daya dipasok ke pemanas. Jika PV (*Process Value*) lebih tinggi dari SV (*Set*

Value), *output* akan dimatikan dan aliran daya ke pemanas akan putus. Respon objek cenderung berosilasi di sekitar nilai SV dan terdapat selisih antara SV dengan dengan PV yang disebut histerisis. Histerisis di dalam metode kontrol *ON-OFF* sangat penting karena berkaitan langsung dengan faktor kelelahan aktuator. Pada umumnya histerisis dapat ditetapkan di dalam kontroler dan nilainya dipilih sesuai dengan karakteristik respon yang diinginkan. Metode kontrol *ON-OFF* dikenal juga sebagai aksi kontrol dua posisi.



Gambar 2. 30 Respon Objek Terhadap Metode *Control ON-OFF*

Sumber: Penjelasan Teknik Untuk Pengontrol Suhu

2.4.4 Bagian-bagian *Temperature Controller Tipe PID REX-C700*

Dikutip dari instruksi manual *book* (Anonim, 2012) *temperature controller* tipe PID REX-C700 memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari *temperature controller* itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari *temperature controller* tipe PID REX-C700 yaitu :

2.4.4.1 Spesifikasi

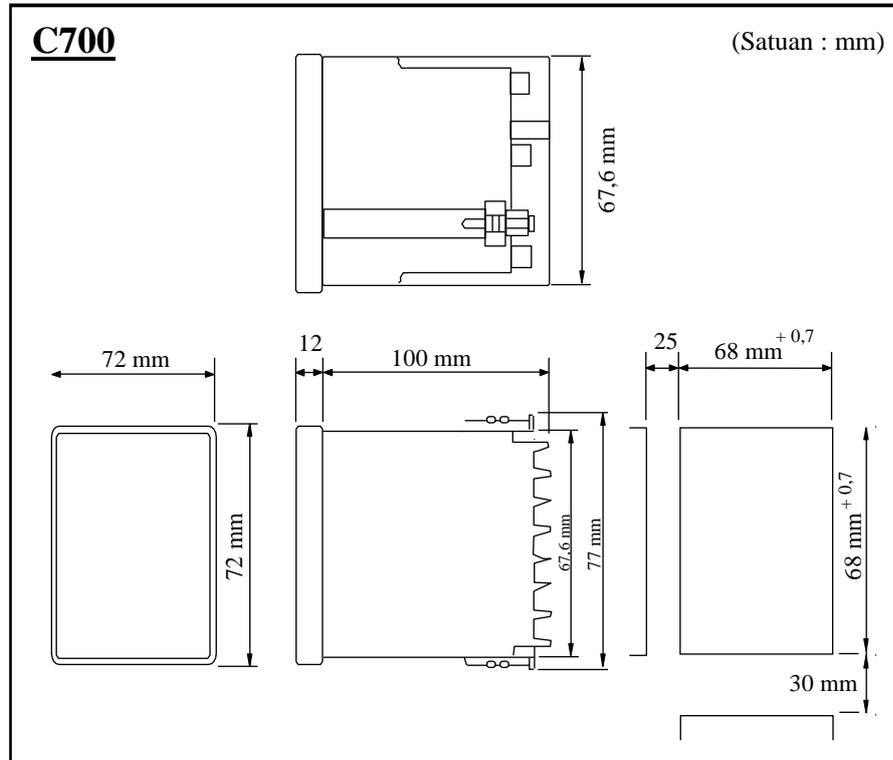
Untuk spesifikasi *temperature controller* tipe PID REX-C700 yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Spesifikasi *display* :
 - *Display* : *Dual display for Celsius (°C)*.
 - Dimensi : 72mm x 72mm x 112mm.
 - *Power* : AC 220V 50/60HZ.
 - Resolusi : 14 bit.
 - *Range* : 0-400°C.

- Akurasi pengukuran : 0.5%FS.
 - Berat Satuan : ± 250 g.
- b. Tipe masukan :
- Termokopel Tipe : K, J, R, S, B, E, T, N, PLII, W5Re/W26Re, U, L.
 - RTD Tipe : Pt 100, JPT 100.
 - Tegangan operasional pengenalan [Ue] : 0 hingga 5 V DC, 1 hingga 5 V DC impedansi *input* : 250 k- atau lebih.
 - *Ampere* : 0 hingga 20 mA DC, 4 hingga 20 mA DC Impedansi masukan : Kira-kira. 250 ohm.
 - Siklus pengambilan sampel : 0,5 Detik.
- c. Tipe keluaran :
- Keluaran kontak relai : 250 V AC, 3A (Beban resistif).
 - *Output* pulsa tegangan : 0/12 V DC (Tahanan beban 600 ohm atau lebih).
 - *Output ampere* saat ini : 4 hingga 20 mA DC (Tahanan beban 600 ohm atau kurang).
- d. Metode kontrol :
- Kontrol PID tindakan *ON/OFF*, P, PI, atau PD tersedia.
- e. Alarm *output* :
- Keluaran kontak relai : 250 V AC, 1A (beban resistif).
 - Masa pakai listrik : 50.000 kali atau lebih (beban terukur).
- e. Konsumsi daya :
- 6 VA maks. (pada 100 VAC).
 - 9 VA maks. (pada 240 VAC).
 - 6 VA maks. (pada 24 VAC).
 - 145 mA maks. (pada 24 VDC).
- f. Cadangan memori :
- Didukung oleh memori *nonvolatile* jumlah waktu penulisan: ± 100.000 kali.
 - Periode penyimpanan data : ± 10 tahun.

2.4.4.2 Dimensi

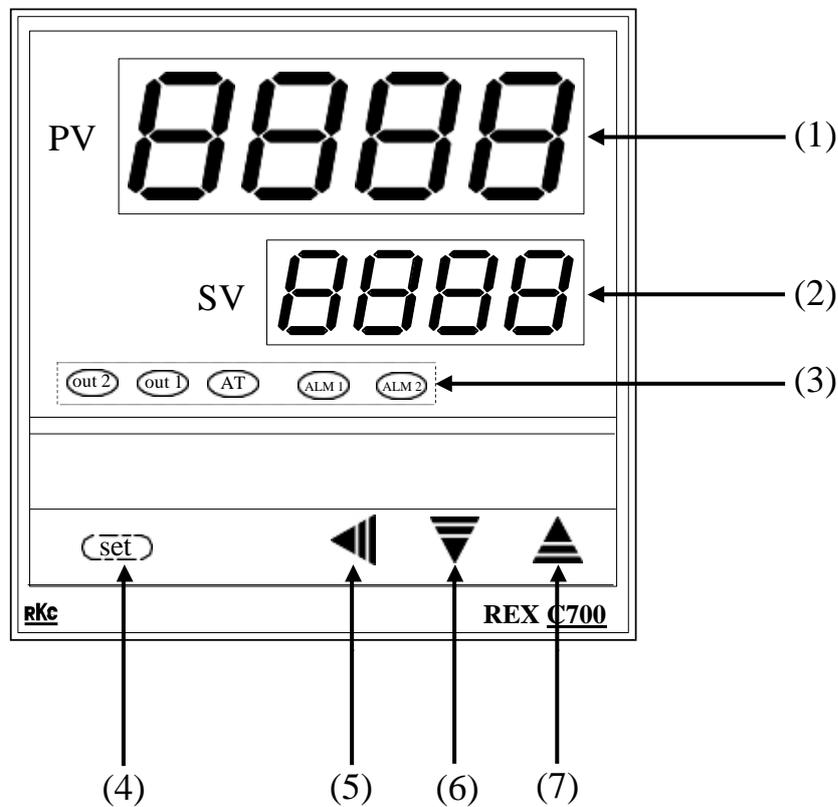
Untuk ukuran dimensi dari *temperature controller* tipe PID REX-C700 adalah : 72mm x 72mm x 112mm.



Gambar 2. 31 Dimensi *Temperature Controller* Tipe PID REX-C700

2.4.4.3 Deskripsi Bagian

Untuk deskripsi tampilan bagian depan dari *temperature controller* tipe PID REX-C700 adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 32 Tampilan depan *Temperature Controller* Tipe PID REX-C700

(1) Tampilan nilai terukur (PV) Proses *Value* [Hijau].

Menampilkan (PV) Proses *Value* atau berbagai simbol parameter.

(2) Tampilan nilai (SV) *Set Value* tampilan [Oranye].

(SV) *Set Value* atau berbagai nilai set parameter (atau nilai *input CT*).

(3) Lampu indikasi

- Lampu *output* alarm (ALM1, ALM2) [Merah].

ALM1: Menyala saat *output* alarm 1 dihidupkan.

ALM2: Menyala saat *output* alarm 2 dihidupkan.

- Lampu Penalaan Otomatis (AT) [Hijau].

Berkedip saat penyetelan otomatis diaktifkan. (Setelah penyalan otomatis selesai : lampu AT akan padam).

- Mengontrol lampu keluaran (*OUT 1* [Kuning], *OUT 2* [Hijau]).
OUT 1: Menyala saat *output* kontrol menyala dihidupkan.
OUT 2: Menyala saat kontrol sisi dingin keluaran dihidupkan.

(4)  *Set key*

Digunakan untuk memanggil parameter dan mengatur registrasi nilai.

(5)  Tombol shift

Untuk pergeseran digit saat pengaturan diubah.

(6)  Tombol bawah

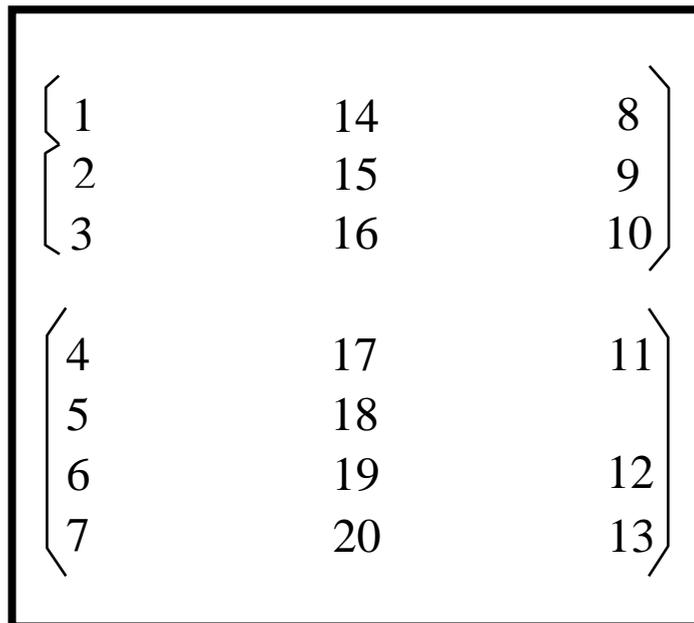
Digunakan untuk mengurangi angka.

(7)  Tombol atas

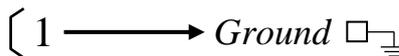
Digunakan untuk menaikkan angka.

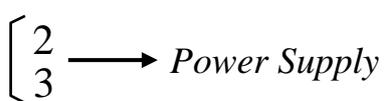
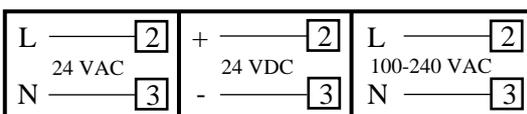
2.4.4.4 Konfigurasi Terminal

Untuk konfigurasi terminal dari *temperature controller* tipe PID REX-C700 adalah sebagai berikut :



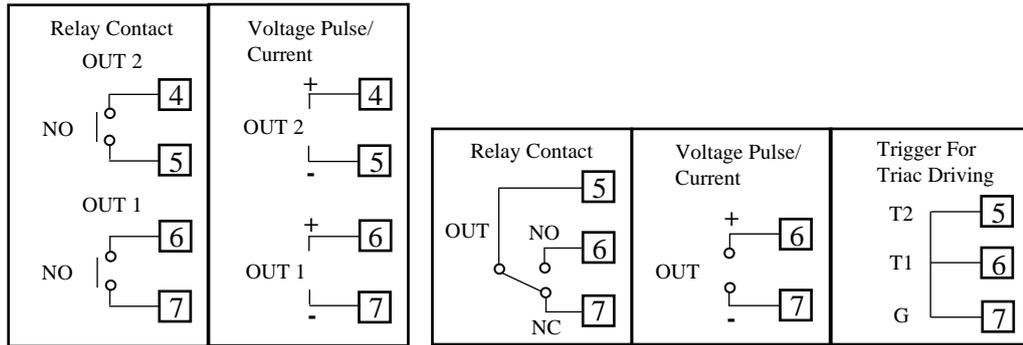
Gambar 2. 33 Konfigurasi Terminal *Temperature Controller* Tipe PID REX-C700

a.  1 → *Ground* 

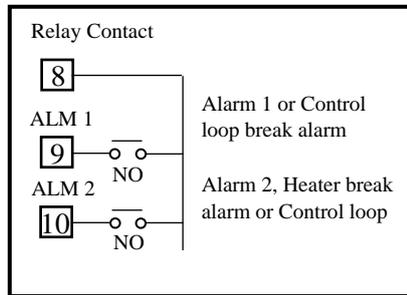
b.  

L	—	2	+	—	2	L	—	2
24 VAC				24 VDC		100-240 VAC		
N	—	3	-	—	3	N	—	3

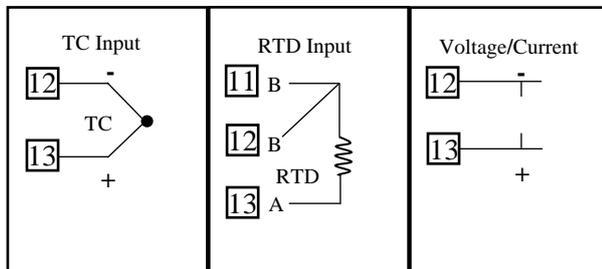
c. Control output



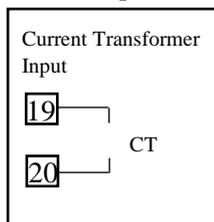
d. Alarm output



e. Input



f. CT input



2.5 Sensor RTD PT100

Dikutip dari (Suroso, 2016) sensor atau dapat disebut juga dengan *transducer* adalah peralatan yang mengubah suatu nilai (energi) fisik ke nilai fisik yang lainnya, menghubungkan antara fisik nyata dan peralatan elektronika sehingga dapat berguna untuk *monitoring*, *controlling*, dan proteksi. Sensor merupakan peralatan yang digunakan untuk merubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Dalam penelitian tugas akhir ini, sensor yang digunakan untuk mendeteksi jika terjadinya perubahan pada suhu yang akan diaplikasikan dalam rangkaian adalah menggunakan sensor jenis RTD PT100. Dikutip dari jurnal (Ayuningdyah et al., 2021) RTD adalah singkatan dari (*Resistance Temperature Detector*) merupakan sebuah sensor suhu yang pengukurannya menggunakan prinsip perubahan resistansi atau hambatan listrik logam yang dipengaruhi oleh perubahan suhu. PT100 adalah salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 yaitu golongan RTD (*Resistance Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karena itu namanya diawali dengan “PT”. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C.

PT100 bertipe DIN (standard Eropa) memiliki resolusi 0,385 ohm per 1°C. Jadi nilai resistansinya akan naik sebesar 0,385 ohm untuk setiap kenaikan suhu 1°C. Untuk mengukur suhu secara elektronik menggunakan sensor suhu PT100, maka harus mengeksitasinya dengan arus yang tidak boleh melebihi nilai 1mA. Hal ini dikarenakan jika dialiri arus melebihi 1 mA, maka akan timbul efek *self-heating*. Jadi seperti layaknya komponen resistor, kelebihan arus akan diubah menjadi panas. Akibatnya hasil pengukuran menjadi tidak sesuai lagi. Saat suhu elemen RTD meningkat, maka resistansi elemen tersebut juga akan meningkat. Sehingga kenaikan suhu logam yang menjadi elemen resistor RTD berbanding lurus dengan resistansinya. RTD berfungsi juga sebagai elemen pemanas berdaya rendah sekaligus mendeteksi suhu pada aktuator (Miller et al., 2016).

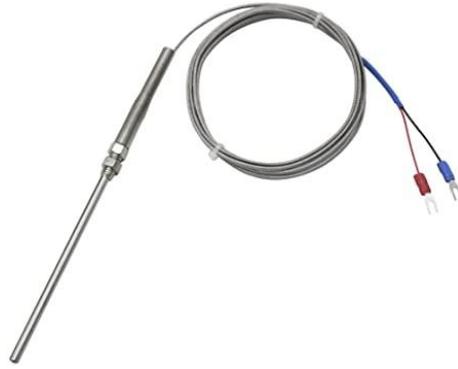


Gambar 2. 34 Sensor RTD PT100

Sumber: *Instruction Manual Book*

Adapun jenis sensor temperatur lainnya yang sejenis adalah sensor *thermocouple*. Dikutip dari (Evalina et al., 2022) termokopel adalah transduser aktif suhu yang tersusun dari dua buah logam berbeda dengan titik pembacaan pada pertemuan kedua logam dan titik yang lain sebagai outputnya, termokopel merupakan salah satu sensor yang paling umum digunakan untuk mengukur suhu karena relatif murah namun akurat yang dapat beroperasi pada suhu panas maupun dingin. Sama halnya seperti dengan sensor RTD PT100 yang dapat digunakan sebagai input pada sebuah system kendali temperatur, sensor termokopel selain dapat membaca perubahan suhu juga dapat berperan sebagai input analog pada sebuah system kendali (Sari et al., 2018).

Tetapi kenapa penelitian ini menggunakan sensor RTD PT100, karena sensor RTD PT100 pembacaan nya lebih akurat dan lebih terulang (lebih stabil) untuk digunakan pada sistem ini. Kemudian sensor RTD PT100 lebih kuat dan lebih mudah untuk *maintenance* dan mengkalibrasi pembacaan RTD PT100 karena mengubah perbedaan suhu menjadi perubahan *resistance*. Jadi kesimpulannya sensor RTD PT100 ataupun sensor *thermocouple* masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga jika kita ingin menggunakan sensor temperatur antara sensor RTD PT100 ataupun sensor *thermocouple* harus disesuaikan dengan spesifikasi pada sistem yang ingin dibuat.



Gambar 2. 35 Sensor *Thermocouple*

Sumber: <https://www.omega.com>

2.5.1 Prinsip Kerja Sensor RTD PT100

Prinsip kerja dari sensor RTD PT100 ketika suhu elemen RTD meningkat, maka resistansi elemen tersebut juga akan meningkat. Maka dari itu kenaikan suhu logam yang menjadi elemen resistor RTD berbanding lurus dengan resistansinya. Elemen RTD biasanya ditentukan sesuai dengan resistansi mereka dalam ohm pada nol derajat celcius (0°C). Spesifikasi RTD yang paling umum adalah $100\ \Omega$ (RTD PT100), yang berarti bahwa pada suhu 0°C , elemen RTD harus menunjukkan nilai resistansi $100\ \Omega$ (Ayuningdyah et al., 2021). Dalam penggunaannya sensor RTD PT100 dipasang pada tempat atau daerah yang suhunya akan diukur, kemudian dihubungkan dengan alat pembacanya berupa *temperature control* yang menampilkan nilai dari hasil yang terbaca oleh sensor, sesuai dengan spesifikasi dari sensor tersebut.

2.5.2 Konfigurasi Sensor RTD PT100

Pada sensor RTD PT100 memiliki tiga macam konfigurasi koneksi pada kabel. Berikut adalah tiga macam koneksi pada kabel sensor RTD PT100 :

a. Koneksi RTD 2 *wire*

Koneksi RTD dengan 2 kabel (2 *wire*) adalah yang paling sederhana di antara lainnya. RTD 2 kabel (2 *wire*) praktis tidak memiliki perhitungan resistansi yang terkait dengan kabel tembaga, sehingga mengurangi keakuratan pengukuran elemen sensor suhu RTD. Oleh karena itu RTD 2 *wire* umumnya hanya digunakan untuk kebutuhan pengukuran suhu perkiraan saja.

b. Koneksi RTD 3 *wire*

Menurut (Ayuningdyah et al., 2021) RTD 3 kabel (3 *wire*) adalah spesifikasi yang paling umum digunakan pada aplikasi-aplikasi di industri. RTD 3 *wire* dapat menggunakan rangkaian pengukuran jembatan *wheatstone* untuk mengkompensasi nilai resistansi kabel. Nilai yang paling umum untuk pada RTD adalah 100 Ω pada 0°C. Koefisien suhu standart dari kawat platinum adalah $\alpha = .00385$. Sedangkan untuk kawat 100 Ω adalah + 0,385 $\Omega / ^\circ\text{C}$.

c. Koneksi RTD 4 *wire*

Koneksi pada RTD 4 kabel (4 *wire*) adalah konfigurasi yang paling akurat dari yang lainnya serta memakan waktu dan mahal untuk digunakan. Karena dalam RTD 4 kabel ini dapat sepenuhnya mengkompensasi resistansi dari kabel, tanpa perlu memberikan perhatian khusus pada panjang masing – masing kabel.

2.5.3 Bagian-bagian Sensor RTD PT100

Dikutip dari instruksi manual *book* (Element et al., 1996) RTD PT100 memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari sensor pendeteksi suhu itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari sensor RTD PT100 yaitu :

2.5.3.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi sensor RTD PT100 yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Ukuran :

- 1/2 x 200 mm.

b. Temperatur maksimal :

- $\pm 400^\circ\text{C}$.

c. Resistansi nominal :

Sesuai dengan DIN EN 60751, resistansi nominal didefinisikan sebagai berikut :

- Rata-rata koefisien suhu antara 0 dan 100°C = $3,85 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
- 100 Ω RTD pada 100°C.

- d. Jangkauan temperatur :
- Tersedia dengan rentang pengukuran standar dari -50°C hingga $+400^{\circ}\text{C}$ dengan opsi kemampuan rentang yang diperluas dari -196°C hingga $+600^{\circ}\text{C}$ menggunakan elemen *wirewound*. Versi *wirewound* menawarkan stabilitas jangka panjang yang lebih baik dan ketahanan mekanik yang lebih baik terhadap getaran.
- e. Batas kesalahan :
- Kelas toleransi B : $t = \pm (0,30 + 0,005 \times t)$ berlaku untuk rentang suhu lengkap dari -196°C hingga $+600^{\circ}\text{C}$.
 - Kelas toleransi A : $t = \pm (0,15 + 0,002 \times t)$ hanya berlaku untuk kisaran suhu dari -30°C hingga $+350^{\circ}\text{C}$.
- f. Standar ukuran elemen :
- Film : 2 mm x 5 mm.
 - *Wire wound* : 3 mm x 30 mm.
- g. Ketahanan isolasi :
- Resistansi isolasi minimum 1000 mega Ω bila diukur pada 500 VDC.
- h. Pemanasan sendiri :
- 0,15 K/mW saat diukur dengan metode yang ditentukan dalam DIN EN 60751:1996.
- i. Panjang perendaman :
- Panjang perendaman yang dapat digunakan 60mm saat diuji menurut DIN EN 6075.

2.5.3.2 Data Sheet RTD PT100

Untuk data *sheet* dari temperatur dikonversi ke resistansi pada sensor RTD PT100 adalah sebagai berikut :

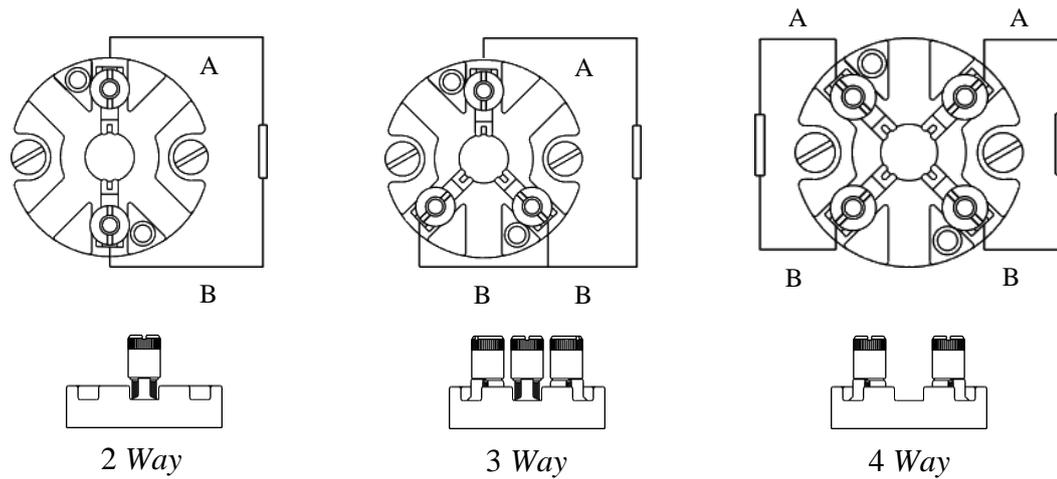
Tabel 2. 1 Data Sheet Temperature Conversion Resistance RTD PT100

TOLERANCE					
Basic Value		Class A (1/2 DIN)		Class B (DIN)	
Temp $^{\circ}\text{C}$	Ω	Ω	$^{\circ}\text{C}$	Ω	$^{\circ}\text{C}$
-200	18.52	± 0.24	± 0.55	± 0.56	± 1.30
-100	60.26	± 0.14	± 0.35	± 0.32	± 0.80
-50	80.31	± 0.09	± 0.25	± 0.21	± 0.55
0	100	± 0.06	± 0.15	± 0.12	± 0.30

50	119.4	± 0.09	± 0.25	± 0.21	± 0.55
100	138.51	± 0.13	± 0.35	± 0.30	± 0.80
200	175.86	± 0.20	± 0.55	± 0.48	± 1.30
300	212.05	± 0.27	± 0.75	± 0.64	± 1.80
400	247.09	± 0.33	± 0.95	± 0.79	± 2.30
500	280.98	± 0.38	± 1.15	± 0.93	± 2.80
600	313.71	± 0.43	± 1.35	± 1.06	± 3.30
650	329.64	± 0.46	± 1.45	± 1.13	± 3.60
700	345.28	-	-	± 1.17	± 3.80
800	375.7	-	-	± 1.28	± 4.30
850	390.48	-	-	± 1.34	± 4.60

2.5.3.3 Koneksi Listrik

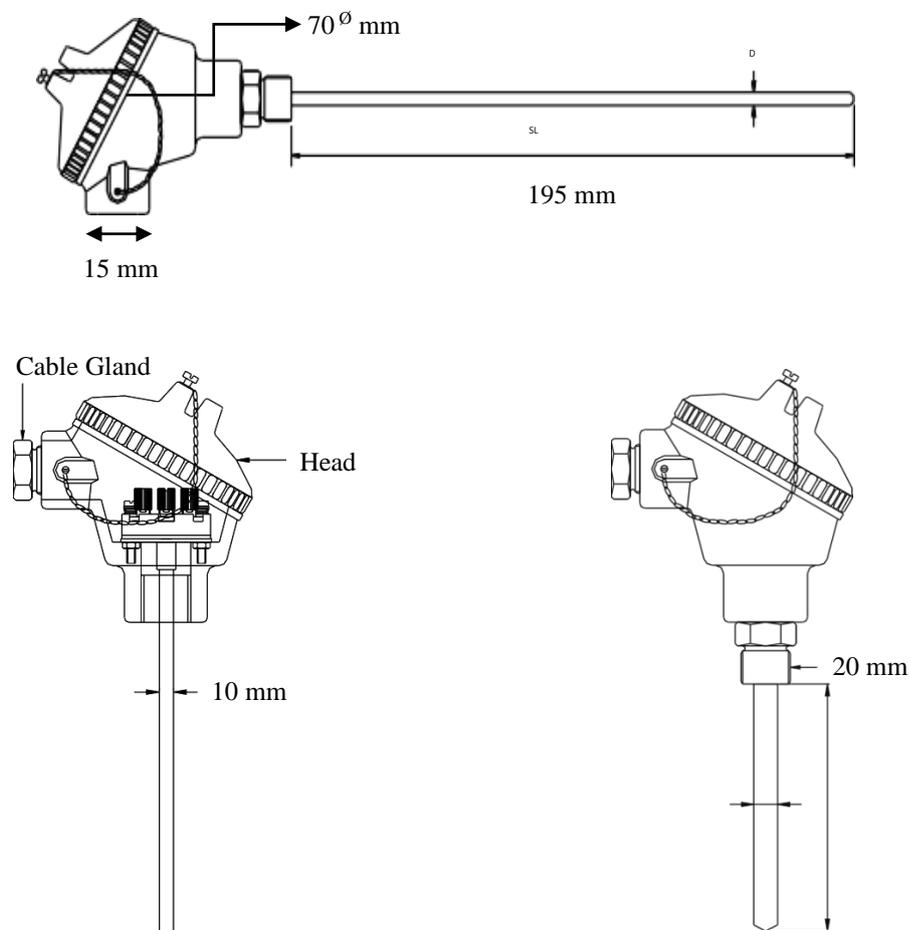
Untuk tampilan jalur koneksi kabel listrik yang akan dihubungkan pada sensor RTD PT100 adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 36 Koneksi Listrik RTD PT100 Tipe RH 502 S

2.5.3.4 Dimensi

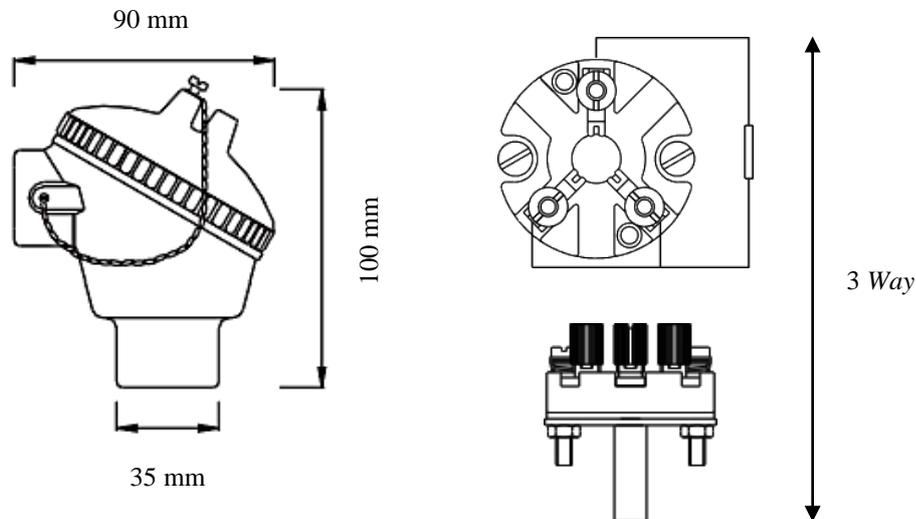
Untuk model sensor RTD PT100 yang digunakan pada penelitian ini adalah RH 502 S. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2. 37 Dimensi RTD PT100 Tipe RH 502 S

2.5.3.5 Terminal Head

Untuk tampilan terminal *head* dari sensor RTD PT100 adalah sebagai berikut :



Material : *Aluminium*

Colours : *Grey*

Gambar 2. 38 Terminal *Head* RTD PT100 Tipe RH 502 S

2.6 Elemen Heater

Dikutip dalam jurnal (Putri et al., 2021) *heater* atau elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *joule heating*. *Heater* berfungsi sebagai penghasil kalor yang dalam kebutuhannya dapat disesuaikan. *Electrical heating element* (elemen pemanas listrik) banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, baik di dalam rumah tangga ataupun peralatan dan mesin pada industri. Bentuk ataupun tipe dari elemen *heater* ini bermacam macam disesuaikan dengan fungsi, tempat pemasangan dan media yang akan di panaskan. Elemen yang menerima aliran listrik melalui sumber listrik saat dihidupkan. Saat dihubungkan ke sumber listrik dan dihidupkan dan elemen_menghasilkan daya yang sesuai dari hasil panas (Pasaribu et al., 2022). Menurut (Usman & Busairi, 2020) Ada 2 macam jenis utama elemen pemanas listrik yaitu :

a. Elemen pemanas listrik bentuk dasar

Elemen pemanas listrik bentuk dasar, yaitu elemen pemanas dimana *resistance wire* hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk ini adalah : *ceramik heater, silica* dan *quartz heater, bank channel heater, black body ceramik heater*.

b. Elemen pemanas listrik bentuk lanjut

Elemen pemanas listrik bentuk lanjut, merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam sebagai penyesuain terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah : *mild stell, stainless stell*, tembaga dan kuningan.

Terdapat berbagai jenis *heater* berdasarkan bahan dan penggunaannya seperti *coil heater, ceramic heater, tabular heater, immersion heater* dan *catridge heater*, dan lainnya, dan dalam penelitian ini elemen *heater* yang akan digunakan adalah elemen *heater* dengan jenis *immersion heater*.



Gambar 2. 39 *Immersion Heater*

Sumber: Elemen Pemanas *Heater Book*

2.6.1 Prinsip Kerja Elemen *Heater*

Menurut (Usman & Busairi, 2020) prinsip kerja dari elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya. Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*resistance wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah niklin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan. Dikutip dalam jurnal

(Meriadi et al., 2018) elemen pemanas yang baik digunakan harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

- a. Tahan lama pada suhu yang dikehendaki.
- b. Pada suhu yang dikehendaki mekanik harus kuat.
- c. Koefisien muai kecil, pada suhu yang dikehendaki tidak mengalami perubahan bentuk.
- d. Mempunyai tahana jenis tinggi.

2.6.2 Material Elemen *Heater*

Dikutip dalam jurnal (Meriadi et al., 2018) material yang digunakan sebagai elemen pemanas umumnya berupa konduktor listrik yang baik, namun untuk mencapai tingkat disipasi panas yang lebih tinggi, sebaiknya konduktor listrik dicampur dengan material lain yang dapat meningkatkan kemampuan atau kapasitas panas yang dihasilkan konduktor listrik seperti lapisan isolator atau keramik yang membungkus bagian konduktor. Berdasarkan materialnya maka elemen pemanas dapat berupa sebagai berikut :

- a. Elemen metalik

Elemen metalik adalah elemen pemanas tradisional yang dibuat dari gulungan, lempengan atau lembaran logam (metal) yang bersifat konduktor dan menghasilkan panas jika dialiri listrik. Untuk masa operasi pemanasan yang lama, elemen metalik dapat mengalami degradasi disebabkan oleh proses oksidasi permukaan yang terjadi pada saat pemanasan. Oleh karena itu pemilihan jenis logam yang sesuai dengan aplikasi proses pemanasan yang akan dilakukan sangat menentukan efektifitas penggunaan elemen pemanas. Pemilihan komposisi logam yang digunakan tergantung kepada suhu operasional, resistivitas material, koefisien resistansi temperatur, koefisien resistansi perkaratan, kekuatan mekanis, kemudahan pembentukan dan biaya. Tingkat keakuratan resistivitas elemen metalik berkisar kurang lebih 5 %. Jenis campuran logam yang biasa digunakan sebagai elemen metalik antara lain: nikel-kromium, besi-nikel-kromium dan besi-krom-aluminium. Campuran besi-krom-aluminium dapat beroperasi pada tingkat suhu lebih tinggi daripada nikel-kromium, sedangkan logam-

logam khusus seperti platina, tantalum, molibdenum dan lainnya biasanya digunakan untuk keperluan khusus di laboratorium.

b. Elemen lembaran (*sheathed elements*)

Untuk melindungi bagian elemen pada berbagai kondisi lingkungan sekitar dalam berbagai aplikasi pemanasan, ada kalanya bagian logam elemen dilindungi oleh lapisan isolasi yang memisahkan elemen metalik (logam) dengan lapisan luar elemen. Elemen yang berbentuk seperti ini dinamakan elemen lembaran (*sheathed elements*) dan banyak digunakan pada aplikasi rumah tangga seperti peralatan memasak, pemanas celup dan elemen ketel. Elemen ini terdiri atas bubuk magnesium oksida murni yang melapisi koil elemen tembaga, nikel atau stainless steel yang berupa lembaran. Rating elemen biasanya dinyatakan dalam *watt* per cm^2 lembaran. Selain magnesium oksida, pada aplikasi industri juga digunakan mika sebagai pelapis isolator pada elemen pemanas. Pemilihan bahan yang digunakan tergantung kepada pemakaian dengan mempertimbangkan kapasitas transfer panas, kemampuan mekanis dan listrik dan karakteristik perkaratan.

c. Elemen keramik

Elemen keramik biasanya digunakan untuk aplikasi pemanasan dengan suhu yang sangat tinggi. Material yang digunakan dapat berupa silikon karbida, molibdenum disilida, lanthanum kromite, dan zirkonia yang memiliki karakteristik konduktor listrik yang memungkinkan material tersebut berfungsi sebagai elemen pemanas. Selain itu dapat juga digunakan material *grafite* untuk aplikasi pemanasan tanpa menggunakan oksigen. Konstruksinya dapat berupa kawat spiral elemen metalik yang dilapisi lapisan keramik tebal dan kompak yang melindungi bagian metal elemen. Elemen metal yang digunakan biasanya memiliki tingkat resistansi yang rendah sehingga dapat menghasilkan panas maksimal. Karena sifat bahan keramik yang mudah pecah dan retak, maka bagian penopang elemen jenis ini harus memberi ruang gerak yang leluasa sehingga elemen keramik dapat menyesuaikan pemuaian dan penyusutan yang terjadi selama proses pemanasan tanpa menyebabkan elemen ini pecah dan retak.

2.6.3 Bagian-bagian Elemen *Heater*

Immersion heater memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari elemen *heater* itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari *immersion heater* yaitu :

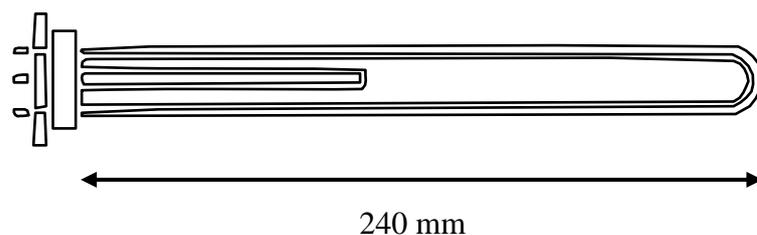
2.6.3.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi elemen *heater* tipe *immersion heater* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Panjang ukuran :
 - 24 cm.
- b. Berat satuan :
 - ± 400 g.
- c. Tegangan operasional pengenal [Ue] :
 - AC 220 Volt.
- d. Konsumsi daya :
 - 2000 Watt.

2.6.3.2 Dimensi

Untuk model elemen *heater* yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *immersion heater*. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2. 40 Dimensi *Immersion Heater*

2.7 Miniature Circuit Breaker (MCB)

Dikutip dalam jurnal (Rumimper et al., 2016) MCB (*Miniature Circuit Breaker*) adalah komponen dalam instalasi listrik yang mempunyai peran sangat penting. Komponen ini berfungsi sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik (*short circuit* atau korsleting).

Kegagalan fungsi dari MCB ini berpotensi menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan seperti timbulnya percikan api karena hubung singkat yang akhirnya bisa menimbulkan kebakaran.. Arus nominal yang terdapat pada MCB adalah 1A, 2A, 4A, 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A dan lain sebagainya. Alat pengaman ini dapat juga berguna sebagai saklar. Dalam penggunaannya, pengaman ini harus disesuaikan dengan besar listrik yang terpasang. Hal ini adalah untuk menjaga agar listrik dapat berguna sesuai kebutuhan. Menurut (Susanto, 2013) Beberapa kegunaan MCB :

- a. Membatasi penggunaan listrik.
- b. Mematikan listrik apabila terjadi hubungan singkat (korslet).
- c. Mengamankan instalasi listrik.
- d. Membagi rumah menjadi beberapa bagian listrik, sehingga lebih mudah untuk mendeteksi kerusakan instalasi listrik.

Pada instalasi listrik rumah MCB dipasang di kWh meter listrik PLN dan juga pada kotak MCB. Jika di rumah terjadi *trip* disebabkan beban lebih atau hubung singkat, maka yang akan dicari untuk menyalakan listrik PLN adalah MCB yang ada di kWh meter atau pada kotak MCB. Dalam penelitian ini menggunakan MCB dengan merek Schneider dengan kapasitas 16 *ampere*.



Gambar 2. 41 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

Sumber: (Dayaciptamandiri, 2020)

2.7.1 Fungsi MCB

Menurut (Rumimper et al., 2016) MCB ini mempunyai fungsi sebagai pemutus arus listrik ke arah beban, pemutus arus ini bisa dilakukan dengan cara manual ataupun otomatis. Cara manual adalah dengan merubah *toggle switch* yang ada

didepan MCB (biasanya berwarna biru atau hitam) dari posisi “*ON*” ke posisi “*OFF*” dan bagian mekanis dalam MCB akan memutus arus listrik. Hal ini dilakukan bila kita ingin mematikan sumber listrik di rumah karena adanya keperluan perbaikan instalasi listrik rumah. Istilah yang biasa dipakai adalah MCB *switch off*. Sedangkan MCB akan otomatis “*OFF*” bila dideteksi terjadi arus lebih, disebabkan karena beban pemakaian listrik yang lebih, atau terjadi gangguan hubung singkat, oleh bagian didalam MCB dan memerintahkan MCB untuk “*OFF*” agar aliran listrik terputus. Istilah yang biasa dipakai adalah MCB *trip*. Berikut beberapa fungsi dari *Miniature Circuit Breaker* atau (MCB) :

a. Pemutus arus

MCB mempunyai fungsi sebagai pemutus arus listrik ke arah beban. Dan fasilitas pemutus arus ini bisa dilakukan secara manual dengan merubah *toggle switch* yang ada didepan MCB (biasanya berwarna biru atau hitam) dari posisi “*ON*” ke posisi “*OFF*” kemudian bagian mekanis dalam MCB akan memutus arus listrik. Hal ini biasanya dilakukan bila kita ingin mematikan sumber listrik di rumah karena adanya keperluan perbaikan instalasi listrik rumah. Istilah yang biasa dipakai adalah MCB *switch off*. Sedangkan MCB akan otomatis “*OFF*” bila terjadi arus lebih, yang disebabkan karena beban pemakaian listrik yang lebih atau terjadi gangguan hubung singkat, sehingga bagian dalam MCB akan memerintahkan untuk “*OFF*” agar aliran listrik terputus. Istilah yang biasa dipakai adalah MCB *trip*.

b. Proteksi beban lebih

Fungsi ini akan bekerja bila MCB mendeteksi arus listrik yang melebihi rating-nya. Misalnya, suatu MCB mempunyai rating arus listrik 6A tetapi arus listrik aktual yang mengalir melalui MCB tersebut ternyata 7A, maka MCB akan *trip* dengan *delay* waktu yang cukup lama sejak MCB ini mendeteksi arus lebih tersebut. Bagian di dalam MCB yang menjalankan tugas ini adalah sebuah strip bimetal. Arus listrik yang melewati bimetal ini akan membuat bagian ini menjadi panas dan memuai atau mungkin melengkung. Semakin besar arus listrik maka bimetal akan semakin panas dan memuai dimana pada akhirnya akan memerintahkan *switch* mekanis

MCB memutuskan arus listrik dan *toggle switch* akan pindah ke posisi “OFF”. Lamanya waktu pemutusan arus ini tergantung dari besarnya arus listrik. Semakin besar tentu akan semakin cepat. Fungsi strip bimetal ini disebut dengan *thermal trip*. Saat arus listriknya sudah putus, maka bimetal akan mendingin dan kembali normal. MCB bisa kembali mengalirkan arus listrik dengan mengembalikan ke posisi “ON”.

c. Proteksi hubung singkat

Fungsi proteksi ini akan bekerja bila terjadi korsleting atau hubung singkat arus listrik. Terjadinya korsleting akan menimbulkan arus listrik yang sangat besar dan mengalir dalam sistem instalasi listrik rumah. Bagian MCB yang mendeteksi adalah bagian *magnetic trip* yang berupa *solenoid* (bentuknya seperti *coil*/lilitan), dimana besarnya arus listrik yang mengalir akan menimbulkan gaya tarik magnet di *solenoid* yang menarik *switch* pemutus aliran listrik. Sistem kerjanya cepat, karena bertujuan menghindari kerusakan pada peralatan listrik. Bayangkan bila bagian ini gagal bekerja. Bagian bimetal strip sebenarnya juga merasakan arus hubung singkat ini, hanya saja reaksinya lambat sehingga kalah cepat dari *solenoid*.

2.7.2 Prinsip Kerja MCB

Berdasarkan konstruksinya, maka MCB memiliki dua cara pemutusan yaitu ; pemutusan berdasarkan panas dan berdasarkan elektromagnetik. Berikut adalah penjelasannya :

a. Pemutusan berdasarkan panas

Pemutusan berdasarkan panas dilakukan oleh batang bimetal, yaitu dengan cara perpaduan dua buah logam yang berbeda koefisien muai logamnya. Jika terjadi arus lebih akibat beban lebih, maka bimetal akan melengkung akibat panas dan akan mendorong tuas pemutus tersebut untuk melepaskan kunci mekanisnya.

b. Pemutusan berdasarkan elektromagnetik

Pemutusan berdasarkan elektromagnetik dilakukan oleh koil, jika terjadi hubung singkat maka koil akan terinduksi dan daerah sekitarnya akan terdapat medan magnet sehingga akan menarik poros dan mengoperasikan tuas pemutus. Untuk menghindari dari efek lebur, maka panas yang tinggi

dapat terjadi bunga api yang pada saat pemutusan akan diredam oleh pemadam busur api (*arc-shute*) dan bunga api yang timbul akan masuk melalui bilah-bilah *arc-shute* tersebut.

2.7.3 Bagian-bagian MCB

Miniature circuit breaker (MCB) memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari MCB itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari MCB yaitu :

2.7.3.1 Komponen-komponen

Untuk komponen-komponen yang terdapat didalam MCB adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 42 Komponen-komponen MCB

Sumber: (Dayaciptamandiri, 2020)

Penjelasan nomor-nomor dari gambar 3. 41 adalah sebagai berikut :

- a. *Toggle switch*, merupakan *switch On-Off* pada MCB.
- b. *Switch* mekanis yang membuat kontak arus listrik bekerja.
- c. Kontak arus listrik sebagai penyambung dan pemutus arus listrik.
- d. Terminal sebagai tempat koneksi kabel listrik dengan MCB.

- e. Bimetal, yang berfungsi sebagai *thermal trip*.
- f. Baut untuk kalibrasi, dimana memungkinkan pabrikan untuk mengatur secara presisi arus *trip* dari MCB setelah pabrikan (untuk MCB yang dijual dipasaran tidak memiliki fasilitas ini, karena tujuannya bukan untuk umum).
- g. *Solenoid, coil* atau lilitan yang fungsinya sebagai *magnetic trip* dan akan bekerja bila terjadi hubung singkat arus listrik.
- h. Pemadam busur api jika terjadi percikan api saat terjadi pemutusan atau pengaliran kembali arus listrik.

2.7.3.2 Spesifikasi

Untuk spesifikasi MCB yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

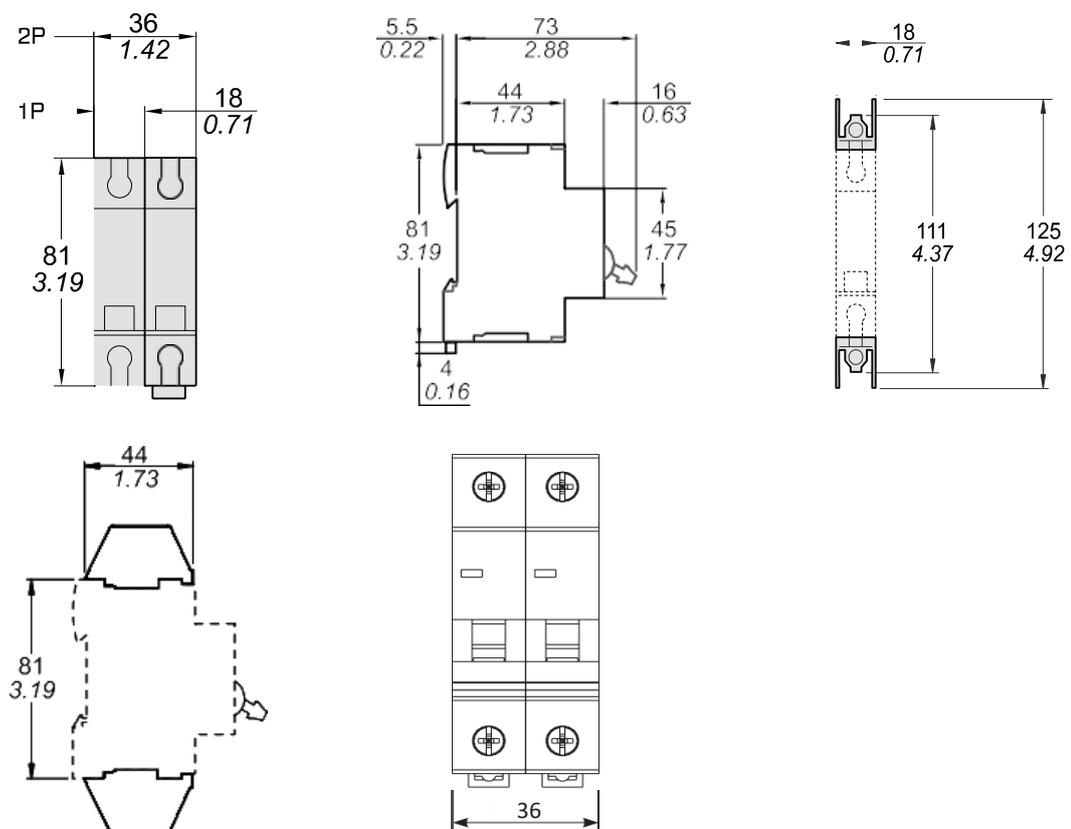
- a. Merek :
 - Schneider.
- b. Ukuran :
 - 81 mm x 35 mm.
- c. Berat satuan :
 - ± 240 g.
- d. Deskripsi tiang :
 - 2 *Pole*.
- e. Kapasitas arus :
 - 16 *Ampere*.
- f. Tipe jaringan :
 - AC (*Alternative Current*).
- g. Kapasitas pemutusan :
 - 6000 A sesuai dengan IEC 60898-1 - 230 VAC 50 Hz.
- h. Frekuensi jaringan :
 - 50 Hz.
- i. Tegangan operasional pengenalan [Ue] :
 - AC 220-240 *Volt* 50 Hz.

- j. Jenis kontrol :
 - Beralih.
- k. Mode pemasangan :
 - *Clip-on*.
- l. Dukungan pemasangan :
 - rel DIN.
- m. Kompatibilitas busbar sisir dan blok distribusi :
 - Ya.
- n. Kode kurva :
 - C.
- o. Warna :
 - Putih.

2.7.3.3 Dimensi

Untuk model MCB yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe MCB 2 *pole*.

Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2. 43 Dimensi *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

2.8 Magnetik Kontaktor

Menurut (Indrihastuti et al., 2021) *magnetic contactor* yaitu peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada kontaktor terdapat sebuah belitan yang mana bila dialiri arus listrik akan timbul medan magnet pada inti besinya, yang akan membuat kontak nya tertarik oleh gaya magnet yang timbul tadi. Kontak bantu NO (*Normally Open*) akan menutup dan kontak bantu NC (*Normally Close*) akan membuka.

Kontak pada kontaktor terdiri dari kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama digunakan untuk rangkaian daya sedangkan kontak bantu digunakan untuk rangkaian kontrol. Didalam suatu kontaktor elektromagnetik terdapat kumparan utama yang terdapat pada inti besi. Kumparan hubung singkat berfungsi sebagai peredam getaran saat kedua inti besi saling melekat. Apabila kumparan utama dialiri arus, maka akan timbul medan magnet pada inti besi yang akan menarik inti besi dari kumparan hubung singkat yang dihubungkan dengan kontak utama dan kontak bantu dari kontaktor tersebut. Hal ini akan mengakibatkan kontak utama dan kontak bantunya akan bergerak dari posisi normal dimana kontak NO akan tertutup sedangkan NC akan terbuka.

Selama kumparan utama kontaktor tersebut masih dialiri arus, maka kontak-kontaknya akan tetap pada posisi operasinya. Apabila pada kumparan kontaktor diberi tegangan yang terlalu tinggi maka akan menyebabkan berkurangnya umur atau merusak kumparan kontaktor tersebut. Tetapi jika tegangan yang diberikan terlalu rendah maka akan menimbulkan tekanan antara kontak-kontak dari kontaktor menjadi berkurang. Hal ini menimbulkan bunga api pada permukaannya serta dapat merusak kontak-kontaknya. Besarnya toleransi tegangan untuk kumparan kontaktor adalah berkisar 85% - 110% dari tegangan kerja kontaktor. Dalam penelitian ini menggunakan magnetik kontaktor merek Mitsubishi Electric dengan tipe S-T21 kapasitas 30 *ampere*.



Gambar 2. 44 Magnetik Kontaktor Tipe S-T21

Sumber: MS-T Series Manual *Book*

2.8.1 Fungsi Magnetik Kontaktor

Fungsi dari magnetik kontaktor adalah untuk menyambungkan dan memutuskan arus listrik pada rangkaian elektronika. Selain itu fungsi dari magnetik kontaktor adalah untuk menggerakkan motor 3 *phase* pada sebuah pabrik atau industri yang memiliki *ampere* yang tinggi. Kemudian fungsi lainnya yang dimiliki oleh magnetik kontaktor adalah transfer *switch* seperti rangkaian ATS (*Automatic Transfer Switch*). Karena dengan menggunakan magnetik kontaktor, kapasitas kontrol yang didapatkan lebih cepat dan lebih besar. Dan masih banyak kegunaan lainnya yang dimiliki oleh magnetik kontaktor.

2.8.2 Prinsip Kerja Magnetik Kontaktor

Dikutip dalam jurnal (Suryani, 2020) prinsip kerja daripada magnetik kontaktor dalam sistem kontrol maupun sistem pendistribusian listrik sangat banyak manfaatnya, terutama dalam membantu sistem kontrol listrik maupun aplikasi sistem. Untuk kontaktor dibedakan dari jenis tegangan kerjanya (24 V, 32V, 220V dst) tegangan ini dibutuhkan untuk menggerakkan *coil* yang ada di dalam kontaktor. Kegunaan kontaktor ada yang digunakan untuk pengoperasian motor ataupun hanya di gunakan dalam rangkaian kontrol yang terdapat di dalam mesin-mesin industri. Setiap kontaktor di lengkapi dengan kontak *relay* bantu (NO/*Normaly Open*/no.13-14 dan 43-44) dan (NC/*Normaly Close*/no. 21-22 dan 31-32) selain kontak utama(1-2, 3-4, 5-6), pada saat *coil* (No. A1-A2) kontaktor mendapatkan tegangan sehingga mengalirkan arus yang mengubah *coil* menjadi medan magnet dan menarik spul menekan kontaktor, sehingga yang awal posisinya terbuka

menjadi tertutup begitu juga dengan *relay* pembantuan lainnya. Penggunaan kontaktor dalam waktu lama di butuhkan perawatan yang intensif mengingat peralatan tersebut selalu bergerak (terbuka/ tertutup).

2.8.3 Bagian-bagian Magnetik Kontaktor

Dikutip dari instruksi manual *book* (Contactors & Starters, n.d.) magnetik kontaktor memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari kontaktor itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari magnetik kontaktor tipe S-T21 yaitu :

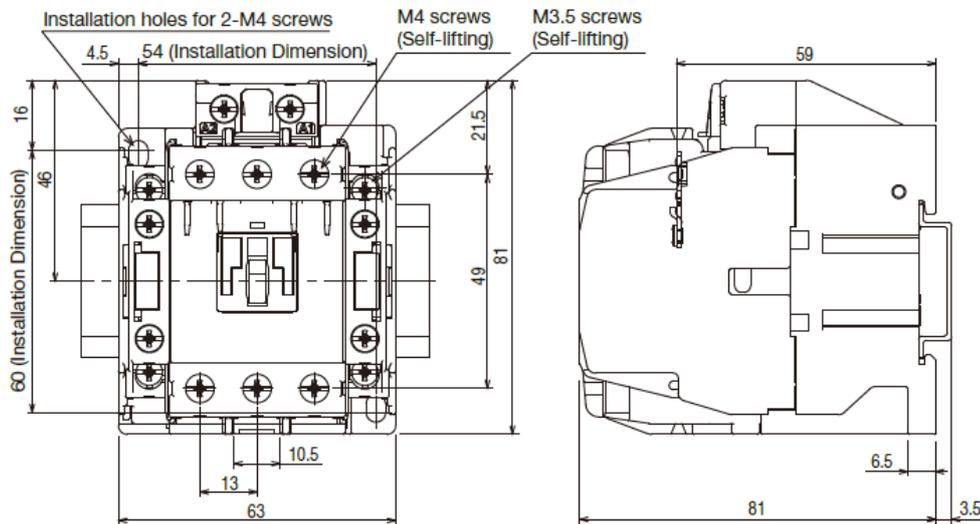
2.8.3.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi magnetik kontaktor tipe S-T21 yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Merek :
 - Mitsubishi Electric.
- b. Ukuran :
 - 81 mm x 63 mm.
- c. Berat satuan :
 - ± 400 g.
- d. Tegangan operasional pengenalan [Ue] :
 - AC 200-240 Volt 50/60 Hz.
- e. Kapasitas arus :
 - 30 Ampere.
- f. Kontak bantu :
 - 2 NO (*Normaly Open*) dan 2 NC (*Normaly Close*).
- g. Warna :
 - Putih.

2.8.3.2 Dimensi

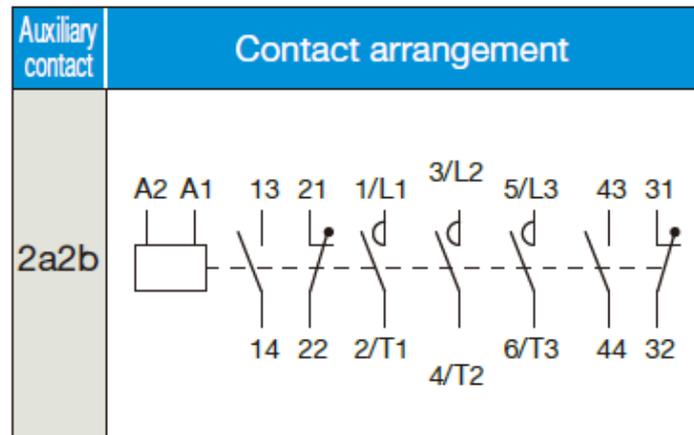
Untuk model magnetik kontaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah magnetic kontaktor tipe S-T21. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2. 45 Dimensi Magnetik Kontaktor Tipe S-T21

2.8.3.3 Pengaturan Kontak

Untuk pengaturan kontak pada magnetik kontaktor tipe S-T21 gambarnya sebagai berikut :



Gambar 2. 46 Pengaturan Kontak Magnetik Kontaktor Tipe S-T21

2.9 Thermal Overload Relay (TOR)

Menurut (Agiantoro & Prasetyo, 2018) *Thermal Overload Relay* (TOR) adalah komponen *switching* sebagai peralatan kontrol listrik yang berfungsi sebagai pengaman motor atau tenaga listrik terhadap arus atau beban lebih. Pemanfaatan *thermal overload relay* salah satunya adalah digunakan untuk mengetahui arus lebih yang ditimbulkan oleh beban, sehingga *thermal overload relay* akan *trip* sesuai dengan besarnya arus yang ditimbulkan oleh beban. *Thermal overload relay* ini bisa dipasangkan langsung dengan magnetik kontaktor maupun terpisah sehingga sangat fleksibel untuk pemasangannya di dalam panel. Pemilihan jenis *thermal overload relay* ditentukan oleh rating/*setting* arus sesuai dengan arus nominal rangkaian pada beban penuh dan kelas *trip*nya. Untuk pemakaian standar digunakan kelas *trip* 10 yaitu *thermal overload* akan *trip* pada 7,2 Ir dalam waktu 4 detik. Menurut (Tukananto et al., 2015) ada beberapa penyebab terjadinya beban lebih antara lain :

- a. Terlalu besarnya beban mekanik dari motor listrik.
- b. Arus start yang terlalu besar atau motor listrik berhenti secara mendadak.
- c. Terjadinya hubung singkat.
- d. Terbukanya salah satu fasa dari motor listrik 3 fasa.

Menurut (Pradika & Moediyono, 2015) TOR bekerja berdasarkan prinsip pemuaian dan benda bimetal. Apabila benda terkena arus yang tinggi, maka benda akan memuai sehingga akan melengkung dan memutuskan arus. Untuk mengatur besarnya arus maksimum yang dapat melewati TOR, dapat diatur dengan memutar penentu arus dengan menggunakan obeng sampai didapat harga yang diinginkan. Dalam penelitian ini menggunakan *thermal overload relay* merek Mitsubishi dengan tipe TH-K20KP kapasitas 15-30 *ampere*.



Gambar 2. 47 *Thermal Overload Relay* Tipe TH-K20KP

Sumber: *Technical Catalogue MS-N*

2.9.1 Fungsi *Thermal Overload Relay* (TOR)

Menurut (Pradika & Moediyono, 2015) *thermal overload relay* berfungsi untuk memutuskan jaringan listrik jika terjadi beban lebih. Arus yang terlalu besar yang timbul pada beban motor listrik akan mengalir pada belitan motor listrik yang dapat menyebabkan kerusakan dan terbakarnya belitan motor listrik. Untuk menghindari hal itu maka dipasang termal beban lebih pada alat pengontrol.

2.9.2 Prinsip Kerja *Thermal Overload Relay* (TOR)

Thermal overload relay mempunyai prinsip kerja dengan pemutus bimetal sesuai dengan arus yang mengalir, arus yang mengalir akan menyebabkan panas, semakin besar sehingga perubahan arus maka akan semakin tinggi kenaikan temperatur yang menyebabkan terjadinya pembengkokan, dan akan terjadi pemutusan arus, sehingga rangkaian akan terputus. Jenis pemutus bimetal ada jenis satu fasa dan ada jenis tiga fasa, tiap fasa terdiri atas bimetal yang terpisah tetapi saling terhubung, berguna untuk memutuskan semua fasa apabila terjadi kelebihan beban. Pemutus bimetal satu fasa biasa digunakan untuk pengaman beban lebih pada rangkaian dengan daya kecil.

Cara kerja *thermal overload*, apabila *resistance wire* dilewati arus lebih besar dari nominalnya, maka bimetal akan *trip*, bagian bawah akan melengkung ke kiri dan membawa slide ke kiri, gesekan ini akan membawa lengan kontak pada bagian bawah tertarik ke kiri dan kontak akan lepas. Selama bimetal *trip* itu masih panas, maka di bagian bawah akan tetap terbawa ke kiri, sehingga kontak-kontaknya belum dapat dikembalikan ke kondisi semula walaupun *reset button*-nya ditekan,

apabila bimetal sudah dingin barulah kontakannya dapat kembali lurus dan kontakannya baru dapat di hubungkan kembali dengan menekan *reset button*.

2.9.3 Bagian-bagian *Thermal Overload Relay* (TOR)

Dikutip dari instruksi manual *book* (Electric, 2005) *thermal overload relay* memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari *thermal overload relay* itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari *thermal overload relay* tipe TH-K20KP yaitu :

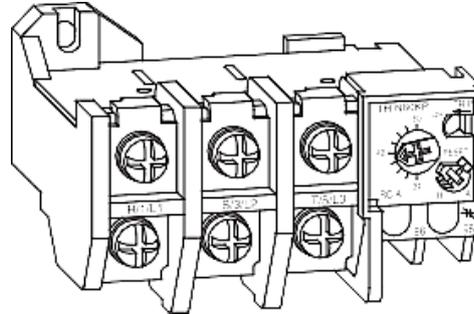
2.9.3.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi *thermal overload relay* tipe TH-K20KP yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Merek :
 - Mitsubishi.
- b. Ukuran :
 - 65 mm x 82 mm x 41 mm.
- c. Berat satuan :
 - ± 200 g.
- d. Tegangan operasional pengenalan [Ue] :
 - AC 660 Volt 50/60 Hz.
- e. Kapasitas arus :
 - 15 – 30 Ampere.
- f. Kontak bantu :
 - 1 NO (*Normaly Open*) dan 1 NC (*Normaly Close*).
- g. Warna :
 - Hitam.

2.9.3.2 Dimensi

Untuk model *thermal overload relay* yang digunakan pada penelitian ini adalah *thermal overload relay* tipe TH-K20KP. Dan berikut adalah tampilannya :



Length : 82 mm.

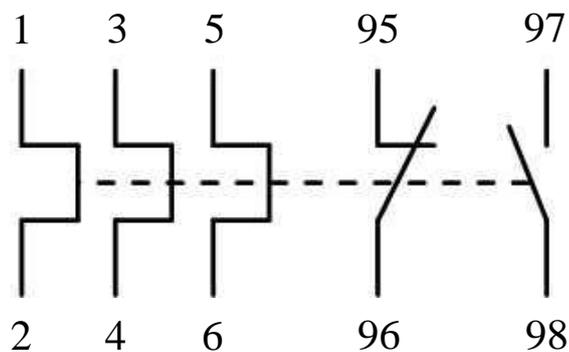
Width : 65 mm.

Height : 41 mm.

Gambar 2. 48 Dimensi *Thermal Overload Relay* Tipe TH-K20KP

2.9.3.3 Pengaturan Kontak

Untuk pengaturan kontak pada *thermal overload relay* tipe TH-K20KP sebagai berikut :



Gambar 2. 49 Pengaturan Kontak *Thermal Overload Relay* Tipe TH-K20KP

2.10 Relay

Dikutip dari jurnal (Saleh & Haryanti, 2017) *relay* adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *electromechanical* (elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni elektromagnet (*coil*) dan

mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). *Relay* menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. *Relay* dibutuhkan dalam rangkaian elektronika sebagai eksekutor sekaligus *interface* antara beban dan sistem kendali elektronik yang berbeda sistem *power supply*-nya. Secara fisik antara saklar atau kontaktor dengan elektromagnet *relay* terpisah sehingga antara beban dan sistem kontrol terpisah. Pada dasarnya bagian utama *relay* elektromekanik terdiri dari 4 bagian dasar yaitu ; elektromagnet (*coil*), *armature* (pegas), *switch contact point* (saklar), dan *spring* (Alexander & Turang, 2015).

Diantara aplikasi *relay* yang dapat ditemui diantaranya adalah ; *relay* sebagai kontrol *ON/OFF* beban dengan sumber tegang berbeda, *relay* sebagai selektor atau pemilih hubungan, *relay* sebagai eksekutor rangkaian *delay* (tunda) dan *relay* sebagai protektor atau pemutus arus pada kondisi tertentu. Menurut (Alexander & Turang, 2015) sifat-sifat *relay* antara lain sebagai berikut :

- a. Impedansi kumparan, biasanya impedansi ditentukan oleh tebal kawat yang digunakan serta banyaknya lilitan pada *relay*. Biasanya impedansi berharga 1 - 50 K Ω guna memperoleh daya hantar yang baik.
- b. Daya yang diperlukan untuk mengoperasikan *relay* besarnya sama dengan nilai tegangan dikalikan arus.
- c. Banyaknya kontak-kontak jangkar dapat membuka dan menutup lebih dari satu kontak sekaligus tergantung pada kontak dan jenis *relay*-nya. Jarak antara kontak-kontak menentukan besarnya tegangan maksimum yang diizinkan antara kontak tersebut.

Relay merupakan salah satu jenis dari saklar, maka istilah *pole* dan *throw* yang dipakai dalam saklar juga berlaku pada *relay*. Berikut ini adalah penjelasan singkat mengenai istilah *pole* dan *throw* :

- *Pole* : Banyaknya kontak (*contact*) yang dimiliki oleh sebuah *relay*.
- *Throw* : Banyaknya kondisi yang dimiliki oleh sebuah kontak (*contact*).

Berdasarkan penggolongan jumlah *pole* dan *throw*-nya sebuah *relay*, maka *relay* dapat digolongkan sebagai berikut :

a. *Single Pole Single Throw (SPST)* :

Relay golongan ini memiliki 4 terminal, 2 terminal untuk saklar dan 2 terminalnya lagi untuk *coil*.

b. *Single Pole Double Throw (SPDT)* :

Relay golongan ini memiliki 5 terminal, 3 terminal untuk saklar dan 2 terminalnya lagi untuk *coil*.

c. *Double Pole Single Throw (DPST)* :

Relay golongan ini memiliki 6 terminal, diantaranya 4 terminal yang terdiri dari 2 pasang terminal saklar sedangkan 2 terminal lainnya untuk *coil*. *Relay* DPST dapat dijadikan 2 saklar yang dikendalikan oleh 1 *coil*.

d. *Double Pole Double Throw (DPDT)* :

Relay golongan ini memiliki terminal sebanyak 8 terminal, diantaranya 6 terminal yang merupakan 2 pasang *relay* SPDT yang dikendalikan oleh 1 (*single*) *coil*. Sedangkan 2 terminal lainnya untuk *coil*.

Selain Golongan *relay* diatas, terdapat juga *relay-relay* yang *pole* dan *throw*-nya melebihi dari 2 (dua). Misalnya 3PDT (*Triple Pole Double Throw*) ataupun 4PDT (*Four Pole Double Throw*) dan lain sebagainya (Saleh & Haryanti, 2017). Dalam penelitian ini menggunakan *relay* merek Omron dengan tipe MY4N dan termasuk dalam golongan 4PDT (*Four Pole Double Throw*).



Gambar 2. 50 *Relay* 4PDT Tipe MY4N

Sumber: *General Purpose Relay-MY*

2.10.1 Fungsi Relay

Menurut (Saleh & Haryanti, 2017) beberapa fungsi *relay* yang telah umum diaplikasikan kedalam peralatan elektronika diantaranya adalah :

- a. *Relay* digunakan untuk menjalankan fungsi logika (*logic function*).
- b. *Relay* digunakan untuk memberikan fungsi penundaan waktu (*time delay function*).
- c. *Relay* digunakan untuk mengendalikan sirkuit tegangan tinggi dengan bantuan dari *signal* tegangan rendah.

Ada juga *relay* yang berfungsi untuk melindungi motor ataupun komponen lainnya dari kelebihan tegangan ataupun hubung singkat (*short*). Dan masih banyak kegunaan lainnya yang dapat dilakukan oleh *relay*.

2.10.2 Prinsip Kerja Relay

Prinsip kerja dari sebuah *relay* adalah ketika sebuah besi (*iron core*) yang dililit oleh kumparan *coil*, berfungsi untuk mengendalikan besi tersebut. Apabila kumparan *coil* dialiri arus listrik, maka akan muncul gaya elektromagnetik yang dapat menarik *armature* sehingga dapat berpindah dari posisi sebelumnya tertutup (NC) menjadi posisi baru yakni terbuka (NO). Dalam posisi (NO) saklar dapat menghantarkan arus listrik. Pada saat tidak dialiri arus listrik, *armature* akan kembali ke posisi awal (NC). Sedangkan *coil* yang digunakan oleh *relay* untuk menarik *contact* poin ke posisi *close* hanya membutuhkan arus listrik yang relatif cukup kecil.

2.10.3 Bagian-bagian Relay

Relay memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari *relay* itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari *relay* 4PDT tipe MY4N yaitu :

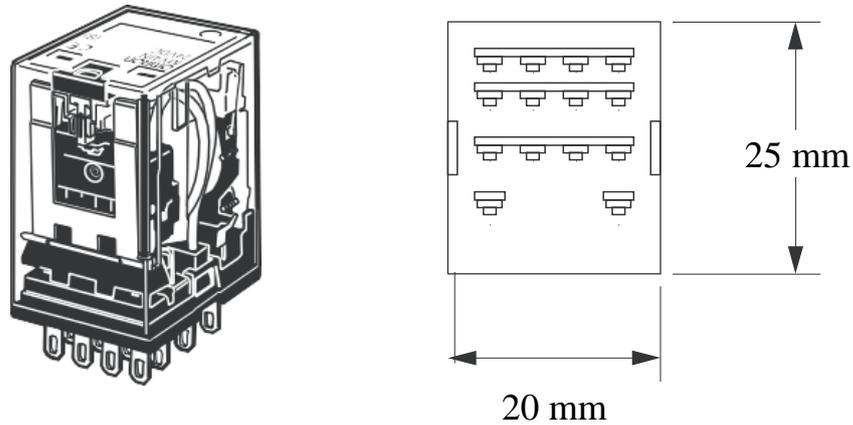
2.10.3.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi *relay* 4PDT Tipe MY4N yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Merek :
 - Omron.
- b. Golongan :
 - 4PDT (*Four Pole Double Throw*) 14 pin kaki.
- c. Ukuran :
 - 25 mm x 20 mm x 34 mm.
- d. Berat satuan :
 - ± 100 g.
- e. Tegangan operasional pengenal [Ue] :
 - AC 220-240 Volt 50/60 Hz.
- f. *Coil resistance* :
 - 18,790 Ω .
- g. *Rated current* :
 - 4.8/5.3 mA.
- h. Konsumsi daya :
 - 0.9 - 1.1 VA (60 Hz).
- i. *Contact Rating* :
 - Nilai beban : 3 *Ampere*, AC 250 Volt dan 3 *Ampere*, DC 30 Volt.
 - *Max. switching voltage* : AC 250 Volt dan DC 125 Volt.
 - *Max. switching current* : 5 *Ampere*.
 - *Max. switching capacity* : 1,250 VA.

2.10.3.2 Dimensi

Untuk model *relay* yang digunakan pada penelitian ini adalah *relay* 4PDT tipe MY4N. Dan berikut adalah tampilannya :



Length : 20 mm.

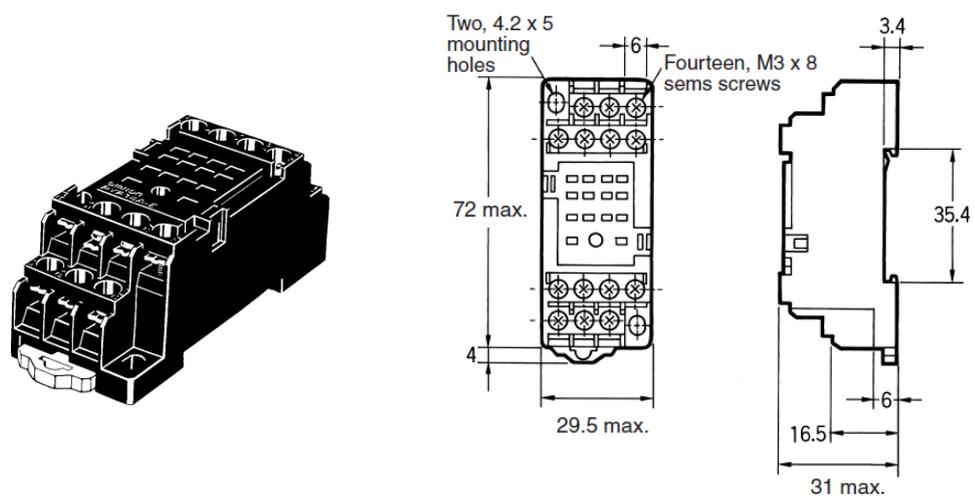
Width : 25 mm.

Height : 34 mm.

Gambar 2. 51 Dimensi *Relay* 4PDT Tipe MY4N

2.10.3.3 Dimensi *Socket Relay*

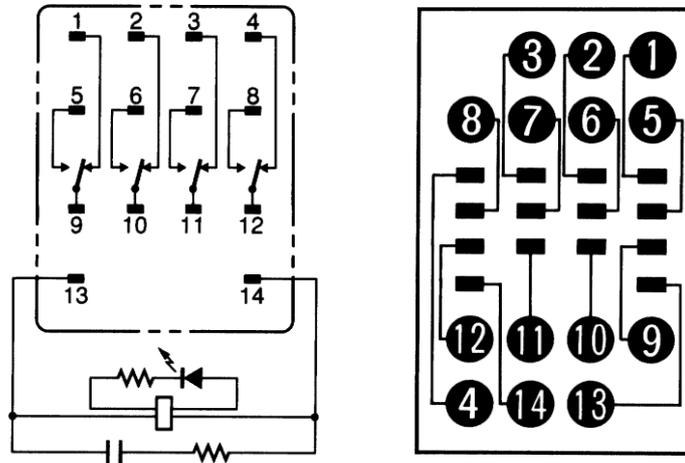
Untuk dimensi *socket relay* 4PDT tipe MY4N yang digunakan adalah tipe *socket* PYF14A-E. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2. 52 Dimensi *Socket Relay* Tipe PYF14A-E

2.10.3.4 Pengaturan Kontak

Untuk pengaturan kontak pada *relay* 4PDT Tipe MY4N sebagai berikut :



Gambar 2. 53 Pengaturan Kontak *Relay* 4PDT Tipe MY4N

2.11 Selector Switch

Menurut (Rasmini, 2017) *selector switch* merupakan alat yang di gunakan untuk memilih posisi kerja pada rangkaian kontrol. Cara kerja dari *selector switch* adalah menyambung rangkaian sesuai dengan yang ditunjuk oleh tangkai *selector*. Banyak sekali tipe *selector switch* yang ada, tetapi biasanya hanya dua tipe yang sering di gunakan, yaitu 2 posisi, (*ON-OFF/Start-Stop/0-1*, dan lain-lain) dan 3 posisi (*ON-OFF-ON/Auto-Off-Manual*, dan lain-lain). *Selector switch* biasanya dipasang pada panel kontrol untuk memilih jenis operasi yang berbeda, dan dengan rangkaian yang berbeda pula. *Selector switch* memiliki beberapa kontak dan setiap kontak dihubungkan oleh kabel menuju rangkaian yang berbeda (Rasmini et al., 2019). Dalam desainnya *selector switch* memiliki empat tipe kontak yang berbeda-beda pada sistem kerjanya. Berikut adalah empat tipe kontak dari *selector switch* :

- Selector switch* 2 posisi.
- Selector switch* 3 posisi.
- Selector switch* 4 posisi.
- Selector switch* 12 posisi.

Dalam penelitian ini menggunakan *selector switch* merek Salzer dengan tipe SA16 dan termasuk dalam golongan tipe kontak 2 posisi.



Gambar 2. 54 *Selector Switch* Tipe SA16

Sumber: *Selector Switch Catalogue Salzer*

2.11.1 Fungsi *Selector Switch*

Selector switch pada umumnya memiliki banyak sekali fungsi tergantung pada prinsip kerja dari objek yang ingin dipasangkan *selector switch*. Berikut adalah beberapa fungsi pada umumnya yang dapat dilakukan oleh *selector switch*:

- a. Sebagai *ON* atau *OFF* terhadap objek yang ingin dilakukan.
- b. Sebagai *interlock - enable* atau *disable* pada sistem.
- c. Untuk mereset sebuah alarm.
- d. Untuk memilih mode kiri (*forward*) dan kanan (*reverse*).
- e. Dan lain-lain.

2.11.2 Prinsip Kerja *Selector Switch*

Untuk prinsip kerja dari *selector switch* adalah ketika *selector switch* diputar kekanan yang semulanya ada di kiri maka arus akan mengalir menuju ke kontak NO atau NC dari *selector* kanan. *Selector* istilahnya memilih tetapi dalam komponen listrik *selector* berfungsi untuk memindahkan arus listrik dari kontak *block* menuju ke kontak *block* lainnya.

2.11.3 Bagian-bagian *Selector Switch*

Selector switch memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari *selector switch* itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari *selector switch* 2 kontak posisi tipe SA16 yaitu :

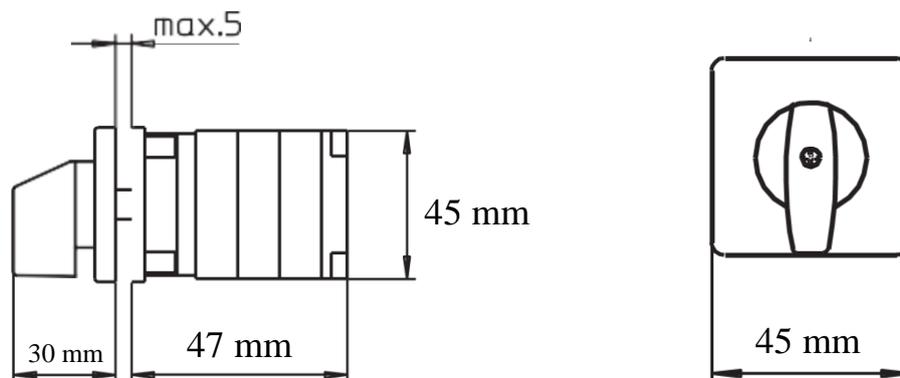
2.11.3.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi *selector switch* 2 kontak posisi tipe SA16 yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Merek :
 - Salzer.
- b. Ukuran :
 - 40 mm x 47 mm x 45 mm.
- c. Tipe kontak :
 - 2 kontak posisi *Normaly Open* (NO) dan *Normaly Close* (NC).
- d. Berat satuan :
 - ± 100 g.
- e. Kapasitas arus :
 - 20 *Ampere*.
- f. Frekuensi jaringan :
 - 50 Hz.
- g. Tegangan operasional pengenalan [Ue] :
 - AC 220-240 *Volt*.
- h. Jenis kontrol :
 - Beralih.

2.11.3.2 Dimensi

Untuk model *selector switch* yang digunakan pada penelitian ini adalah *selector switch* 2 kontak posisi tipe SA16. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2. 55 Dimensi *Selector Switch* Tipe SA16

2.12 Emergency Push Button

Dikutip dalam jurnal (Pradiftha & Elektro, 2019) *emergency push button* atau tombol darurat adalah tombol yang dipergunakan untuk memutuskan atau membuat sistem berhenti bekerja (*OFF*) secara darurat agar tidak bisa beroperasi pada saat terjadi kecelakaan atau situasi tidak aman dan juga pada saat dilakukan perbaikan. *Emergency push button* pada umumnya identik dengan warna merah, apabila ditekan maka *push button* ini akan mengunci pada posisi terputus (*OFF*). Selanjutnya untuk mengembalikan ke posisi semula (*ON*) dengan cara diputar atau juga ada yang menggunakan kunci untuk membuatnya kembali ke posisi awal. Alat ini dipakai pada situasi darurat saja, jika alat ini ditekan maka listrik pada sistem kontrol akan terputus dan jika tombol ini diletakkan atau berada pada mesin maka jika tombol ini ditekan maka mesin tersebut akan berhenti. Dalam penelitian ini menggunakan *emergency push button* merek Hanyoung dengan tipe CRE-25R1R dengan memiliki 2 kontak yaitu NC (*Normaly Close*) dan NO (*Normaly Open*).



Gambar 2. 56 Emergency Push Button Tipe CRE-25R1R

Sumber: *Emergency Stop Push Button Catalogue*

2.12.1 Fungsi Emergency Push Button

Sesuai dengan namanya *emergency push button* berfungsi sebagai pemutus atau penyambung arus listrik dari sumber arus ke beban listrik pada saat situasi darurat. Adapun fungsi lain yang dimiliki oleh *emergency push button* adalah sebagai berikut :

- a. Mematikan mesin sebelum melakukan *maintenance*.
- b. Mematikan mesin secara tiba-tiba (keadaan darurat).
- c. Sebagai saklar pemutus dan penghubung arus listrik.

2.12.2 Prinsip Kerja *Emergency Push Button*

Untuk prinsip kerja dari *emergency push button* adalah apabila dalam keadaan normal tidak ditekan maka kontak tidak berubah, apabila ditekan maka kontak NO (*Normaly Open*) akan berfungsi untuk mengunci pada posisi terputus (*OFF*). Selanjutnya untuk mengembalikan ke posisi semula (*ON*) dengan cara diputar atau juga ada yang menggunakan kunci untuk membuatnya kembali ke posisi awal. Biasanya *emergency push button* digunakan pada sistem pengontrolan motor-motor induksi untuk menjalankan atau mematikan motor pada industri ketika dalam keadaan darurat (*emergency*).

2.12.3 Bagian-bagian *Emergency Push Button*

Emergency push button memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari *emergency push button* itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari *emergency push button* tipe CRE-25R1R yaitu :

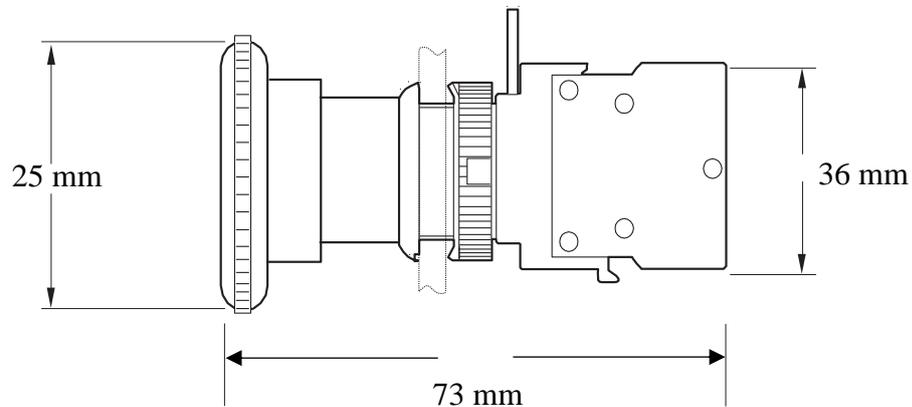
2.12.3.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi *emergency push button* tipe CRE-25R1R yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Merek :
 - Hanyoung.
- b. Ukuran :
 - 25 mm x 73 mm x 36 mm.
- c. Tipe kontak :
 - 2 kontak posisi *Normaly Open* (NO) dan *Normaly Close* (NC).
- d. Berat satuan :
 - ± 100 g.
- e. Tegangan operasional pengenalan [Ue] :
 - AC 200-250 Volt 50 Hz.
- f. Kapasitas arus :
 - 5 Ampere.
- g. Warna :
 - Merah.

2.12.3.2 Dimensi

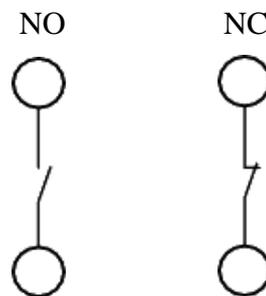
Untuk model *emergency push button* yang digunakan pada penelitian ini adalah *emergency push button* tipe CRE-25R1R. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2. 57 Dimensi *Emergency Push Button* Tipe CRE-25R1R

2.12.3.4 Pengaturan Kontak

Untuk pengaturan kontak pada *emergency push button* tipe CRE-25R1R sebagai berikut :



Gambar 2. 58 Pengaturan Kontak *Emergency Push Button* Tipe CRE-25R1R

2.13 Lampu Indikator

Dikutip dalam jurnal (Pradiftha & Elektro, 2019) lampu indikator atau biasa disebut sebagai *pilot lamp* adalah sinyal dalam penandaan berupa lampu dengan warna tertentu. Lampu indikator ini biasanya inputan manual maupun otomatis dari *switch* maupun sensor. Dalam menggunakan lampu indikator dengan warna tertentu akan mempermudah identifikasi kejadian pada suatu sistem dan digunakan untuk tanda pengganti pada suatu pekerjaan. Lampu indikator ini dapat kita jumpai dengan berbagai jenis macam lampu, bentuknya disesuaikan dengan kebutuhan

beberapa jenis lampu indikator itu diantaranya adalah ; lampu neon, lampu LED, lampu pijar, namun yang sering kita jumpai pada panel-panel listrik adalah lampu LED (Akbar, 2021). Dalam penelitian kali ini menggunakan lampu indikator LED.



Gambar 2. 59 Lampu Indikator Tipe AD16-22DS

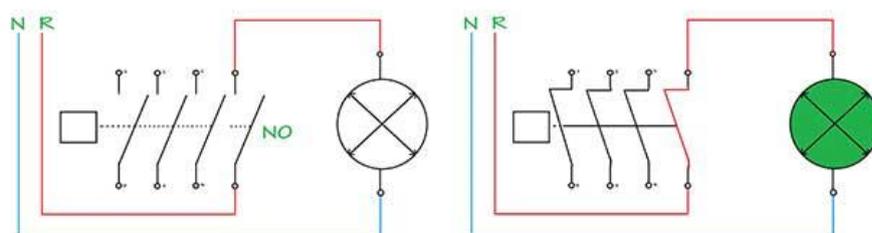
Sumber: *Indicator Lamp Catalogue*

2.13.1 Fungsi Lampu Indikator

Dikutip dalam jurnal (Yosua et al., 2020) lampu indikator memiliki fungsi untuk mengetahui jalannya proses koneksi yang sedang terjadi. Lampu indikator digunakan sebagai indikator dalam rangkaian sebuah alat ataupun mesin. Kemudian lampu indikator dapat digunakan juga untuk menunjukkan, meramalkan kecelakaan dalam kerja, peralatan dan sinyal lain di bidang peralatan seperti tenaga listrik, telekomunikasi, alat mesin, perahu, tekstil, percetakan dan mesin tambang.

2.13.2 Prinsip Kerja Lampu Indikator

Prinsip kerja daripada lampu indikator adalah jika ada tegangan masuk berupa *phase* dan netral pada lampu indikator sesuai dengan tegangan kerja pada lampu indikator, maka secara otomatis lampu indikator tersebut akan menyala. Kemudian jika tegangan masuk berupa *phase* dan netral pada lampu indikator tidak ada, maka secara otomatis lampu indikator tersebut akan mati.



Gambar 2. 60 Prinsip Kerja Lampu Indikator

Sumber: <https://www.plcdroid.com/>

2.13.3 Bagian-bagian Lampu Indikator

Lampu indikator LED memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari lampu indikator LED itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari lampu indikator LED tipe AD16-22DS yaitu :

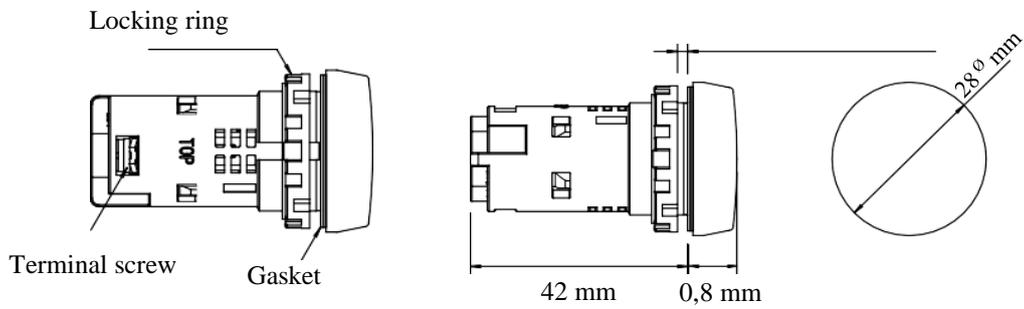
2.13.3.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi lampu indikator LED tipe AD16-22DS yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Merek :
 - Trunk.
- b. Ukuran :
 - 28 mm x 50 mm.
- c. Berat satuan :
 - ± 20 g.
- d. Tegangan operasional pengenalan [Ue] :
 - AC 200-250 Volt 50 Hz.
- e. Kapasitas arus :
 - ≤ 20 mA.
- f. Kecerahan :
 - ≥ 100 CD/M persegi.
- g. Tahanan isolasi :
 - ≥ 2 m ohm.
- h. *Continuous work* :
 - ≥ 30000 hour.
- i. Kualitas material :
 - *Flame-retardant shell.*
- j. Warna :
 - Merah.
 - Hijau.
 - Putih.

2.13.3.2 Dimensi

Untuk model lampu indikator LED yang digunakan pada penelitian ini adalah lampu indikator LED tipe AD16-22DS. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2. 61 Dimensi Lampu Indikator Tipe AD16-22DS

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Adapun waktu dan tempat pada pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.1.1 Waktu

Waktu yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dimulai dari 2023 sampai 2024.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Keterangan	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kajian Literatur								
2	Penyusunan Proposal Penelitian								
3	Penulisan Bab 1 Sampai Bab 3								
5	Analisa Data								
6	Seminar Proposal								
7	Seminar Hasil								
8	Sidang Akhir								

3.1.2 Tempat

Tempat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini di Jln, Bagan Deli Lama, Medan, Belawan I, Medan Kota Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara 20411.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam perancangan dan pembuatan sistem ini, diperlukan alat serta bahan untuk merakit sehingga terciptanya sistem sesuai yang diinginkan. Adapaun alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut :

3.2.1 Alat Perancangan

Dalam pembuatan sistem ini penulis menggunakan beberapa alat yang digunakan untuk memperlancar proses perancangan dan perangkaian alat pada sistem ini. Adapun alat yang digunakan sebagai berikut :

- a. Obeng positif berfungsi untuk membuka dan menyetatkan baut positif.
- b. Obeng negatif berfungsi untuk membuka dan menyetatkan baut minus.
- c. Tang potong berfungsi untuk memotong dan mengupas kabel.
- d. Mesin bor listrik berfungsi sebagai alat untuk membuat lubang pada panel yang digunakan.
- e. Mata bor berfungsi untuk membantu bor dalam membuat lubang yang dibutuhkan.
- f. Multitester berfungsi untuk mengecek tegangan serta kontinuitas kabel pada rangkaian yang sudah selesai dirakit.

3.2.2 Bahan Perancangan

Adapun bahan perancangan yang digunakan dalam pembuatan sistem ini adalah sebagai berikut :

- a. *Temperature controller* berfungsi sebagai mengatur suhu pada objek yang digunakan.
- b. Sensor RTD PT100 berfungsi untuk mendeteksi suhu pada objek yang digunakan.
- c. Elemen *heater* berfungsi untuk memanaskan objek yang digunakan.
- d. MCB berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian sistem yang digunakan.
- e. Magnetik kontaktor berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik pada elemen *heater* yang digunakan.
- f. *Thermal overload relay* berfungsi sebagai *safety* pada elemen *heater* yang digunakan jika terjadinya arus lebih atau hubung singkat.
- g. *Relay* berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik rangkaian sistem yang digunakan.
- h. *Selector switch* berfungsi untuk *ON* serta *OFF* pada panel yang digunakan.
- i. *Emergency push button* berfungsi sebagai memutuskan atau membuat sistem berhenti bekerja (*OFF*) secara darurat.

- j. Lampu indikator berfungsi untuk mengetahui atau pemberi tanda jalannya proses rangkaian yang sedang terjadi.

3.3. Prosedur Kerja Alat

Adapun prosedur langkah kerja dari rangkaian yang dibuat oleh penulis ini adalah sebagai berikut :

- a. Kebutuhan untuk memanaskan bahan bakar minimal 30°C dan maksimal adalah 95°C .
- b. Ketika MCB di *ON* kan secara otomatis maka panel akan menyala ditandai dengan lampu indikator berwarna putih.
- c. Ketika *selector switch* di *ON* kan maka kondisi awal *heater* akan dalam keadaan *ON* pada saat suhu berada di 30°C , artinya adalah bahan bakar sedang dipanaskan.
- d. Ketika suhu mengalami kenaikan di atas 95°C maka *temperature controller* akan memberi sinyal kepada *relay*, sehingga *relay* akan memutuskan arus listrik pada kontaktor, dan *heater* dalam posisi *OFF*, artinya adalah bahan bakar sudah tidak dipanaskan.
- e. Pada saat suhu temperatur mengalami penurunan, maka secara otomatis sistem akan menghidupkan *heater* kembali.
- f. Sistem *temperature control* berdasarkan suhu pada bahan bakar tersebut terjadi berulang ulang guna memenuhi bahan bakar yang hendak dipanaskan.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian *system automatic temperature control* pada bahan bakar adalah sebagai berikut, yaitu :

- a. Studi pendahuluan

Yang dimaksud dalam studi pendahuluan adalah melakukan bimbingan kepada dosen pembimbing mengenai judul dan topik pembahasan yang diarahkan untuk dapat perancangan *system automatic temperature control* pada bahan bakar di kapal.

b. Data kepustakaan

Data kepustakaan merupakan pengumpulan data-data dengan cara membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, maupun tulisan-tulisan, dan bahan- bahan kuliah yang di dapatkan selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penelitian tugas akhir ini.

c. Penelitian lapangan (*field research*)

Penelitian lapangan adalah penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap objek penelitian yaitu melakukan secara langsung analisa dari *system automatic temperature control* pada bahan bakar di kapal.

d. Tahapan perancangan

Adapun tahapan perancangan pada alat tugas akhir yang berjudul “*system automatic temperature control* pada bahan bakar di kapal” menggunakan sensor-sensor dan bahan lainnya agar terciptanya alat tersebut.

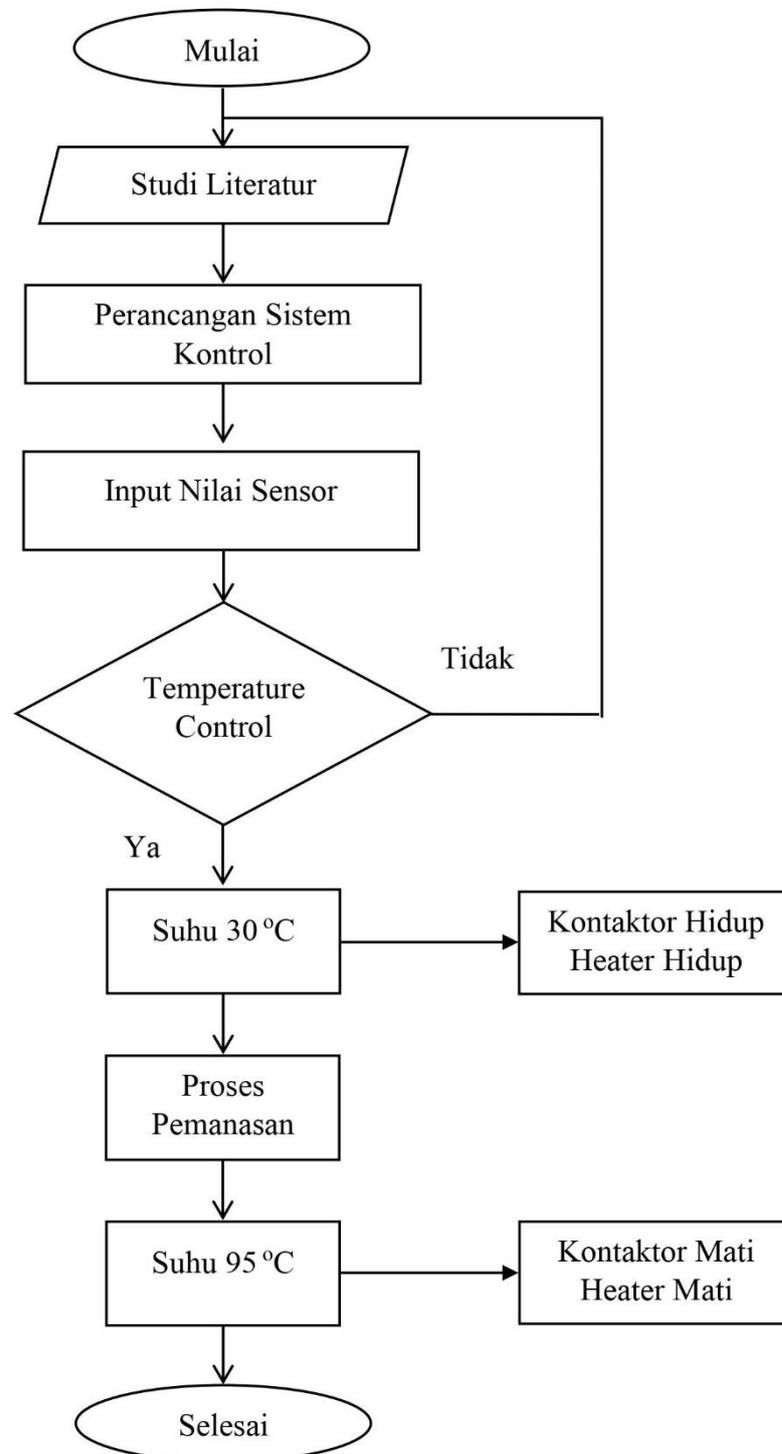
3.5 Analisis Data

Adapun proses pengolahan data dan informasi yang akan dilakukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan hasilnya, adalah sebagai berikut :

1. Pengujian pada kenaikan dan penurunan suhu *temperature* :
 - a. Pengujian lamanya kenaikan suhu *temperature* dengan cara menghitung kenaikan suhu dari 30⁰C ke 95⁰C.
 - b. Pengujian lamanya penurunan suhu *temperature* dengan cara menghitung penurunan suhu dari 95⁰C ke 85⁰C.
2. Pengujian sensor RTD PT 100
 Pengujian dengan cara mengukur *resistance* yang dihasilkan pada sensor RTD PT 100.
3. Pengujian elemen *heater*
 Pengujian dengan cara mengukur tegangan yang menuju ke *heater* .
4. Pengujian kontaktor
 Pengujian dengan cara mengukur tegangan pada kontaktor.
5. Pengujian *thermal overload relay*
 Pengujian dengan cara mengukur tegangan dan test trip pada *thermal overload relay*.

3.6 Flowchart Perancangan Sistem

Adapun *flowchart* perancangan sistem pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 *Flowchart* Perancangan Sistem

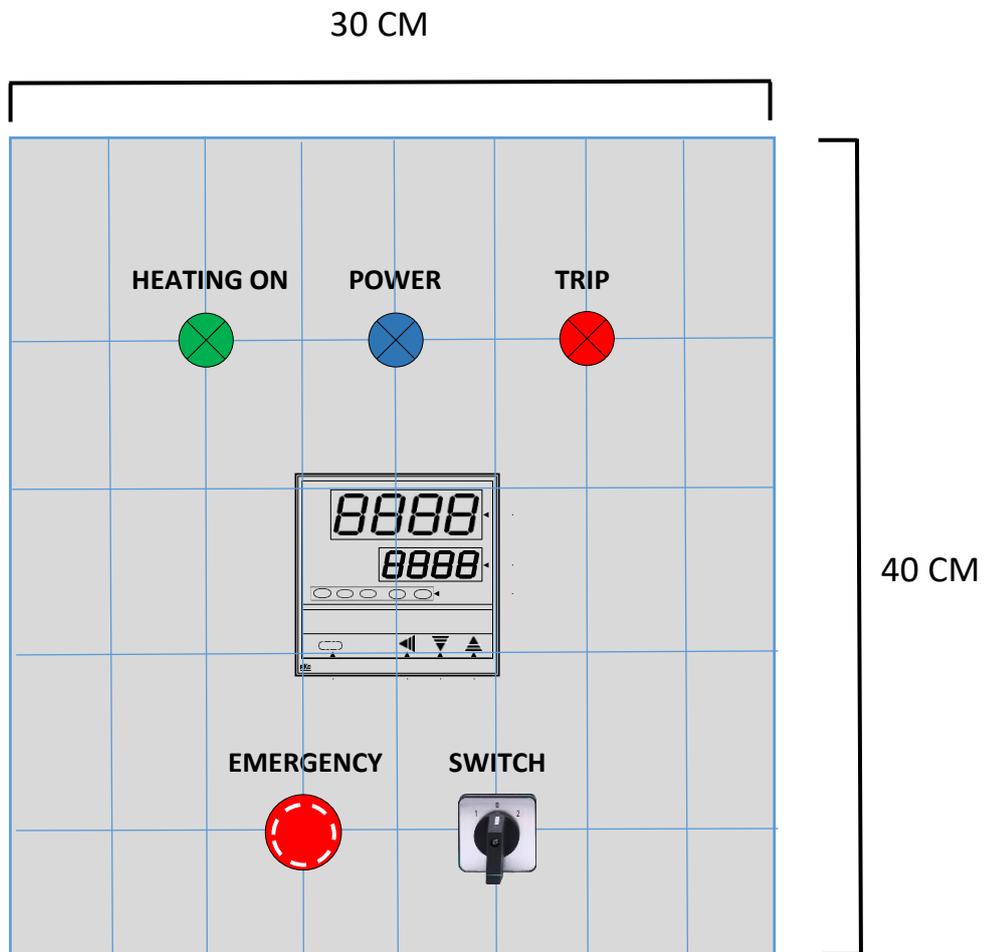
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Alat

Adapun perancangan sistem keseluruhan yang akan dibuat oleh penulis pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

4.1.1 Dimensi

Untuk model box panel yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan box panel ukuran 40 x 30 x 20 cm, yang dimana box panel ini di desain menggunakan software Microsoft Visio. Dan berikut adalah tampilannya:



Width = 20 CM

Gambar 4. 1 Dimensi Box Panel

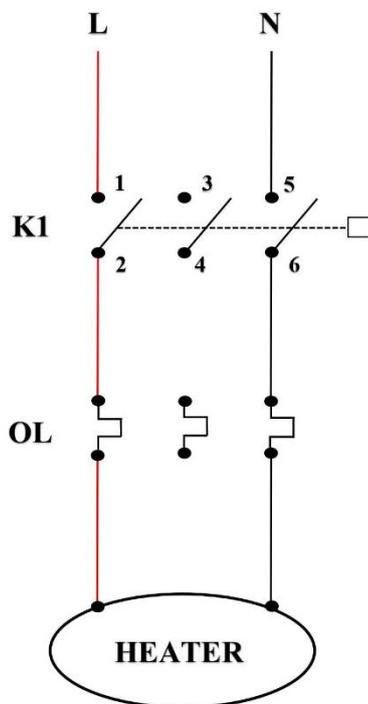
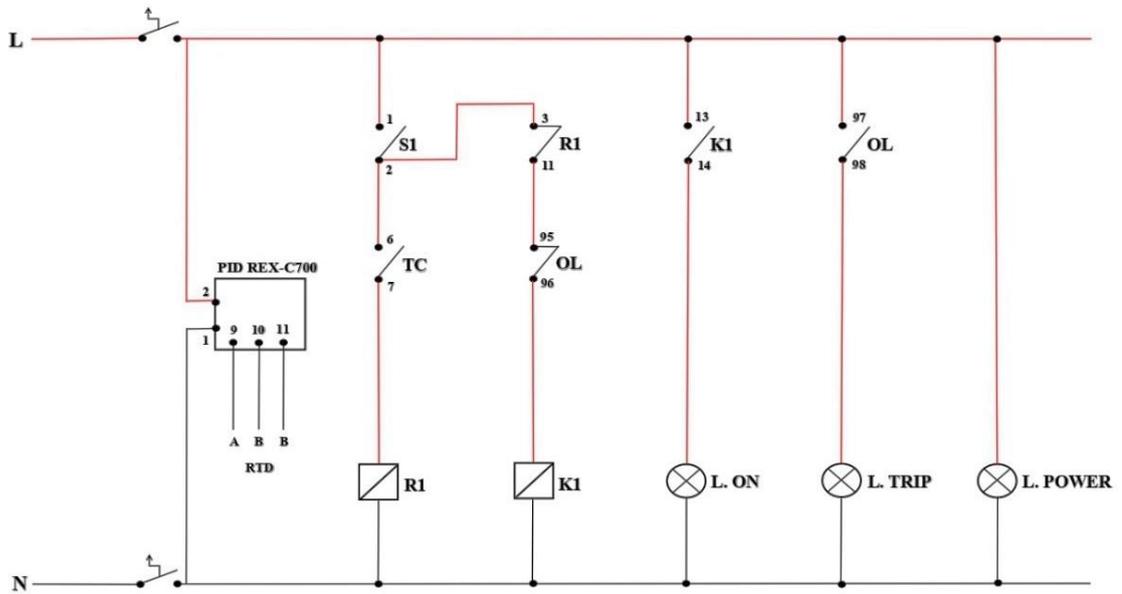
Dari gambar diatas dapat dilihat berupa dimensi box panel yang akan digunakan pada analisa penelitian ini. Untuk ukuran box panel itu sendiri adalah 40 x 30 x 20 cm, kemudian terdapat 3 buah lampu indikator yang memiliki arti masing-masing. Untuk lampu indikator berwarna hijau adalah "*Heating On*", maksudnya adalah jika terjadi proses pemanasan bahan bakar pada *heater* itu sendiri maka lampu indikator "*heating on*" akan menyala.

Kemudian untuk lampu indikator berwarna biru adalah "*Power*", maksudnya adalah jika tegangan sumber sudah masuk kedalam *control* panel maka lampu indikator "*Power*" akan menyala. Dan yang terakhir untuk lampu indikator berwarna merah adalah "*Trip*", maksudnya adalah jika *thermal overload relay* mendeteksi terjadinya beban lebih atau hubung singkat maka lampu indikator "*Trip*" akan menyala.

Pada box panel juga terdapat *temperature controller* yang berfungsi untuk mengontrol suhu pada bahan bakar yang dipanaskan, serta *crew* kapal dapat juga memantau secara langsung dari box panel untuk melihat suhu temperatur pada bahan bakar yang sedang dipanaskan. Kemudian terdapat *emergency push button* yang berfungsi untuk jika panel kontrol mengalami masalah seperti *short circuit* atau hal lain maka *crew* kapal segera bisa menekan tombol *emergency stop* sebagai *safety* pada panel kontrol. Dan terakhir *switch* yang berfungsi sebagai *on/off* pada panel *control*.

4.1.2 Wiring Diagram Rangkaian

Berikut adalah wiring diagram rangkaian keseluruhan pada penelitian ini, yang dimana wiring diagram ini di desain menggunakan software Microsoft Visio. Berikut adalah tampilannya :



Ket : K1 = Kontaktor
 R1 = Relay
 OL = Overload Relay
 TC = Temperature Control

Gambar 4. 2 Wiring Diagram Rangkaian Sistem

Dari gambar diatas dapat dilihat berupa wiring diagram rangkaian sistem pada penelitian ini. Untuk tegangan kerja pada rangkaian diatas adalah 220/230 VAC, kontaktor 1 berfungsi sebagai pemutus dan penghubung pada beban yaitu elemen *heater*. *Relay 1* berfungsi untuk pemutus dan penghubung pada kontaktor 1 yang dikendalikan oleh kontak *normally open* (NO) pada *temperature controller*. Untuk *overload relay* digunakan sebagai *safety* pada beban jika terjadi beban lebih atau hubung singkat. Dan *temperature controller* berfungsi untuk mengontrol beban yang diterima dari suhu temperatur yang dibaca oleh sensor RTD PT100 pada bahan bakar.

4.2 Hasil *Settingan Parameter Temperature Controller*

Untuk hasil *settingan* parameter pada *temperature controller* tipe PID REX-C700 yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 *Settingan Parameter Temperature Controller*

No	Simbol	Nama	Keterangan	Nilai Yang Ditetapkan
1	CT	Current transformer (CT) input value monitor	Nilai alarm diatur dengan mengacu pada nilai input dari current transformer (CT).	-
2	AL1	Alarm 1 set value (ALM1)	Atur nilai alarm 1 set dan nilai alarm 2 set.	Masukan TC/RTD: 50 (50,0)
3	AL2	Alarm 2 set value (ALM2)	Input tegangan/arus: 0,2% rentang input.	Tegangan / arus masukan: 5.0 A
4	HBA	Heater break alarm (HBA) set value	Nilai alarm diatur dengan mengacu pada nilai input dari current transformer (CT).	0.0
5	LBA	Control loop break alarm (LBA)	Setel nilai setel kontrol loop break alarm (LBA).	8.0
6	Lbd	LBA deadband	Setel area yang tidak mengeluarkan LBA. Tidak ada fungsi deadband LBA dengan 0 set.	0

7	<i>ATU</i>	Autotuning (AT)	Mengaktifkan/menonaktifkan penalaan otomatis.	0
8	<i>P</i>	Proportional band	Atur kapan kontrol PI, PD, atau PID dijalankan.	Masukan TC/RTD: 30 (30,0)
9	<i>I</i>	Integral time	Tetapkan waktu tindakan integral terhadap offset yang terjadi dalam kontrol proporsional.	240
10	<i>D</i>	Derivative time	Tetapkan waktu tindakan turunan untuk meningkatkan stabilitas kontrol dengan menyiapkan perubahan keluaran.	60
11	<i>AR</i>	Anti-reset windup (ARW)	Overshooting dan undershooting dibatasi oleh efek integral.	100
12	<i>F</i>	Heat side proportioning cycle	Atur siklus output kontrol.	Output kontak relai: 20 Output pulsa tegangan: 2
13	<i>Pc</i>	Cool-side proportional band	Setel pita proporsional sisi dingin saat Panas/Dinginkan PID.	100
14	<i>db</i>	Deadband	Tetapkan deadband aksi kontrol antara pita proporsional sisi panas dan sisi dingin.	0 atau 0,0
15	<i>t</i>	Cool sideproportioning cycle	Atur siklus keluaran sisi dingin kontrol untuk tindakan Panas/Dingin PID.	Output kontak relai: 20 Output pulsa tegangan: 2
16	<i>LCK</i>	Set data lock (LCK)	Melakukan pengaktifan/penonaktifan perubahan data yang ditetapkan.	0100

Tabel diatas merupakan menu settingan konfigurasi dari perangkat *temperature controller* yang dapat dilakukan. Semua settingan dilakukan sesuai kebutuhan untuk dapat bekerja secara maksimal.

4.2.1 Pengujian Sistem *Temperature Controller*

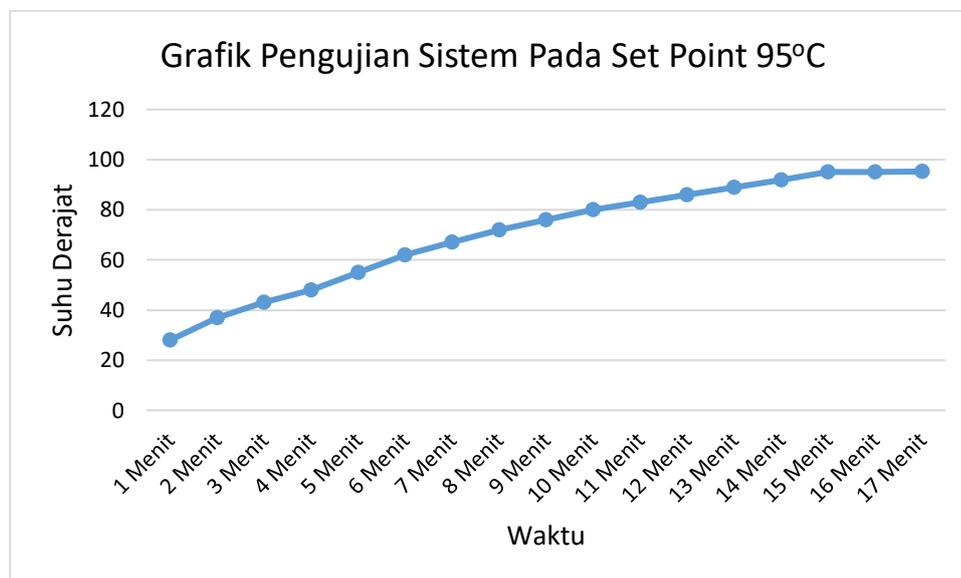
Pada pengujian sistem ini dilakukan dengan cara memberikan sinyal *input* yang berupa Proses *Variable* (PV) yaitu temperatur yang berasal dari *heater*. Pengujian sistem menggunakan *set point* yang telah ditentukan untuk mengetahui lama waktu proses pemanasan pada bahan bakar HFO. Berikut adalah pengujian sistem pada unit pemanasan dengan pengukuran perubahan temperatur yang terjadi dimulai dari temperatur ruangan sampai menuju *set point* sebesar 95°C.

Tabel 4. 2 Pengukuran Temperature Pada Set Point 95 °C

No.	Set Point	Suhu Derajat	Waktu
1	95°C	28°C	1 Menit
2	95°C	37°C	2 Menit
3	95°C	43°C	3 Menit
4	95°C	48°C	4 Menit
5	95°C	55°C	5 Menit
6	95°C	62°C	6 Menit
7	95°C	67°C	7 Menit
8	95°C	72°C	8 Menit
9	95°C	76°C	9 Menit
10	95°C	80°C	10 Menit
11	95°C	83°C	11 Menit
12	95°C	86°C	12 Menit
13	95°C	89°C	13 Menit
14	95°C	92°C	14 Menit
15	95°C	95°C	15 Menit
16	95°C	95,2°C	16 Menit
17	95°C	95,3°C	17 Menit

Dari tabel diatas telah dilakukan pengujian pada *plant* tangki bahan bakar dengan memberikan *set point* temperatur yang telah ditentukan yaitu 95°C. Dengan cara mengukur perubahan temperatur yang terdapat pada tangki bahan bakar

dengan menggunakan sensor RTD PT100 sebagai pendeteksi temperatur dalam cairan tangki bahan bakar HFO yang telah menghasilkan waktu kurang lebih 15 menit. Dengan begitu akan mudah untuk mengatur *heater*. Apabila temperatur berada pada keadaan $>95^{\circ}\text{C}$ akan menghentikan *heater* dan jika temperatur $<95^{\circ}\text{C}$ akan menyalakan *heater* kembali. Proses pengendalian temperatur pada tangki bahan bakar berlangsung selama 17 menit sehingga temperatur harus berada dalam *set point* dikarenakan meminimalisir sisa-sisa kontaminan yang masih terkandung dalam bahan bakar, kemudian akan masuk kedalam proses selanjutnya yaitu proses separasi.



Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Sistem Pada Set Point 95°C

Pada grafik diatas adalah presentase dari pengujian sistem pada set point 95°C, pengujian dilakukan dalam rentang waktu 17 menit untuk mencapai set point 95°C. Dan dapat diketahui data ESS (*Error Steady State*) yaitu ($output - set\ point$) sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Data ESS (Error Steady State) Dengan Set Point 95°C

Data Ke-	Set Point	Suhu Derajat	ESS (Error Steady State)
15	95°C	95°C	0
16	95°C	95,2°C	0.2
17	95°C	95,3°C	0.3
Rata-rata ESS (Error Steady State)			0,167

Pada tabel di atas didapatkan bahwa rata-rata ESS (*Error Steady State*) pada pembacaan *set point* dengan rumus $ESS = p_v - s_v$ dengan hasil rata-rata yaitu 0,167. Untuk data pertama diambil pada waktu menit ke-15 dengan suhu 95°C. Untuk data ke dua diambil pada waktu menit ke-16 dengan suhu 95,2°C. Dan yang terakhir untuk data ke tiga diambil pada waktu menit ke-17 dengan suhu 95,3°C.

4.3 Hasil Pengujian Sensor RTD PT100

Pengujian pada sensor RTD PT100 ini dilakukan dengan memanaskan sensor RTD PT100 dengan menggunakan *heater* untuk melihat perbandingan suhu temperatur disetiap menitnya, hingga mencapai suhu yang diinginkan untuk proses pemanasan pada bahan bakar HFO. Data ini diambil ketika suhu temperatur pada sensor RTD PT100 naik berapa derajat celcius disetiap 1 menit sekali, lalu dicatat juga penurunan suhu pada sensor RTD PT100 agar dapat melihat berapa akurat sensor yang akan di gunakan pada penelitian ini sehingga nantinya pada saat pembacaan temperatur pada tangki bahan bakar tidak jauh dari pada suhu sebenarnya. Berikut adalah hasil dari pada hasil pengujian validasi sensor RTD PT100 yang akan di gunakan :

4.3.1 Pengambilan Data Proses Pemanasan Heater

Pada pengambilan data ini terdapat 3 perbandingan data yaitu temperatur dengan waktu , temperatur dengan arus dan temperatur pada saat *steady state*. Oleh karena itu pengujian pada kali ini membandingkan ke dua data tersebut. Berikut adalah hasil data pengujian :

4.3.2 Hasil Data Temperatur Terhadap Waktu

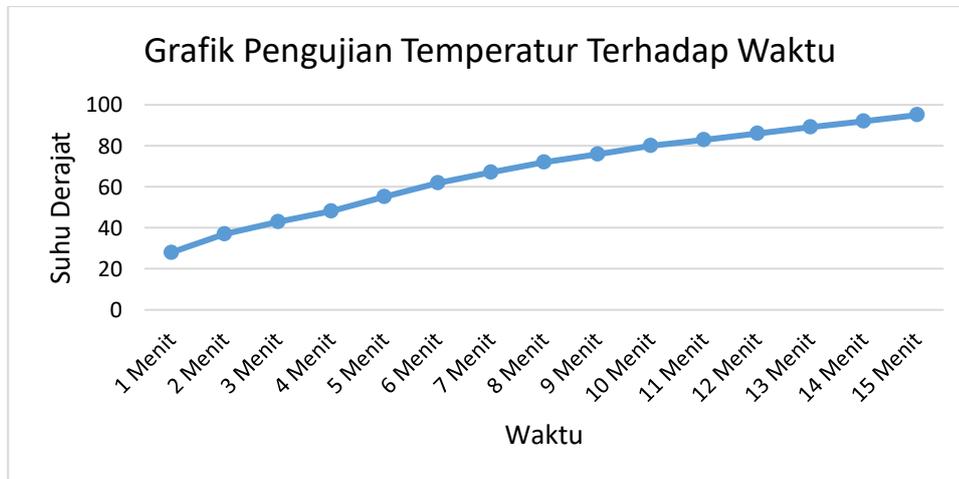
Berikut adalah hasil data yang diambil temperatur terhadap waktu pada sensor RTD PT100 :

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Temperatur Terhadap Waktu

No.	Waktu	Suhu Derajat	Resistance
1	1 Menit	28°C	110,89 Ω
2	2 Menit	37°C	114,38 Ω
3	3 Menit	43°C	116,69 Ω
4	4 Menit	48°C	118,62 Ω
5	5 Menit	55°C	121,32 Ω

6	6 Menit	62°C	124,00 Ω
7	7 Menit	67°C	125,92 Ω
8	8 Menit	72°C	127,84 Ω
9	9 Menit	76°C	129,37 Ω
10	10 Menit	80°C	130,89 Ω
11	11 Menit	83°C	131,66 Ω
12	12 Menit	86°C	133,18 Ω
13	13 Menit	89°C	134,32 Ω
14	14 Menit	92°C	135,46 Ω
15	15 Menit	95°C	136,60 Ω

Data ini diambil dengan mengamati hasil pembacaan suhu temperatur pada sensor RTD PT100 menggunakan termometer *gun*, dan menghitung cepat waktu pemanasan sesuai dengan hasil yang diberikan oleh sensor RTD PT100. Kemudian diambil data kenaikan suhu setiap 1 menit sekali, lalu data tersebut diolah menggunakan microsoft excel untuk mendapatkan hasil di Tabel 4. 4. Agar lebih jelas kenaikan suhu tiap menitnya maka perlu di buat grafik dari tabel diatas, di dapatkan tabel pada berikut ini :



Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Temperatur Terhadap Waktu

Dari grafik diatas dapat dilihat kenaikan suhu setiap menitnya terlihat naik sehingga kenaikan temperatur linear terhadap waktu, akan semakin lama waktu pemanasan maka temperatur pada sensor akan semakin panas. Begitu juga sebaliknya ketika semakin sebentar waktu pemanasan maka semakin kecil temperatur yang dihasilkan oleh sensor.

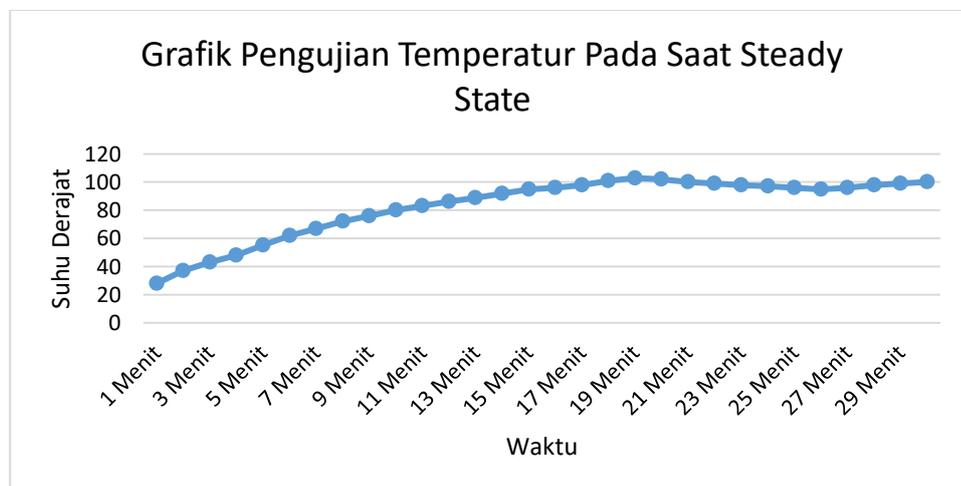
4.3.3 Hasil Data Temperatur Pada Saat *Steady State*

Berikut adalah hasil dari pengambilan data temperatur pada saat kondisi *steady state* dimana data tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Temperatur Pada Saat Steady State

No.	Waktu	Suhu Derajat	Resistance
1	1 Menit	28°C	110,89 Ω
2	2 Menit	37°C	114,38 Ω
3	3 Menit	43°C	116,69 Ω
4	4 Menit	48°C	118,62 Ω
5	5 Menit	55°C	121,32 Ω
6	6 Menit	62°C	124,00 Ω
7	7 Menit	67°C	125,92 Ω
8	8 Menit	72°C	127,84 Ω
9	9 Menit	76°C	129,37 Ω
10	10 Menit	80°C	130,89 Ω
11	11 Menit	83°C	131,66 Ω
12	12 Menit	86°C	133,18 Ω
13	13 Menit	89°C	134,32 Ω
14	14 Menit	92°C	135,46 Ω
15	15 Menit	95°C	136,60 Ω
16	16 Menit	96°C	136,98 Ω
17	17 Menit	98°C	137,74 Ω
18	18 Menit	101°C	138,88 Ω
19	19 Menit	103°C	139,64 Ω
20	20 Menit	102°C	139,26 Ω
21	21 Menit	100°C	138,50 Ω
22	22 Menit	99°C	138,12 Ω
23	23 Menit	98°C	137,74 Ω
24	24 Menit	97°C	137,36 Ω
25	25 Menit	96°C	136,98 Ω
26	26 Menit	95°C	136,60 Ω
27	27 Menit	96°C	136,98 Ω
28	28 Menit	98°C	137,74 Ω
29	29 Menit	99°C	138,12 Ω
30	30 Menit	100°C	138,50 Ω

Data ini diambil dengan cara memanaskan bahan bakar HFO pada tangki hingga sesuai dengan *set point* kemudian di lihat perubahan temperatur pada *temperature controller* dengan melihat berapa kenaikan suhu dalam 1 menit. Kemudian setelah suhu tepat pada *set point*, di amati kenaikan suhu pada saat kondisi *heater* mati. Jika dilihat dari data diatas memang kenaikan suhu setelah mencapai *set point* sangat jauh dari *set point* di karenakan kondisi *heater* pada saat bahan bakar HFO mencapai *set point* langsung mati tetapi memiliki sisa sisa energi panas yang masih tersimpan pada *heater* tersebut. Kemudian temperatur di amati sampai suhu kurang dari pada *set point* sehingga *heater* akan menyala lagi kemudian di amati lagi sampai suhu mencapai *set point* lagi. Pengambilan data di ulangi sampai 30 menit.

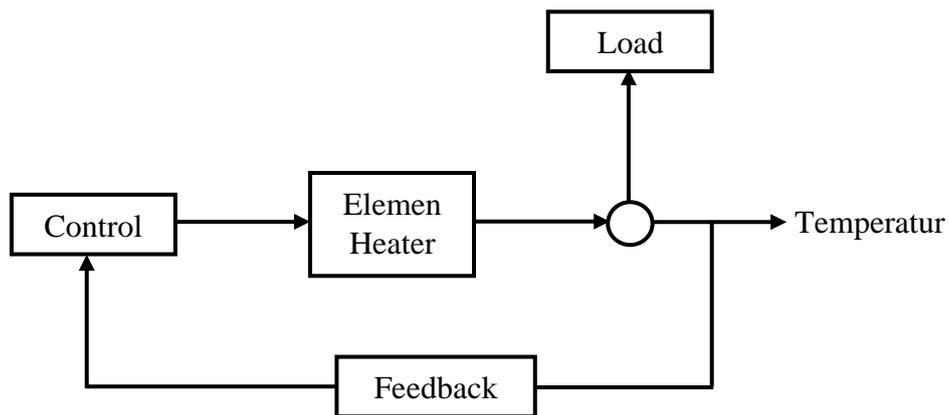


Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Temperatur Pada Saat *Steady State*

Dari grafik diatas dapat dilihat persentase kenaikan suhu setiap menitnya selama waktu 30 menit. Terlihat semakin naik suhu temperatur nya maka semakin naik juga resistansi yang dihasilkan oleh sensor RTD PT100, yang dimana resistansi yang dihasilkan oleh sensor RTD PT100 sesuai dengan pembacaan suhu temperatur yang sedang berlangsung.

4.4 Hasil Pengujian Elemen *Heater*

Pengujian pada elemen *heater* yang penulis lakukan yaitu berapa suhu temperatur yang telah ditentukan oleh *set point* dari elemen *heater* yang digunakan pada bahan bakar HFO, dan dalam waktu berapa menit elemen *heater* tersebut mencapai suhu *set point* nya. Dengan skema pengujian sebagai berikut :



Gambar 4. 6 Diagram Blok Pengujian

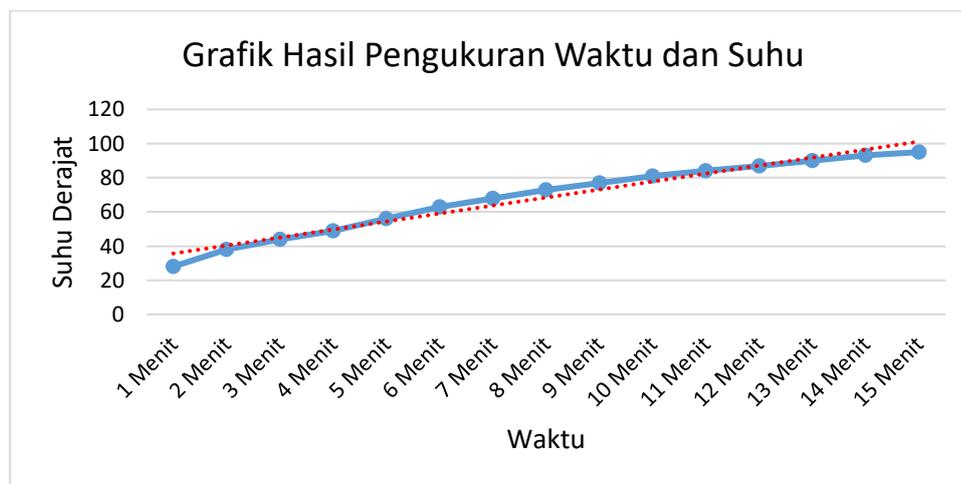
4.4.1 Pengamatan Hasil Pengukuran Waktu dan Suhu

Untuk mengetahui temperatur dari elemen *heater* jenis *immersion heater* ini, maka pengujian pada bahan bakar dilakukan pada suhu awal elemen *heater* pada saat dihidupkan adalah 28°C sampai batas suhu *set point* yaitu 95°C. Adapun hasil uji dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 6 Data Hasil Pengukuran Waktu dan Suhu

No.	Waktu	Suhu Derajat
1	1 Menit	28°C
2	2 Menit	38°C
3	3 Menit	44°C
4	4 Menit	49°C
5	5 Menit	56°C
6	6 Menit	63°C
7	7 Menit	67°C
8	8 Menit	71°C
9	9 Menit	77°C
10	10 Menit	88°C
11	11 Menit	84°C
12	12 Menit	87°C
13	13 Menit	90°C
14	14 Menit	93°C
15	15 Menit	95°C

Data ini diambil dengan mengamati hasil pembacaan suhu temperatur pada sensor RTD PT100 yang kemudian suhunya ditampilkan oleh *temperature controller*, dan menghitung cepat waktu pemanasan sesuai dengan hasil yang diberikan oleh sensor RTD PT100. Kemudian diambil data kenaikan suhu setiap 1 menit sekali, lalu data tersebut diolah menggunakan microsoft excel untuk mendapatkan hasil di Tabel 4. 6. Agar lebih jelas kenaikan suhu tiap menitnya maka perlu di buat grafik dari tabel diatas, di dapatkan tabel pada berikut ini :



Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengukuran Waktu dan Suhu

Dari grafik diatas dapat dilihat kenaikan suhu setiap menitnya terlihat naik sehingga kenaikan temperatur linear terhadap waktu, akan semakin lama waktu pemanasan pada elemen *heater* maka pembacaan suhu pada *temperature controller* akan semakin naik.

4.4.2 Perhitungan Resistansi Elemen *Heater*

Untuk mengetahui resistansi pada elemen *heater* yang dihasilkan pada saat pemanasan bahan bakar HFO yang digunakan dalam penelitian ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{V^2}{P} \dots\dots\dots(4.1)$$

Ket : R = Resistansi pada *heater* (Ω).

V = Tegangan listrik (V).

P = Daya pada *heater* (W).

Maka dari itu resistansi pada elemen *heater* yang dihasilkan pada saat pemanasan bahan bakar HFO, dengan tegangan nominal pada elemen *heater* adalah AC 220 *volt* dan daya yang dibutuhkan oleh elemen *heater* adalah 2000 *watt*, berikut penyelesaiannya :

$$\text{Dik : } V = 220 \text{ volt}$$

$$W = 2000 \text{ watt}$$

$$\text{Dit : } P \dots \dots \dots ?$$

Penyelesaian =

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{220^2}{2000}$$

$$R = \frac{48400}{2000}$$

$$R = 24,2 \Omega$$

Sehingga resistansi yang dihasilkan oleh elemen *heater* pada saat pemanasan bahan bakar HFO adalah = 24,2 Ω .

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari semua pembahasan yang telah penulis lakukan mengenai “Sistem *Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil (HFO) Main Engine* Pada Kapal *Tanker*”, maka sebagai bagian akhir dari laporan tugas akhir ini penulis memberikan beberapa simpulan yang diambil dari hasil penelitian dan pembahasan masalah sebagai berikut :

- a. Rata-rata hasil data ESS (*Error Steady State*) yang dihasilkan dari antara perbandingan *temperature controller* dengan menggunakan termometer *gun* adalah 0,167.
- b. Waktu yang diperlukan pada saat proses pemanasan dari suhu temperatur awal untuk mencapai suhu temperatur *set point* adalah 15 menit.
- c. Resistansi yang dihasilkan oleh elemen *heater* pada saat pemanasan bahan bakar HFO adalah = 24,2 Ω .

5.2 Saran

Berdasarkan dari uraian pada pembahasan mengenai “Sistem *Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil (HFO) Main Engine* Pada Kapal *Tanker*”, maka peneliti akan memberikan saran-saran yang muncul berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan selama berada di lingkungan kerja, dengan saran-saran sebagai berikut :

- a. Dari pihak kapal harus selektif dalam menganalisa spesifikasi dari HFO, baik dari segi spesifikasi HFO yang di berikan atau berdasarkan sampel HFO yang diberikan oleh pihak *supplier* sebelum proses *bunkering* berlangsung.
- b. Pengaturan suhu *set point* pada *temperature controller*, sesuai dengan manual *book* dan monitoring yang dilakukan berkala dalam pelaksanaan HFO *treatment*.
- c. Perlu diadakannya penelitian lanjutan tentang pengembangan sistem dengan model yang lain sebagai tambahan sarana pembelajaran dan sistem pembaharuan pada kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Agiantoro, G. T., & Prasetyo, M. T. (2018). *"Analisa Sistem Pengaman Dan Kemampuan Hantar Arus Motor Pada Mesin Otomatis Pengereng Gabah 1,2"*. 2016, 44–52.
- Akbar, G. L. (2021). *"Rancang Bangun Alat Wiring Diagram Thrust Reverse Engine System Boeing 737-200 Sebagai Media"*. 5(2), 42–49.
- Alexander, D., & Turang, O. (2015). *"Pengembangan Sisrem Relay Pengendalian Dan Penghematan Pemakaian Lampu"*. Seminar Nasional Informatika, 2015(November), 75–85.
- Annamneedi, M. and J. (2016). *"Desain Dan Analisis Blok Mesin Empat Silinder Dengan Menggunakan Analisis Elemen Hingga"*. International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research., Volume 3, Hal 443.
- Anonim. (2012). *"Rex-C100/C400/C410/C700/C900 Instruction Manual"*. 1–8.
- Ayuningdyah, N., Mandayatma, E., & Herwandi, H. (2021). *"Peningkatan Akurasi Pembacaan Sensor RTD 3 Kabel Dengan Mempertimbangkan Resistansi Kabel Penghantar"*. Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri, 5(3), 18. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v5i3.142>
- BSM QHSE MANUALS and BSM form TEC/TOM*. (2009). Bernhard Schulte Management.
- Burgess, Peter, and Gollan, D. (2000). *"How To Build, Modify And Power Tune Cylinder Head"*. Veloce Publishing PLC.
- Contactors, M., & Starters, M. (n.d.). *"Mitsubishi ' s Magnetic Contactors And Magnetic Starters Continue To Push The Boundaries"*. 1309, 2–7.
- Electric, M. (2005). *"MS-N Contactors"*.
- Element, T., Sheath, T., Assembly, T., Resistance, N., Range, T., Resistance, I., Heating, S., & Length, I. (1996). *RTD SENSOR*.

- Evalina, N., Pasaribu, F. I., H, A. A., & Sary, A. (2022). *"Penggunaan Arduino Uno Untuk Mengatur Temperatur Pada Oven"*. RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro, 4(2), 122–128.
- Fathnin, N., Alhilman, J., & Atmaji, F. T. D. (2018). *"Jadwal Inspeksi Pada Storage Tank Menggunakan Metode Risk-Based Inspection Pada PT . Xyz"*. Journal Industrial Servicess, 4(1), 77–83.
- Ginting, K. K. B., Sarungu, S., & Sanjaya, A. S. (2018). *"Optimasi Pembuatan Marine Diesel Oil (MDO) Untuk Meningkatkan Profit Kilang Pertamina RU V Balikpapan"*. Jurnal Chemurgy, 1(2), 22.
- Hadi, E. S., & Budiarto, U. (2008). *"Analisa Keandalan Sistem Bahan Bakar Motor Induk Pada KM. Leuser"*. Kapal, 5(3), 123–135.
- Hanafi, G. (2006). *"Pengertian Mesin Diesel"*.
- Hetharia, M. (2012). *"Analisa Pengaruh Kapasitas Udara Untuk Campuran Bahan Bakar Terhadap Prestasi Mesin Diesel"*. Arika, 06(1).
- Indrihastuti, N., Prayoga, A., & ... (2021). *"Perancangan Kendali 2 Kontaktor Bekerja Berurutan Secara Otomatis Berbasis PLC CPM1A 40CDR_A"*. Cahaya Bagaskara: Jurnal ..., 6(2), 15–22.
- Maanen, P. V. (1997). *"Motor Diesel Kapal Jilid 1 Nautech"*. PT. Triasko Madra.
- Marsudi, S., & Palippui, H. (2020). *"Analisis Perawatan Purifier Pada Sistem Bahan Bakar Main Engine Kapal"*. SENSITEK : Seminar Sains Dan Teknologi Kelautan, November, 43–48.
- Meriadi, M., Meliala, S., & Muhammad, M. (2018). *"Perencanaan Dan Pembuatan Alat Pengering Biji Coklat Dengan Wadah Putar Menggunakan Pemanas Listrik"*. Jurnal Energi Elektrik, 7(2), 47.
- Miller, C., Montgomery, D., Black, M., & Schnetler, H. (2016). *"Thermal Expansion As a Precision Actuator"*. Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation II, 9912, 991269. <https://doi.org/10.1117/12.2231392>

- Mohammad Atsar Rizky Almeyda. (2022). *"Desain Produk Pot Tanaman Hias Indoor Dengan Teknologi Temperature Controller Dan Penyiram Otomatis Studi Kasus: Perumahan Sarifa Stone Resort Sidoarjo"*. Universitas Dinamika, 8.5.2017, 1–62.
- Muksin, S. (2014). *"Kajian Pemakaian Bahan Bakar Pada Motor Diesel Generator MAK di PLTD Gunung Patti Semarang Jawa Tengah"*. Jurnal Teknologi, Volume 11.
- Nasution, S., & Razali. (2019). *"Analisa Kegagalan Cylinder Head Mesin Diesel Komatsu Dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Di Megapower PLTD Bengkalis"*. Seminar Nasional Industri Dan Teknologi (SNIT), 2012, 236–262.
- Pasaribu, F. I., Hasibuan, A. K., Evalina, N., & Nasution, E. S. (2022). *"Analisa Penggunaan Surya Panel Phollycrystal 240 WP Sebagai Kinerja Destilator Air Laut"*. RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro, 4(2), 90–99. <https://doi.org/10.30596/rele.v4i2.9530>
- Poeswanto, H., & Yani, A. (2015). *"Perencanaan Pemanfaatan Marine Fuel Oil (MFO) Sebagai Bahan Bakar Engine Diesel MaK"*. Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 4(1). <https://doi.org/10.24127/trb.v4i1.7>
- Pradiftha, A., & Elektro, J. T. (2019). *"Identifikasi Gas Terlarut Minyak Transformator Dengan Menggunakan Logika Fuzzy Menggunakan Metode TDCG Untuk Menentukan Kondisi Transformator 150 KV"*. 1(1), 11–15.
- Pradika, H., & Moediyono, M. (2015). *"Thermal Overload Relay Sebagai Pengaman Overload Pada Miniatur Gardu Induk Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Cp1E-E40Dr-a"*. Gema Teknologi, 17(2), 80–85. <https://doi.org/10.14710/gt.v17i2.8922>
- Pranoto, A., & Hidayat, T. (2017). *"Rancang Bangun Alat Penghemat Bahan Bakar Preheater Water System (PWS) Untuk Bahan Bakar Bio Solar"*. Jurnal Teknologi, 10, 99–107.

- Putri, H. A., Budi, E. S., & Dewatama, D. (2021). *"Aplikasi PID Controller Pada Pengaturan Suhu Boiler Dengan Menggunakan PLC Dan HMI"*. Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri, 7(1), 85.
- R, Suresh, D. (2015). *"Analisis Termomekanis Blok Mesin Dari Mesin Pembakaran Dalam"*. International Journal For Technological Research In Engineering., Volume 2, Hal 2698.
- Rasmini, N. W. (2017). *"Panel Automatic Transfer Switch (ATS)–Automatic Main Failure (AMF) Di Perumahan Direksi BTDC"*. LOGIC Jurnal Rancang Bangun Dan Teknologi, 13(1), 16–22.
- Rasmini, N. W., Ta, I. K., Mudiana, I. N., & Parti, I. K. (2019). *"Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (ATS) PLN - Genset 3 Fasa 10 kVA"*. Matrix : Jurnal Manajemen Teknologi Dan Informatika, 9(2), 41–46. <https://doi.org/10.31940/matrix.v9i2.1344>
- Rumimper, R., Sompie, S., & Mamahit, D. (2016). *"Rancang Bangun Alat Pengontrol Lampu Dengan Bluetooth Berbasis Android"*. Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer, 5(3), 24–33.
- Saleh, M., & Haryanti, M. (2017). *"Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Relay"*. Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana, 8(2), 87–94.
- Salsabila, GR., H. (2019). *"Proses Treatment Marine Fuel Oil (MFO) Sebagai Bahan Bakar Pada Mesin Diesel"*. Jurnal Kompetensi Teknik, 11(1), 30–35.
- Sari, D. P., Rasyad, S., Amperawan, A., & Muslimin, S. (2018). *"Kendali Suhu Air Dengan Sensor Termokopel Tipe-K Pada Simulator Sistem Pengisian Botol Otomatis"*. Jurnal Ampere, 3(2), 128.
- Shipping, A. B. of. (2001). *"Notes On Heavy Fuel Oil"*. In The American Bureau of Shipping Regulation of Residual Fuel oil.
- Suroso. (2016). *"Sistem Kontrol Buka Tutup Valve Pada Proses Pemanasan Air Jacket"*. II–1. <http://repository.uma.ac.id/handle/123456789/13941>

- Suryani. (2020). "*Sistem Pengontrolan Mi3F Dengan Tiga Kecepatan Berbasis PLC*". Vertex Elektro, 12(01), 37–47.
- Susanto, E. (2013). "*Automatic Transfer Switch (Suatu Tinjauan)*". Jurnal Teknik Elektro Unnes, 5(1), 3–6.
- Syawani, A. (2016). "*Rancang Bangun Pembangkit Energi Listrik Menggunakan Roda Gila (Flywheel) (Aplikasi Pada Boat Listrik)*". page=26.
- Tadeus, D. Y., & Setiono, I. (2018). "*Deskripsi Teknis Pengendali Temperatur Industri Sebagai Bagian Dari Sistem Regulasi Temperatur*". Gema Teknologi, 20(1), 1. <https://doi.org/10.14710/gt.v20i1.21075>
- Trisanto Prasetya, Sarifuddin, & Budi Joko Raharjo. (2018). "*Keausan Crank Pin Journal Crankshaft Pada Diesel Engine Generator Di. MV. Kartini Baruna*". Dinamika Bahari, 9(1), 2126–2136. <https://doi.org/10.46484/db.v9i1.81>
- Tukananto, A., Junaidi, & Hardiansyah. (2015). "*Rancang Bangun Sistem Proteksi Arus Lebih Motor 3 Fasa Dengan Timer*". 1–7.
- Usman, & Busairi, A. (2020). "*Uji Temperatur Elemen Pemanas Jenis Coil Terhadap Pembengkakan Termoplastik*". Jurnal Ristech (Jurnal Riset, Sains Dan Teknologi), 2(2), 16–23.
- Usman, R. (2016). "*Analisis Kegagalan Katup Buang Pada Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)*". STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi), 1(1), 97–106. <https://doi.org/10.30998/string.v1i1.974>
- Vermiere, M. B. (2021). "*Everything You Need To Know About Marine Fuels*". Chevron Product Engineering Department, 26.
- Yosua, P., Santoso, D. B., & Stefanie, A. (2020). "*Rancang Bangun Automatic Washing And Drying System Untuk Mesin Pencuci Cylinder Block Motor*". Rancang Bangun Automatic Washing and Drying System Untuk Mesin Pencuci Cylinder Block Motor, 6(3), 295–307.
- Yuswidjajanto, Y. (2021). "*Mengenal Tahapan Dan Prinsip Kerja Mesin Diesel*".

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama : Mhd Ali Indra Syahputra
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/27 September 2001
Jenis kelamin : Laki-Laki
Umur : 23 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tinggi Badan / Berat Badan : 170cm/60 kg
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : JL.Jala Permai 2 No.5 Blok 8
No Hp : 0812-8324-0166
Email : aliindra345@gmail.com

Data Orang Tua

Nama Ayah : Jafar Sijak
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Nama Ibu : Sri Mardiana
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : JL.Jala Permai 2 No.5 Blok 8

Latar Belakang Pendidikan

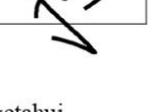
SDN 066657 Medan : Tahun 2007 - 2013
SMPN 45 Medan : Tahun 2013 - 2016
SMK TR Sinar Husni : Tahun 2016 - 2019
Mahasiswa Prodi Teknik : Tahun 2020 - 2024
Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammdiyah
Sumatera Utara



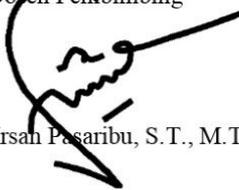
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Mhd Ali Indra Syahputra
NPM : 2007220015
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : “Sistem *Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil* (HFO) *Main Engine* Pada Kapal Tanker”

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	05/9/2023	Revisi BAB 1 Pendahuluan (Latar belakang penelitian sebelumnya)	
2	15/09/2023	Revisi ruang lingkup penelitian. Masukan penggunaan sensor RTD	
3	25/09/2023	Masukan jenis RTD yang lain di BAB 2	
4	05/10/2023	Metodologi penelitian fokus ke proses analisa sistem automatic temperature control	
5	15/10/2023	Wiring diagram ringkas masukan di BAB 3	
6	20/10/2023	Perbaiki flowchart dan tambahan sitasi mengenai suhu temperatur	
7	10/11/2023	ACC Sempro	

Mengetahui
Dosen Pembimbing

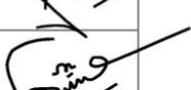
Faisal Irsah Pasaribu, S.T., M.T.,




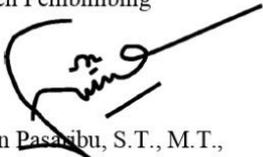
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Mhd Ali Indra Syahputra
NPM : 2007220015
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : “Sistem *Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil (HFO) Main Engine* Pada Kapal Tanker”

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	03/06/2024	Revisi abstrak (masukan Latar belakang, tujuan penelitian, metode, dan hasil kesimpulan)	
2	10/06/2024	Revisi kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, dan daftar tabel nomor halaman dibawah tengah	
3	24/06/2024	Revisi BAB 4 (masukan perancangan sistem kontrol sesuai dengan ruang lingkup)	
4	01/07/2024	Masukan penjelasan minimal 1 paragraf pada gambar, tabel dan grafik di BAB 4	
5	08/07/2024	Masukan jurnal dari tulisan selaku pembimbing sesuai dengan penelitian yang terkait	
6	13/07/2024	ACC Semhas	

Mengetahui
Dosen Pembimbing


Faisal Irsan Pasabibu, S.T., M.T.,



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Mhd Ali Indra Syahputra
NPM : 2007220015
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : “Sistem *Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil* (HFO) *Main Engine* Pada Kapal Tanker”

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	05/08/2024	Revisi daftar pustaka (tambahkan jurnal skopus terkait pembahasan pada penelitian)	
2	06/08/2024	Revisi BAB 4 (masukan keterangan pada gambar)	
6	07/08/2024	ACC Sidang	

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.,

Sistem *Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil* (HFO) *Main Engine* Pada Kapal *Tanker*

Mhd Ali Indra Syahputra¹, Faisal Irsan Pasaribu²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 03 Medan Telp. (061) 6622400 ex. 12 Kode pos 20238

e-mail: aliindra345@gmail.com¹, faisalirsan@umsu.ac.id²

Abstrak— Bahan bakar merupakan komponen yang sangat penting bagi suatu transportasi. Salah satunya adalah operasional kapal yang menggunakan bahan bakar (*fuel oil*). Kapal laut salah satu transportasi air yang memiliki banyak kegunaan bagi kehidupan manusia, salah satunya sebagai kendaraan buat manusia maupun sebagai alat transportasi untuk mengantar barang. Oleh karena itu kapal laut bisa berjalan menggunakan mesin induk (*main engine*) yang disuplai menggunakan bahan bakar (*fuel oil*) dengan fungsi sebagai tenaga penggerak mesin induk tersebut. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk tetap menjaga kriteria operasi bahan bakar agar sesuai yang dibutuhkan oleh mesin induk (*main engine*). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif, karena penulis akan mengkaji makna pada sistem ini termasuk interaksi secara langsung terhadap mereka yang memahami secara lebih komperhensif. Hasil atau kesimpulan dari sistem yang dibuat oleh penulis adalah untuk menjaga temperature pada bahan bakar agar tetap sesuai dengan settingan *viscosity*/kekentalan bahan bakar yang diinginkan secara otomatis. Sistem ini menggunakan pemanas/*heater* dan sensor suhu pada tangki penyimpanan bahan bakar untuk disalurkan ke mesin induk. Dan sistem ini juga dapat dioperasikan baik saat kapal dalam keadaan *idle* maupun dalam kondisi berlayar.

Kata kunci : Bahan bakar, Pengatur Suhu, Sensor Suhu, Mesin Induk.

Abstract— *Fuel is a very important component for transportation. One of them is ship operations that use fuel (fuel oil). Ships are a type of water transportation that has many uses for human life, one of which is as a vehicle for humans or as a means of transportation to deliver goods. Therefore, ships can run using a main engine which is supplied using fuel (fuel oil) which functions as a driving force for the main engine. The aim of this final assignment is to maintain the fuel operating criteria to match those required by the main engine. The method used in this research is a qualitative method, because the author will examine the meaning of this system, including direct interactions with those who understand it more comprehensively. The result or conclusion of the system created by the author is to maintain the fuel temperature so that it remains in accordance with the desired fuel viscosity setting automatically. This system uses a heater and temperature sensor in the fuel storage tank to be distributed to the main engine. And this system can also be operated both when the ship is idle and in sailing conditions.*

Keywords : *Fuel oil, Temperature Control, Main Engine.*

I. PENDAHULUAN

Mesin *diesel* merupakan sistem penggerak utama yang banyak digunakan sebagai alat transportasi baik itu di darat, laut, maupun udara. Selain sebagai alat transportasi, mesin *diesel* berkembang pula sebagai angkutan berat maupun pembangkit listrik. Mesin *diesel* memiliki peran yang sangat penting sebagai penggerak utama di atas kapal. Dimana mesin *diesel* tersebut ditujukan untuk kelancaran operasional pelayaran, yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga pendorong bagi *propeller* kapal. Salah satu yang paling penting dalam mesin *diesel* ini adalah sistem pada bahan bakarnya. Transfer bahan bakar kapal dan sistem pemisahan adalah serangkaian proses bahan bakar sebelum digunakan pada mesin *diesel*. Sistem ini direkomendasikan untuk kapal *tanker* dan kapal jenis lainnya.

Penelitian sebelumnya hanya membahas teori perhitungan, sehingga timbul ide peneliti untuk membahas sistem pengelolaan bahan bakar secara otomatis. Sistem pengatur suhu pada bahan bakar untuk mesin *diesel* inilah yang nantinya akan digunakan sebagai pemanasan pada bahan bakar untuk menjaga kekentalan/*viscosity* yang diinginkan. Jika tidak menjaga kekentalan pada bahan bakar, maka berdampak buruk pada sifat bahan bakar itu sendiri, sehingga akan mempengaruhi kinerja dan daya tahan pada mesin *diesel*. Untuk menjaga performa pada mesin *diesel* agar tetap baik maka dari itu perlu perhatian khusus kualitas bahan bakar yang digunakan dalam pengoperasian mesin *diesel* tersebut. Jenis bahan bakar yang akan digunakan adalah HFO (*Heavy Fuel Oil*).

Bahan bakar *Heavy Fuel Oil* (HFO) adalah bahan

bakar hasil dari pengolahan minyak bumi dari campuran residu (bahan bakar sisa) yang kemudian terdapat kandungan material yang tidak dibutuhkan dalam proses pembakaran untuk mesin *diesel*. Bahan bakar HFO memiliki viskositas (kekentalan) yang tinggi dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya, viskositas yang diinginkan pada suhu tertentu, tetapi pada umumnya pada acuan dengan suhu temperatur 95°C, sehingga dalam pengolahan bahan bakar HFO harus benar-benar diperhatikan [1].

Berdasarkan pada penjelasan sebelumnya sistem otomatis pengatur suhu pada bahan bakar untuk mesin *diesel* nantinya akan dilakukan dengan sistem otomatis, yang mana akan ada sebuah elemen pemanas/*heater* yang akan dimasukkan ke dalam tangki penyimpanan bahan bakar sebelum disalurkan ke mesin *diesel*. Elemen pemanas/*heater* tersebutlah yang akan memanaskan bahan bakar untuk menjaga tingkat kekentalan pada bahan bakar sesuai yang diinginkan. Dilengkapi dengan sistem otomatis pengatur suhu sehingga tidak perlu khawatir jika suhu yang dihasilkan oleh elemen pemanas terus meningkat, karena secara otomatis elemen pemanas akan berhenti meningkatkan suhu, sehingga bisa menjaga suhu temperatur sesuai yang diinginkan.

II. STUDI PUSTAKA

A. Mesin Diesel

Mesin *diesel* merupakan jenis mesin dengan pembakaran dalam karena gas panas yang diperoleh dari proses pembakaran didalam mesin itu sendiri dilakukan dengan cara menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi dan dipakai untuk melakukan kerja mekanis, yaitu menjalankan mesin tersebut. Sehingga mesin pancar gas untuk pesawat terbang, sistem turbin gas untuk pembangkit listrik, mesin induk kapal, dan motor roket termasuk dalam golongan mesin *diesel* [2].

Mesin *diesel* memiliki efisiensi termal (energi panas) terbaik dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam maupun pembakaran luar lainnya, karena memiliki rasio siklus kompresi yang sangat tinggi. Mesin *diesel* kecepatan-rendah (seperti pada mesin kapal) dapat memiliki efisiensi termal lebih dari 50%. Kemudian mesin *diesel* dikembangkan dalam versi dua-tak dan empat-tak. Mesin ini awalnya digunakan sebagai pengganti mesin uap. Sejak tahun 1910-an, dan mesin ini mulai digunakan untuk kapal dan kapal selam, kemudian diikuti lokomotif, truk, pembangkit listrik, dan peralatan berat lainnya [3].



Gambar 1 Mesin Diesel

B. Heavy Fuel Oil (HFO)

Bahan bakar *Heavy Fuel Oil* (HFO) adalah bahan bakar hasil dari pengolahan minyak bumi dari campuran residu (bahan bakar sisa) yang kemudian terdapat kandungan material yang tidak dibutuhkan dalam proses pembakaran untuk mesin diesel. Bahan bakar HFO memiliki viskositas (kekentalan) yang tinggi dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya, viskositas yang diinginkan pada suhu tertentu, tetapi pada umumnya pada acuan dengan suhu temperatur 95°C, sehingga dalam pengolahan bahan bakar HFO harus benar-benar diperhatikan. Pada bahan bakar HFO terdapat campuran dari kandungan air, pasir, lumpur, dan lain-lain, sehingga dibuat dengan cara mencampur antara residu dengan produk lain (*blending*) [1].



Gambar 2 Heavy Fuel Oil (HFO)

C. Temperature Controller

Temperature controller adalah salah satu komponen listrik yang dapat memutuskan dan menghubungkan arus listrik secara otomatis dengan cara mendeteksi suhu pada suatu media atau objek agar tetap terjaga pada suhu yang telah diatur, atau bias dikatakan bahwa *temperature controller* adalah suatu alat untuk mengatur suhu [4]. Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis menggunakan jenis *temperature controller* dengan tipe PID REX-C700 yang akan digunakan untuk mengendalikan suhu temperatur pada bahan bakar untuk menjaga tingkat viskositas (kekentalan)

dari bahan bakar tersebut sesuai suhu derajat yang akan diatur dalam penggunaannya [5].



Gambar 3 Temperature Control

D. Sensor RTD PT100

RTD adalah singkatan dari (*Resistance Temperature Detector*) merupakan sebuah sensor suhu yang pengukurannya menggunakan prinsip perubahan resistansi atau hambatan listrik logam yang dipengaruhi oleh perubahan suhu. PT100 adalah salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 yaitu golongan RTD (*Resistance Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karena itu namanya diawali dengan "PT". Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C [6].



Gambar 4 Sensor RTD PT100

E. Elemen Heater

Heater atau elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *joule heating*. *Heater* berfungsi sebagai penghasil kalor yang dalam kebutuhannya dapat disesuaikan. *Electrical heating element* (elemen pemanas listrik) banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, baik di dalam rumah tangga ataupun peralatan dan mesin pada industri. Bentuk ataupun tipe dari elemen *heater* ini bermacam-macam disesuaikan dengan fungsi, tempat pemasangan dan media yang akan dipanaskan. Elemen yang menerima aliran listrik melalui sumber listrik saat dihidupkan. Saat

dihubungkan ke sumber listrik dan dihidupkan dan elemen menghasilkan daya yang sesuai dari hasil panas [7].



Gambar 5 Elemen Heater

F. Miniature Circuit Breaker (MCB)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) adalah komponen dalam instalasi listrik yang mempunyai peran sangat penting. Komponen ini berfungsi sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik (*short circuit* atau korsleting) [8].

Kegagalan fungsi dari MCB ini berpotensi menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan seperti timbulnya percikan api karena hubung singkat yang akhirnya bisa menimbulkan kebakaran. Arus nominal yang terdapat pada MCB adalah 1A, 2A, 4A, 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A dan lain sebagainya. Alat pengaman ini dapat juga berguna sebagai saklar. Dalam penggunaannya, pengaman ini harus disesuaikan dengan besar listrik yang terpasang.



Gambar 6 MCB

G. Magnetik Kontaktor

Magnetic contactor yaitu peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada kontaktor terdapat sebuah belitan yang mana bila dialiri arus listrik akan timbul medan magnet pada inti besinya, yang akan membuat kontak nya tertarik oleh gaya magnet yang timbul tadi. Kontak bantu NO (*Normally Open*) akan menutup dan kontak bantu NC (*Normally Close*) akan membuka [9].

Kontak pada kontaktor terdiri dari kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama digunakan untuk

rangkaian daya sedangkan kontak bantu digunakan untuk rangkaian kontrol. Didalam suatu kontaktor elektromagnetik terdapat kumparan utama yang terdapat pada inti besi. Kumparan hubung singkat berfungsi sebagai peredam getaran saat kedua inti besi saling melekat. Apabila kumparan utama dialiri arus, maka akan timbul medan magnet pada inti besi yang akan menarik inti besi dari kumparan hubung singkat yang dihubungkan dengan kontak utama dan kontak bantu dari kontaktor tersebut. Hal ini akan mengakibatkan kontak utama dan kontak bantu akan bergerak dari posisi normal dimana kontak NO akan tertutup sedangkan NC akan terbuka. Selama kumparan utama kontaktor tersebut masih dialiri arus, maka kontak-kontaknya akan tetap pada posisi operasinya [10].



Gambar 7 Magnetik Kontaktor

H. Thermal Overload Relay (TOR)

Thermal Overload Relay (TOR) adalah komponen switching sebagai peralatan kontrol listrik yang berfungsi sebagai pengaman motor atau tenaga listrik terhadap arus atau beban lebih. Pemanfaatan *thermal overload relay* salah satunya adalah digunakan untuk mengetahui arus lebih yang ditimbulkan oleh beban, sehingga *thermal overload relay* akan *trip* sesuai dengan besarnya arus yang ditimbulkan oleh beban. *thermal overload relay* ini bisa dipasang langsung dengan magnetik kontaktor maupun terpisah sehingga sangat fleksibel untuk pemasangannya di dalam panel [11]. Pemilihan jenis *thermal overload relay* ditentukan oleh rating/*setting* arus sesuai dengan arus nominal rangkaian pada beban penuh dan kelas tripnya. Untuk pemakaian standar digunakan kelas trip 10 yaitu *thermal overload* akan trip pada $7,2 I_r$ dalam waktu 4 detik. TOR bekerja berdasarkan prinsip pemuaian dan benda bimetal. Apabila benda terkena arus yang tinggi, maka benda akan memuai sehingga akan melengkung dan memutuskan arus. Untuk mengatur besarnya arus maksimum yang dapat melewati TOR, dapat diatur dengan memutar penentu arus dengan menggunakan obeng sampai didapat harga yang diinginkan [12].



Gambar 8 Thermal Overload Relay (TOR)

I. Relay

Relay adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *electromechanical* (elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni elektromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). *Relay* menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. *Relay* dibutuhkan dalam rangkaian elektronika sebagai eksekutor sekaligus *interface* antara beban dan sistem kendali elektronik yang berbeda sistem *power supply*nya. Secara fisik antara saklar atau kontaktor dengan elektromagnet *relay* terpisah sehingga antara beban dan sistem kontrol terpisah [13].



Gambar 9 Relay

J. Selector Switch

Selector switch merupakan alat yang di gunakan untuk memilih posisi kerja pada rangkaian kontrol. Cara kerja dari *selector switch* adalah menyambung rangkaian sesuai dengan yang ditunjuk oleh tangkai *selector*. Banyak sekali tipe *selector switch* yang ada, tetapi biasanya hanya dua tipe yang sering di gunakan, yaitu 2 posisi, (ON-OFF/Start-Stop/0-1, dan lain-lain) dan 3 posisi (ON-OFF-ON/Auto-Off-Manual, dan lain-lain). *Selector switch* biasanya dipasang pada panel kontrol untuk memilih jenis operasi yang berbeda, dan dengan rangkaian yang berbeda pula.



Gambar 10 Selector Switch

K. Emergency Push Button

Emergency push button atau tombol darurat adalah tombol yang dipergunakan untuk memutuskan atau membuat sistem berhenti bekerja (OFF) secara darurat agar tidak bisa beroperasi pada saat terjadi kecelakaan atau situasi tidak aman dan juga pada saat dilakukan perbaikan. *Emergency push button* pada umumnya identik dengan warna merah, apabila ditekan maka *push button* ini akan mengunci pada posisi terputus (OFF). Selanjutnya untuk mengembalikan ke posisi semula (ON) dengan cara diputar atau juga ada yang menggunakan kunci untuk membuatnya kembali ke posisi awal. Alat ini dipakai pada situasi darurat saja, jika alat ini ditekan maka listrik pada sistem kontrol akan terputus dan jika tombol ini diletakkan atau berada pada mesin maka jika tombol ini ditekan maka mesin tersebut akan berhenti [14].



Gambar 11 Emergency Push Button

L. Lampu Indikator

Lampu indikator atau biasa disebut sebagai *pilot lamp* adalah sinyal dalam penandaan berupa lampu dengan warna tertentu. Lampu indikator ini biasanya inputan manual maupun otomatis dari *switch* maupun sensor. Dalam penggunaan lampu indikator dengan warna tertentu akan mempermudah identifikasi kejadian pada suatu sistem dan digunakan untuk tanda pengganti pada suatu pekerjaan [10]. Prinsip kerja daripada lampu indikator adalah jika ada tegangan masuk berupa *phase* dan *netral* pada lampu indikator sesuai dengan tegangan kerja pada lampu indikator, maka secara otomatis lampu indikator tersebut akan

menyala. Kemudian jika tegangan masuk berupa *phase* dan *netral* pada lampu indikator tidak ada, maka secara otomatis lampu indikator tersebut akan mati [15].



Gambar 12 Lampu Indikator

III. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Jln, Bagan Deli Lama, Medan, Belawan I, Medan Kota Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara 20411. Yang dimana penelitian dilakukan pada salah satu kapal Tanker punya perusahaan PT. Waruna Shipyard Indonesia.

A. Proses Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian *system automatic temperature control* pada bahan bakar adalah sebagai berikut, yaitu :

- a. Studi pendahuluan
Yang dimaksud dalam studi pendahuluan adalah melakukan bimbingan kepada dosen pembimbing mengenai judul dan topik pembahasan yang diarahkan untuk dapat perancangan *system automatic temperature control* pada bahan bakar di kapal.
- b. Data kepustakaan
Data kepustakaan merupakan pengumpulan data-data dengan cara membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, maupun tulisan- tulisan, dan bahan- bahan kuliah yang di dapatkan selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penelitian tugas akhir ini.
- c. Penelitian lapangan (*field research*)
Penelitian lapangan adalah penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap objek penelitian yaitu melakukan secara langsung analisa dari *system automatic temperature control* pada bahan bakar di kapal.
- d. Tahapan perancangan
Adapun tahapan perancangan pada alat tugas akhir yang berjudul “*system automatic temperature control* pada bahan bakar di kapal” menggunakan sensor-sensor dan bahan lainnya agar terciptanya alat tersebut.

B. Alat Perancangan

Dalam pembuatan sistem ini penulis menggunakan beberapa alat yang digunakan untuk memperlancar

proses perancangan dan perangkaian alat pada sistem ini. Adapun alat yang digunakan sebagai berikut :

- Obeng positif berfungsi untuk membuka dan menyetorkan baut positif.
- Obeng negatif berfungsi untuk membuka dan menyetorkan baut minus.
- Tang potong berfungsi untuk memotong dan mengupas kabel.
- Mesin bor listrik berfungsi sebagai alat untuk membuat lubang pada panel yang digunakan.
- Mata bor berfungsi untuk membantu bor dalam membuat lubang yang dibutuhkan.
- Multitester berfungsi untuk mengecek tegangan serta kontinuitas kabel pada rangkaian yang sudah selesai dirakit.

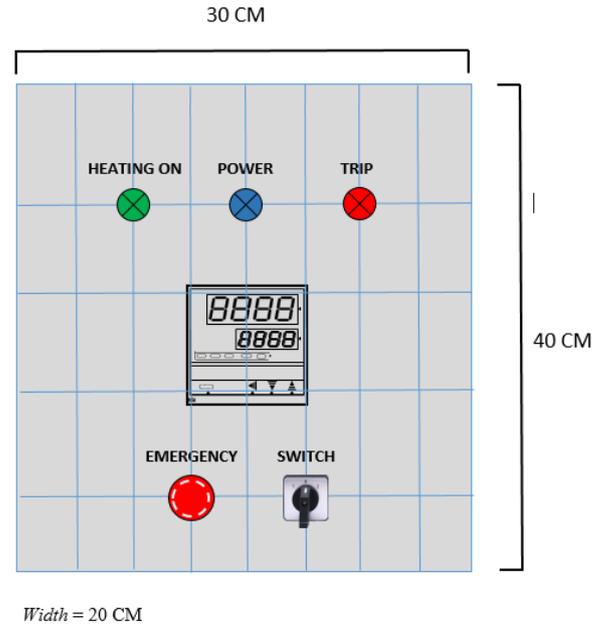
C. Bahan Perancangan

Adapun bahan perancangan yang digunakan dalam pembuatan sistem ini adalah sebagai berikut :

- Temperature controller* berfungsi sebagai mengatur suhu pada objek yang digunakan.
- Sensor RTD PT100 berfungsi untuk mendeteksi suhu pada objek yang digunakan.
- Elemen *heater* berfungsi untuk memanaskan objek yang digunakan.
- MCB berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian sistem yang digunakan.
- Magnetik kontaktor berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik pada elemen *heater* yang digunakan.
- Thermal overload relay* berfungsi sebagai *safety* pada elemen *heater* yang digunakan jika terjadinya arus lebih atau hubung singkat.
- Relay* berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik rangkaian sistem yang digunakan.
- Selector switch* berfungsi untuk ON serta OFF pada panel yang digunakan.
- Emergency push button* berfungsi sebagai memutuskan atau membuat sistem berhenti bekerja (OFF) secara darurat.
- Lampu indikator berfungsi untuk mengetahui atau pemberi tanda jalannya proses rangkaian yang sedang terjadi. Persamaan

D. Wiring Diagram Rangkaian

Untuk model box panel yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan box panel ukuran 40 x 30 x 20 cm, kemudian wiring diagram rangkaian keseluruhan pada penelitian ini dirancang sesuai standart yang dibutuhkan dan sudah diteliti, yang dimana wiring diagram dan box panel ini di desain menggunakan software Microsoft Visio. Dan berikut adalah tampilannya :

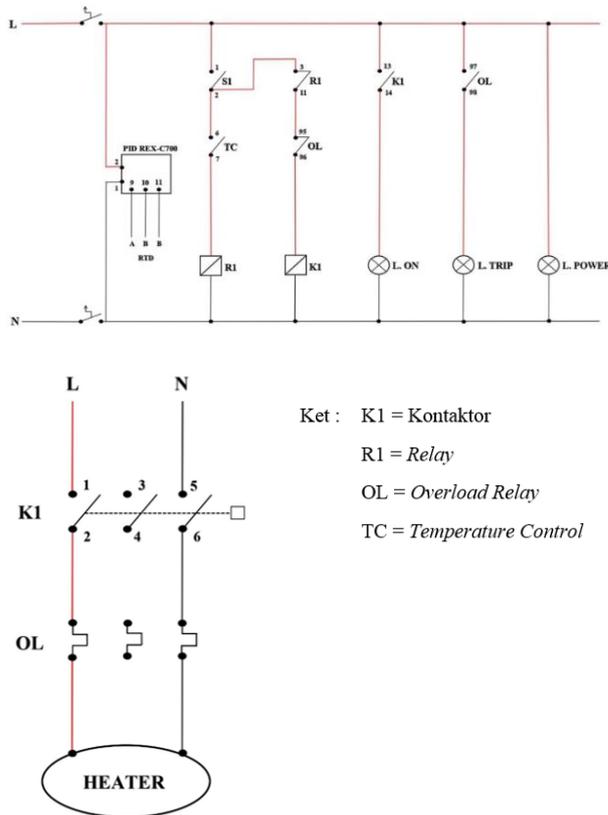


Gambar 13 Dimensi Box Panel

Dari gambar diatas dapat dilihat berupa dimensi box panel yang akan digunakan pada analisa penelitian ini. Untuk ukuran box panel itu sendiri adalah 40 x 30 x 20 cm, kemudian terdapat 3 buah lampu indikator yang memiliki arti masing-masing. Untuk lampu indikator berwarna hijau adalah "*Heating On*", maksudnya adalah jika terjadi proses pemanasan bahan bakar pada *heater* itu sendiri maka lampu indikator "*heating on*" akan menyala.

Kemudian untuk lampu indikator berwarna biru adalah "*Power*", maksudnya adalah jika tegangan sumber sudah masuk kedalam *control panel* maka lampu indikator "*Power*" akan menyala. Dan yang terakhir untuk lampu indikator berwarna merah adalah "*Trip*", maksudnya adalah jika *thermal overload relay* mendeteksi terjadinya beban lebih atau hubung singkat maka lampu indikator "*Trip*" akan menyala.

Pada box panel juga terdapat *temperature controller* yang berfungsi untuk mengontrol suhu pada bahan bakar yang dipanaskan, serta *crew kapal* dapat juga memantau secara langsung dari box panel untuk melihat suhu temperatur pada bahan bakar yang sedang dipanaskan. Kemudian terdapat *emergency push button* yang berfungsi untuk jika panel kontrol mengalami masalah seperti *short circuit* atau hal lain maka *crew kapal* segera bisa menekan tombol *emergency stop* sebagai *safety* pada panel kontrol. Dan terakhir *switch* yang berfungsi sebagai on/off pada panel *control*.



Gambar 14 Wiring Diagram Rangkaian

Dari gambar diatas dapat dilihat berupa *wiring diagram* rangkaian sistem pada penelitian ini. Untuk tegangan kerja pada rangkaian diatas adalah 220/230 VAC, kontaktor 1 berfungsi sebagai pemutus dan penghubung pada beban yaitu elemen *heater*. Relay 1 berfungsi untuk pemutus dan penghubung pada kontaktor 1 yang dikendalikan oleh kontak *normally open* (NO) pada *temperature controller*. Untuk *overload relay* digunakan sebagai *safety* pada beban jika terjadi beban lebih atau hubung singkat. Dan *temperature controller* berfungsi untuk mengontrol beban yang diterima dari suhu temperatur yang dibaca oleh sensor RTD PT100 pada bahan bakar.

E. Prosedur Alat Kerja

Adapun prosedur langkah kerja dari rangkaian yang dibuat oleh penulis ini adalah sebagai berikut :

- Kebutuhan untuk memanaskan bahan bakar minimal 30°C dan maksimal adalah 95°C .
- Ketika MCB di ON kan secara otomatis maka panel akan menyala ditandai dengan lampu indikator berwarna putih.
- Ketika *selector switch* di ON kan maka kondisi awal heater akan dalam keadaan ON pada saat suhu berada di 30°C , artinya adalah bahan bakar sedang dipanaskan.

- Ketika suhu mengalami kenaikan di atas 95°C maka *temperature controller* akan memberi sinyal kepada relay, sehingga relay akan memutuskan arus listrik pada kontaktor, dan *heater* dalam posisi OFF, artinya adalah bahan bakar sudah tidak dipanaskan.
- Pada saat suhu temperatur mengalami penurunan, maka secara otomatis sistem akan menghidupkan *heater* kembali.
- Sistem *temperature control* berdasarkan suhu pada bahan bakar tersebut terjadi berulang ulang guna memenuhi bahan bakar yang hendak dipanaskan

F. Proses Penelitian

Adapun proses pengolahan data dan informasi yang akan dilakukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan hasilnya, adalah sebagai berikut :

- Pengujian pada kenaikan dan penurunan suhu temperatur :
 - Pengujian lamanya kenaikan suhu temperatur dengan cara menghitung kenaikan suhu dari 30°C ke 95°C .
 - Pengujian lamanya penurunan suhu temperatur dengan cara menghitung penurunan suhu dari 95°C ke 85°C .
- Pengujian dengan cara mengukur *resistance* yang dihasilkan pada sensor RTD PT 100.
- Pengujian elemen *heater* Pengujian dengan cara mengukur tegangan yang menuju ke *heater*.
- Pengujian kontaktor Pengujian dengan cara mengukur tegangan pada kontaktor.
- Pengujian *thermal overload relay* Pengujian dengan cara mengukur tegangan dan test trip pada *thermal overload relay*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dari penelitian ini diperoleh dengan melakukan pengujian perangkat keras yaitu pengujian terhadap :

- Sensor RTD PT100
- *Temperature Controller*
- Elemen *Heater*

A. Pengujian Sensor RTD PT100

Data ini diambil dengan mengamati hasil pembacaan suhu temperatur pada sensor RTD PT100 menggunakan termometer *gun*, dan menghitung cepat waktu pemanasan sesuai dengan hasil yang diberikan oleh sensor RTD PT100. Kemudian diambil data kenaikan suhu setiap 1 menit sekali, lalu data tersebut diolah menggunakan *microsoft excel* untuk mendapatkan hasil di Tabel 1.

No.	Waktu	Suhu Derajat	Resistance
1	1 Menit	28°C	110,89 Ω
2	2 Menit	37°C	114,38 Ω
3	3 Menit	43°C	116,69 Ω
4	4 Menit	48°C	118,62 Ω
5	5 Menit	55°C	121,32 Ω
6	6 Menit	62°C	124,00 Ω
7	7 Menit	67°C	125,92 Ω
8	8 Menit	72°C	127,84 Ω
9	9 Menit	76°C	129,37 Ω
10	10 Menit	80°C	130,89 Ω
11	11 Menit	83°C	131,66 Ω
12	12 Menit	86°C	133,18 Ω
13	13 Menit	89°C	134,32 Ω
14	14 Menit	92°C	135,46 Ω
15	15 Menit	95°C	136,60 Ω

Tabel 1 Pengujian Sensor RTD Terhadap Waktu

Dari tabel 1 dapat dilihat kenaikan suhu setiap menitnya terlihat naik sehingga kenaikan temperatur linear terhadap waktu, akan semakin lama waktu pemanasan maka temperatur pada sensor akan semakin panas. Begitu juga sebaliknya ketika semakin sebentar waktu pemanasan maka semakin kecil temperatur yang dihasilkan oleh sensor

B. Pengujian *Temperature Controller*

Pada pengujian sistem ini dilakukan dengan cara memberikan sinyal input yang berupa Proses *Variable* (PV) yaitu temperatur yang berasal dari heater. Pengujian sistem menggunakan *set point* yang telah ditentukan untuk mengetahui lama waktu proses pemanasan pada bahan bakar HFO. Berikut adalah pengujian sistem pada unit pemanasan dengan pengukuran perubahan temperatur yang terjadi dimulai dari temperatur ruangan sampai menuju *set point* sebesar 95°C.

No.	Set Point	Suhu Derajat	Waktu
1	95°C	28°C	1 m
2	95°C	37°C	2 m
3	95°C	43°C	3 m
4	95°C	48°C	4 m
5	95°C	55°C	5 m
6	95°C	62°C	6 m
7	95°C	67°C	7 m
8	95°C	72°C	8 m
9	95°C	76°C	9 m
10	95°C	80°C	10 m
11	95°C	83°C	11 m
12	95°C	86°C	12 m
13	95°C	89°C	13 m
14	95°C	92°C	14 m
15	95°C	95°C	15 m
16	95°C	95,2°C	16 m
17	95°C	95,3°C	17 m

Tabel 2 Pengujian *Temperature Controller*

Dari tabel 2 telah dilakukan pengujian pada *plant* tangki bahan bakar dengan memberikan *set point* temperatur yang telah ditentukan yaitu 95°C. Dengan cara mengukur perubahan temperatur yang terdapat pada tangki bahan bakar dengan menggunakan sensor RTD PT100 sebagai pendeteksi temperatur dalam cairan tangki bahan bakar HFO yang telah menghasilkan waktu kurang lebih 15 menit. Dengan begitu akan mudah untuk mengatur *heater*. Apabila temperatur berada pada keadaan >95°C akan menghentikan *heater* dan jika temperatur <95°C akan menyalakan *heater* kembali. Proses pengendalian temperatur pada tangki bahan bakar berlangsung selama 17 menit sehingga temperatur harus berada dalam *set point* dikarenakan meminimalisir sisa-sisa kontaminan yang masih terkandung dalam bahan bakar, kemudian akan masuk kedalam proses selanjutnya yaitu proses separasi.

Data Ke-	Set Point	Suhu Derajat	ESS (<i>Error Steady State</i>)
15	95°C	95°C	0
16	95°C	95,2°C	0.2
17	95°C	95,3°C	0.3
Rata-rata ESS (<i>Error Steady State</i>)			0,167

Tabel 3 Data *Error Steady State* (ESS)

Pada tabel 3 didapatkan bahwa rata-rata ESS (*Error Steady State*) pada pembacaan *set point* dengan rumus $ESS = pv - sv$ dengan hasil rata-rata yaitu 0,167. Untuk data pertama diambil pada waktu menit ke-15 dengan suhu 95°C. Untuk data ke dua diambil pada waktu menit ke-16 dengan suhu 95,2°C. Dan yang terakhir untuk data ke tiga diambil pada waktu menit ke-17 dengan suhu 95,3°C.

C. Pengujian Elemen Heater

Pengujian pada elemen *heater* yang penulis lakukan yaitu berapa suhu temperatur yang telah ditentukan oleh *set point* dari elemen *heater* yang digunakan pada bahan bakar HFO, dan dalam waktu berapa menit elemen *heater* tersebut mencapai suhu *set point* nya. Untuk mengetahui temperatur dari elemen *heater* jenis *immersion heater* ini, maka pengujian pada bahan bakar dilakukan pada suhu awal elemen *heater* pada saat dihidupkan adalah 28°C sampai batas suhu *set point* yaitu 95°C. Adapun hasil uji dapat dilihat pada tabel berikut ini :

No.	Waktu	Suhu Derajat
1	1 Menit	28°C
2	2 Menit	38°C
3	3 Menit	44°C
4	4 Menit	49°C
5	5 Menit	56°C
6	6 Menit	63°C
7	7 Menit	67°C
8	8 Menit	71°C
9	9 Menit	77°C
10	10 Menit	88°C
11	11 Menit	84°C
12	12 Menit	87°C
13	13 Menit	90°C
14	14 Menit	93°C
15	15 Menit	95°C

Tabel 4 Pengujian Elemen Heater

Data ini diambil dengan mengamati hasil pembacaan suhu temperatur pada sensor RTD PT100 yang kemudian suhu nya ditampilkan oleh *temperature controller*, dan menghitung cepat waktu pemanasan sesuai dengan hasil yang diberikan oleh sensor RTD PT100. Kemudian diambil data kenaikan suhu setiap 1 menit sekali, lalu data tersebut diolah menggunakan *microsoft excel* untuk mendapatkan hasil di Tabel 4.

V. KESIMPULAN

Dari semua pembahasan yang telah penulis lakukan mengenai “Sistem *Automatic Temperature Control Heavy Fuel Oil* (HFO) Main Engine Pada Kapal Tanker”, maka sebagai bagian tugas akhir ini penulis memberikan beberapa simpulan yang diambil dari hasil penelitian dan pembahasan masalah sebagai berikut :

- a. Rata-rata hasil data ESS (*Error Steady State*) yang dihasilkan dari antara perbandingan temperatur kontrol dengan menggunakan termometer *gun* adalah 0,167.

- b. Waktu yang diperlukan pada saat proses pemanasan dari suhu temperatur awal untuk mencapai suhu temperatur *set point* adalah 15 menit.
- c. Resistansi yang dihasilkan oleh elemen *heater* pada saat pemanasan bahan bakar HFO adalah = 24,2 Ω .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Marsudi and H. Palippui, "Analisis Perawatan Purifier Pada Sistem Bahan Bakar Main Engine Kapal," SENSITEK Semin. Sains dan Teknol. Kelaut., no. November, pp. 43–48, 2020.
- [2] G. Hanafi, "Pengertian Mesin Diesel," 2006.
- [3] S. Muksin, "Kajian Pemakaian Bahan Bakar Pada Motor Diesel Generator MAK Di PLTD Gunung Patti Semarang Jawa Tengah," J. Teknol., vol. Volume 11, 2014.
- [4] D. Y. Tadeus and I. Setiono, "Deskripsi Teknis Pengendali Temperatur Industri Sebagai Bagian Dari Sistem Regulasi Temperatur," Gema Teknol., vol. 20, no. 1, p. 1, 2018, doi: 10.14710/gt.v20i1.21075.
- [5] Mohammad Atsar Rizky Almeyda, "Desain Produk Pot Tanaman Hias Indoor Dengan Teknologi Temperature Controller Dan Penyiram Otomatis Studi Kasus: Perumahan Safira Stone Resort Sidoarjo," Univ. Din., no. 8.5.2017, pp. 1–62, 2022.
- [6] N. Evalina, F. I. Pasaribu, A. A. H, and A. Sary, "Penggunaan Arduino Uno Untuk Mengatur Temperatur Pada Oven," RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro, vol. 4, no. 2, pp. 122–128, 2022, doi: 10.30596/rele.v4i2.9559.
- [7] F. I. Pasaribu, "Hot Point Determination And Monitoring Equipment Using Thermal Imagers Fluke With Thermovision Method," J. Electr. Syst. Control Eng., vol. 4, no. 2, pp. 113–128, 2021.
- [8] R. Rumimper, S. Sompie, and D. Mamahit, "Rancang Bangun Alat Pengontrol Lampu Dengan Bluetooth Berbasis Android," J. Tek. Elektro dan Komput., vol. 5, no. 3, pp. 24–33, 2016.
- [9] N. Indrihastuti, A. Prayoga, and ..., "Perancangan Kendali 2 Kontaktor Bekerja Berurutan Secara Otomatis Berbasis PLC CPMIA 40CDR_A," Cahaya Bagaskara J. ..., vol. 6, no. 2, pp. 15–22, 2021.
- [10] Suryani, "Sistem Pengontrolan Mi3F Dengan Tiga Kecepatan Berbasis PLC," Vertex Elektro, vol. 12, no. 01, pp. 37–47, 2020.
- [11] A. Tukananto, Junaidi, and Hardiansyah, "Rancang Bangun Sistem Proteksi Arus Lebih Motor 3 Fasa Dengan Timer," pp. 1–7, 2015.
- [12] G. T. Agiantoro and M. T. Prasetyo, "Analisa Sistem Pengaman Dan Kemampuan Hantar Arus Motor Pada Mesin Otomatis Pengereng Gabah 1,2," no. 2016, pp. 44–52, 2018.
- [13] M. Saleh and M. Haryanti, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Relay," J. Teknol. Elektro, Univ. Mercu Buana, vol. 8, no. 2, pp. 87–94, 2017,
- [14] A. Pradiftha and J. T. Elektro, "Identifikasi Gas Terlarut Minyak Transformator Dengan Menggunakan Logika Fuzzy Menggunakan Metode TDCG Untuk Menentukan Kondisi Transformator 150 KV," vol. 1, no. 1, pp. 11–15, 2019.
- [15] G. L. Akbar, "Rancang Bangun Alat Wiring Diagram Thrust Reverse Engine System Boeing 737-200 Sebagai Media," vol. 5, no. 2, pp. 42–49, 2021.