

TUGAS AKHIR
SISTEM KINERJA PEMANAS BAHAN BAKAR FO (*FUEL OIL*) *AUXILIARY ENGINE* SECARA AUTOMATIS PADA
KAPAL SEMEN

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

Disusun Oleh:

BAYUDI NOFANDA HASIBUAN

2307220117P



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATRA UTARA
MEDAN
2025

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Bayudi Nofanda Hasibuan
NPM : 2307220117P
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Sistem Kinerja Pemanas Bahan Bakar FO (*Fuel Oil*)
Auxiliary Engine Secara Otomatis Pada Kapal Semen
Bidang ilmu : Sistem Kontrol

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, 01 Agustus 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Muhammad Fjtra Zambak

Dosen Pembanding II / Peguji



Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dr. Ely Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Bayudi Nofanda Hasibuan
Tempat /Tanggal Lahir : Takengon / 24 November 1996
NPM : 2307220117P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Sistem Kinerja Pemanas Bahan Bakar FO (Fuel Oil) *Auxiliary Engine* Secara Otomatis Pada Kapal Semen”,

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 2025

Saya yang menyatakan,



Bayudi Nofanda Hasibuan

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 generator (*auxiliary engine*) yang disuplai menggunakan bahan bakar (*fuel oil*) dengan fungsi sebagai pembangkit. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk tetap menjaga kriteria operasi bahan bakar agar sesuai yang dibutuhkan oleh generator (*auxiliary 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 spesifikasi mesin dan mengontrol pemanasan bahan bakar yang diinginkan secara otomatis. Sistem ini menggunakan pemanas/heater dan sensor suhu *thermocouple* pada tangki penyimpanan bahan bakar untuk disalurkan ke mesin bantu. Dan sistem ini juga dapat dioperasikan baik saat kapal dalam keadaan mati maupun dalam kondisi beroperasi.

Kata Kunci : Bahan bakar, Pengatur Suhu, Sensor Suhu, Mesin Bantu

ABSTRACT

Fuel is a very important component for transportation. One of them is the operation of ships that use fuel (fuel oil). Ships are one of the 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 generator (auxiliary engine) which is supplied using fuel (fuel oil) with a function as a generator. The purpose of this final assignment is to maintain the fuel operating criteria so that they are in accordance with the needs of the generator (auxiliary engine). The method used in this study is a qualitative method, because the author will examine the meaning of this system including direct interaction with those who understand more comprehensively. The results or conclusions of the system created by the author are to maintain the temperature of the fuel so that it remains in accordance with engine specifications and to control the desired fuel heating automatically. This system uses a heater and a thermocouple temperature sensor in the fuel storage tank to be distributed to the auxiliary engine. And this system can also be operated both when the ship is off and in operating conditions.

Keywords: Fuel, Temperature Controller, Temperature Sensor, Auxiliary Engine

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita semua sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Sistem Kinerja Pemanas Bahan Bakar FO (*Fuel Oil*) Auxiliary Engine Secara Automatis Pada Kapal Semen**” 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. Muhammad Fitra Zambak selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir Abdul Aziz Hutasuhut, MM 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: Mahyuddin Hasibuan dan Hotna Sari Harahap, 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 2024

BAYUDI NOFANDA HASIBUAN
2307220117P

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Mesin <i>Diesel</i>	5
2.2 Bahan Bakar Mesin <i>Diesel</i>	22
2.3 <i>Fuel Oil</i> (FO).....	32
2.4 Temperature controlle.....	40
2.5 Sensor <i>Thermocuple</i>	48
2.6 Elemen <i>Heater</i>	53
2.7 Moulded Case Circuit Breaker (MCCB).....	58
2.8 Magnetik Kontaktor.....	63
2.9 <i>Thermal Overload Relay</i> (TOR).....	67
2.10 <i>Relay</i>	71
2.11 <i>Selector Switch</i>	76
2.12 <i>Emergency Push Button</i>	79
2.13 Lampu Indikator	82
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	85
3.1 Waktu dan Tempat.....	85

3.2 Alat dan Bahan	86
3.3. Prosedur Kerja Alat	87
3.4 Tahapan Penelitian.....	88
3.5 Analisis Data.....	88
3.6 <i>Flowchart</i> Perancangan Sistem	90
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.	93
4.1 Hasil Perancangan alat	93
4.2 Hasil Settingan Parameter Temperatur Kontrol	96
4.3 Hasil Pengujian Sensor <i>Thermocouple</i>	100
4.4 Hasil Pengujian Elemen <i>Heater</i>	104
BAB V Penutup.	108
5.1 Kesimpulan	108
5.2 saran	108
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

<u>Gambar 2.1</u> Prinsip Kerja Mesin Diesel_	9
<u>Gambar 2.2</u> Mesin <i>Diesel</i> 4 tak pada kapal <i>Tanker</i> _	11
<u>Gambar 2.3</u> <i>Cylinder</i> Blok Mesin <i>Diesel</i>	13
Gambar 2.4 <i>Cylinder Head</i> Mesin <i>Diesel</i>	14
<u>Gambar 2.3</u> <i>Cylinder</i> Blok Mesin <i>Diesel</i>	13
Gambar 2.4 <i>Cylinder Head</i> Mesin <i>Diesel</i>	14
Gambar 2.5 Katup (<i>Valve</i>) Mesin <i>Diesel</i>	15
Gambar 2.6 Katup (<i>Valve</i>) Mesin <i>Diesel</i>	16
Gambar 2.7 Batang Engkol (<i>Connecting rod</i>) Mesin <i>Diesel</i>	18
Gambar 2.8 Poros Engkol (<i>Crank Shaft</i>) Mesin <i>Diesel</i>	19
Gambar 2.9 Poros Nok (<i>Cam Shaft</i>) Mesin <i>Diesel</i>	21
Gambar 2.10 Roda Gila (<i>Flywheel</i>).....	22
Gambar 2.11 Skema Sistem Bahan Bakar Mesin <i>Diesel</i>	23
Gambar 2.12 Skema Sistem Pompa Pribadi.....	24
Gambar 2.13 Skema Sistem Pompa Distribusi.....	25
Gambar 2.14 Sistem Pompa Akumulator.....	26
Gambar 2.15 <i>Storage Tank</i>	34
Gambar 2.16 <i>Settling Tank</i>	35
Gambar 2.17 Separator.....	35
Gambar 2.17 <i>Day Tank</i>	36
Gambar 2.18 <i>Balance Tank</i> (Tangki Imbang).....	36
Gambar 2.19 Filter.....	37
Gambar 2.20 <i>Booster Pump</i>	37

Gambar 2.21 <i>Feed Pump</i>	38
Gambar 2.22 <i>Temperature Controller</i> Tipe TZN4M.....	40
Gambar 2.23 Skema Sistem Kendali Umpan Balik.....	42
Gambar 2.24 Konfigurasi dasar <i>Temperature Control</i>	42
Gambar 2.25 Respon Objek Terhadap Aksi Pengendali.....	43
Gambar 2.26 Respon Objek Terhadap Metode <i>Control ON-OFF</i>	44
Gambar 2.27 dimensi Modul <i>Temperature Control</i> TZN4M.....	46
Gambar 2.28 tampilan depan <i>temperature controller</i> tipe Autonics TZN4M.....	46
Gambar 2.29 konfigurasi terminal <i>temperature controller</i> Autonics TZN4M.....	47
Gambar 2.30 sensor Thermocouple.....	48
Gambar 2.31 Tabel Temperature Thermocouple <i>Type E</i>	51
Gambar 2.32 Tabel Temperature Thermocouple <i>Type E</i>	52
Gambar 2.33 Terminal <i>Head Sensor</i> Thermocouple.....	53
Gambar 2.34 Elemen <i>Heater</i>	54
Gambar 2.35 Dimensi Elemen <i>Heater</i>	57
Gambar 2.36 Komponen-Komponen MCCB.....	61
Gambar 2.37 Dimensi MCCB.....	63
Gambar 2.38 Magnetik Kontaktor Tipe SC-N2S.....	65
Gambar 2. 39 dimensi Magnetik Kontaktor Tipe SC-N2S.....	67
Gambar 2. 40 Pengaturan Kontak Magnetik Kontaktor Tipe SC-N2S.....	67
Gambar 2. 41 <i>Thermal Overload Relay</i> Tipe TR-N3Q.....	68
Gambar Gambar 2.42 Dimensi <i>Thermal Overload Relay</i> Tipe TR-N3Q.....	70
Gambar 2.43 Kontak Bantu <i>Thermal Overload Relay</i> Tipe TR-N3Q.....	71

Gambar 2.44 Relay Tipe MY4N.....	73
Gambar 2.45 Dimensi <i>Relay</i> 4PDT Tipe MY4N.....	75
Gambar 2.46 Dimensi <i>Socket Relay</i> Tipe PYF14A-E.....	75
Gambar 2.47 Pengaturan Kontak <i>Relay</i> 4PDT Tipe MY4N.....	76
Gambar 2.48 Selector Switch Tipe Piele off/on/off.....	77
Gambar 2.49 Dimensi Selector Switch Tipe Piele.....	79
Gambar 2.50 <i>Emergency Push Button</i> Tipe CRE-25R1R.....	79
Gambar 2.51 Dimensi <i>Emergency Push Button</i> Tipe CRE-25R1R.....	81
Gambar 2.52 Pengaturan kontak <i>Emergency Push Button</i> Tipe CRE-25R1R.....	81
Gambar 2.53 Lampu Indikator AD16-22DS.....	82
Gambar 2.54 Prinsip Kerja Lampu Indikator.....	83
Gambar 2.55 Dimensi Lampu Indikator AD16-22DS.....	84
Gambar 3.6 Flowchart.....	90
Gambar 4.1 Dimensi Panel Box.....	93
Gambar 4.2 Wiring Diagram Rangkaian Sistem.....	95
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Sistem Pada Set Point 95 °C.....	99
Gambar 4.4 Grafik Pengujian Temperatur Terhadap Waktu.....	101
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Temperatur Pada Saat Steady State.....	104
Gambar 4.6 Diagram Blok Pengujian.....	104
Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengukuran Waktu dan Suhu.....	106

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Penelitian.....	85
Tabel 4.1 Settingan Parameter <i>Temperature Controller</i>	96
Tabel 4.2 Pengukuran Temperature Pada Set Point 95° C.....	98
Table 4.3 Data ESS (Error Steady State) Dengan Set Point 95° C.....	99
Table 4.4 Hasil Pengujian Temperatur Terhadap Waktu.....	100
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Temperatur Pada Saat Steady State.....	102
Tabel 4.6 Data Hasil Pengukuran Waktu dan Suhu.....	105

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian *diesel* sebagai mesin penggerak kapal pada saat ini semakin meluas, karena konsumsi bahan bakar lebih efisien apabila dibandingkan dengan motor bensin. Terdapat korelasi antara konsumsi bahan bakar, kecepatan dan putaran mesin selalu saling berkaitan dan tidak bisa dipisahkan. Dengan meningkatnya putaran mesin akan berpengaruh pada peningkatan daya. 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 tentang bahan bakar *auxiliary engine* (A/E) sering berfokus pada peningkatan efisiensi dan pengurangan emisi. Mesin bantu di kapal umumnya menggunakan minyak diesel laut (Marine Diesel Oil atau MDO) atau minyak gas laut (Marine Gas Oil atau MGO). Namun, ada minat besar terhadap bahan bakar alternatif seperti biodiesel untuk mengurangi dampak lingkungan. Studi menunjukkan bahwa campuran biodiesel, seperti yang berasal dari *Jatropha* atau bahan baku bio lainnya, dapat mengurangi emisi nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), dan partikel tanpa mengurangi kinerja mesin. Area penelitian lain adalah sistem pemulihan panas buangan, seperti *exhaust gas economizers*, yang dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar. Sistem ini menangkap panas dari buangan mesin bantu dan menggunakannya untuk menghasilkan uap, sehingga mengurangi bahan bakar yang diperlukan untuk menggerakkan boiler bantu selama operasi.

Dikutip dari (Ma et al., 2021) Penelitian mengenai kontrol pemanas (*heater*) untuk bahan bakar FO (*Fuel Oil*) pada kapal berfokus pada pengendalian suhu dan viskositas, karena viskositas yang optimal sangat penting untuk memastikan pembakaran yang efisien di mesin. Suhu Optimal untuk Bahan bakar FO memiliki viskositas yang tinggi pada suhu kamar, sehingga diperlukan pemanasan hingga suhu optimal sebelum digunakan di mesin kapal. Suhu pemanasan FO biasanya

berada di kisaran 50-150°C, tergantung pada jenis bahan bakarnya dan mesin yang digunakan.

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 pengelolaan bahan bakar dengan jenis FO (*Fuel Oil*), dikendalikan secara otomatis yang mampu untuk mengawasi dan memulihkan suhu temperatur pada tangki penyimpanan bahan bakar sehingga memudahkan masinis yang bekerja di kapal agar tidak terus menerus memonitoring suhu temperatur pada bahan bakar atau dilokasi pemanas tersebut, 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 semen.

1.2 Rumusan masalah

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

1. Bagaimana mengetahui system kinerja pemanas bahan bakar secara otomatis menggunakan *temperature control* untuk *auxiliary engine*?

2. Seberapa cepat respon sensor *Thermo Couple type E* dan sensitifitas pada pengontrol suhu saat pemanasan dilakukan?
3. Bagaimana upaya pengontrolan suhu saat bahan bakar FO di panaskan tanpa melakukan monitoring secara terus menerus?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk menganalisis sistem kinerja *automatic temperature control* untuk bahan bakar pada *Auxiliary Engine*.
2. Untuk menganalisis seberapa besar tingkat sensitivitas pada sensor *Thermo couple* dari serangkaian system yang akan di buat.
3. Untuk mengetahui pemanasan bahan bakar FO apakah sudah mencapai suhu pemanasan yang cukup untuk di *supply* ke *Auxiliary engine* di kapal semen.

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 ntuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dengan *fuel oil treatment* guna menunjang performa dari mesin *diesel* untuk kapal *tanker*. Maka ilakukan pembatasan ruang lingkup sebagai berikut :

1. memahami system kinerja *automatic temperature control* untuk bahan bakar pada *auxiliary engine* agar lebih terkontrol dalam penggunaan suhu temperaturnya.
2. Memudahkan kru kapal untuk memahami system kinerja *temperature control* untuk bahan bakar *auxiliary engine*
3. memahami system kinerja *automatic temperature control* menggunakan sensor *Thermo Couple* agar mengetahui tingkat sensitivitas pada saat proses pemanasan bahan bakar untuk *auxiliary engine*.
4. Proses optimalisasi bahan bakar *treatment* jenis FO (*Fuel Oil*) untuk meningkatkan efesiensi pembakaran pada mesin.

1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Manfaat temperature control bahan bakar supaya kadar pemanasan dan penyaluran bahan bakar ke mesin bekerja dengan baik.
2. Manfaat kontrol bahan bakar agar pemakaian pemanas (*Heater*) tidak memanaskan bahan bakar secara terus menerus dan tidak menyebabkan suhu berlebih.
3. Manfaat pemanas bahan bakar menggunakan *Thermo Couple* agar mengontrol elemen pemanas (*Heater*) untuk mematikan secara otomatis.

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 (Sipahutar et al., 2022) Kondisi kinerja suatu peralatan dapat diukur berdasarkan efisiensi suatu peralatan tersebut seperti proses mengkondisikan kekentalan minyak atau bahan bakar menggunakan pemanas. Dalam termodinamika, efisiensi pengontrol pemanas adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi.

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 memutarinya, sehingga mesin *diesel* memerlukan alat pemutar seperti motor stater dan baterai yang berkapasitas lebih besar.

2.1.1 Prinsip Kerja Mesin *Diesel*

Menurut (Yuswidjajanto, 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

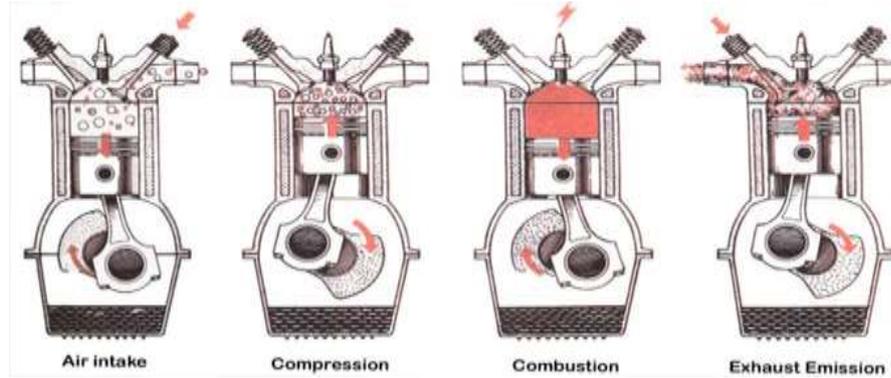
mekanis. Energi kimia diperoleh melalui proses reaksi kimia (pembakaran) dari bahan bakar (solar) dan oksidiser (udara) di dalam silinder (ruang bakar). Pembakaran pada mesin *diesel* terjadi ketika kenaikan temperatur campuran udara dan bahan bakar akibat kompresi torak hingga mencapai temperatur nyala 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 kan terbakar dengan sendirinya tanpa harus menggunakan busi seperti pada mesin berbahan bakar bensin yang memiliki titik bakar lebih kecil dibandingkan dengan mesin *iesel*, 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 :



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Mesin Diesel

Sumber : (Darmawansyah. 2015)

a. Proses Hisap

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.

b. 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

c. 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 disemprotkan 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).

d. 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 asih 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.

2.1.3 Jenis-jenis Mesin *Diesel*

Menurut (Yuswidjajanto, 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 2.2 Mesin *Diesel* 4 tak pada kapal *Tanker*

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 berdinding 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. Sebagai dudukan 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 2.3 *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 2.4 *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 aliran 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 2.5 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 tekanan dan temperatur yang tinggi. Gaya gesamping 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 2.6 Katup (*Valve*) 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 shaf*



Gambar 2.7 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 2.8 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 ejalan, 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 haft* 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 ada mesin maka semakin sempit dan *peak power* terjadi pada rpm tinggi. Begitu juga sebaliknya dengan LSA besar.



Gambar 2.9 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 2.10 Roda Gila (*Flywheel*)

2.2 Bahan Bakar Mesin *Diesel*

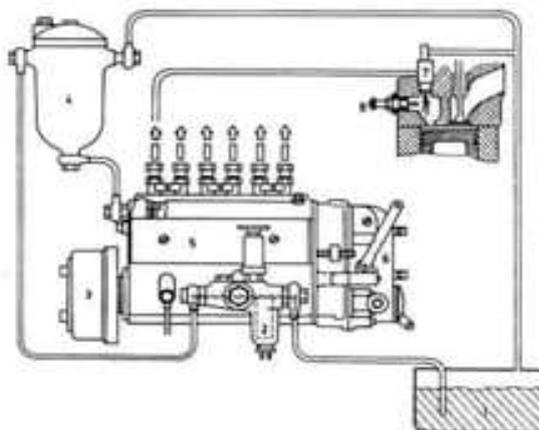
Menurut (Poeswanto & Yani, 2015) bahan bakar merupakan zat yang dapat dibakar dengan respon yang cepat bersama udara (oksigen) dengan hasil dari reaksi pembakaran yakni menghasilkan panas dan juga tenaga. Kandungan yang terdapat pada bahan bakar mesin *diesel* diperoleh dari reaksi zat *Carbon* (C) dan *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.



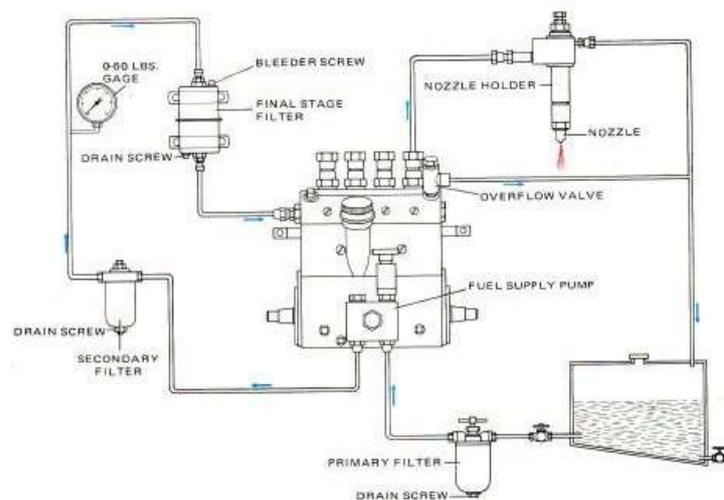
Gambar 2.11 Skema Sistem Bahan Bakar Mesin *Diesel*

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



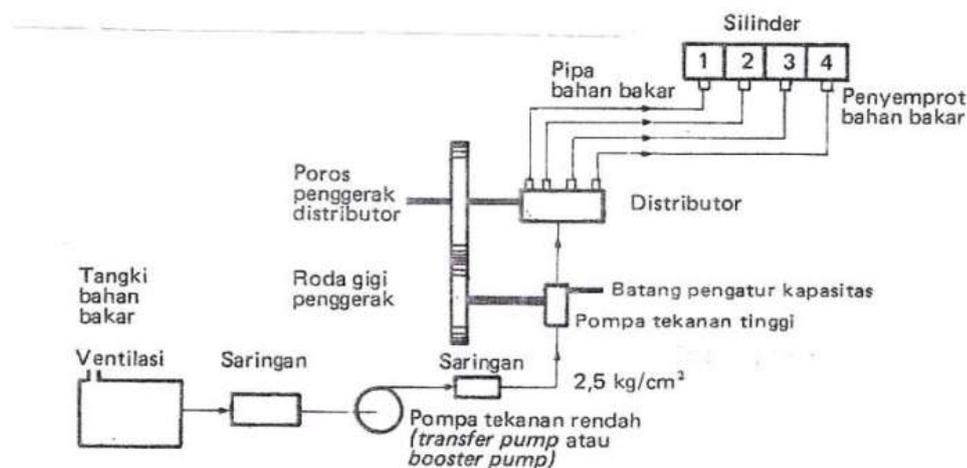
Gambar 2.12 Skema Sistem Pompa Pribadi

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 disetiap 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*.



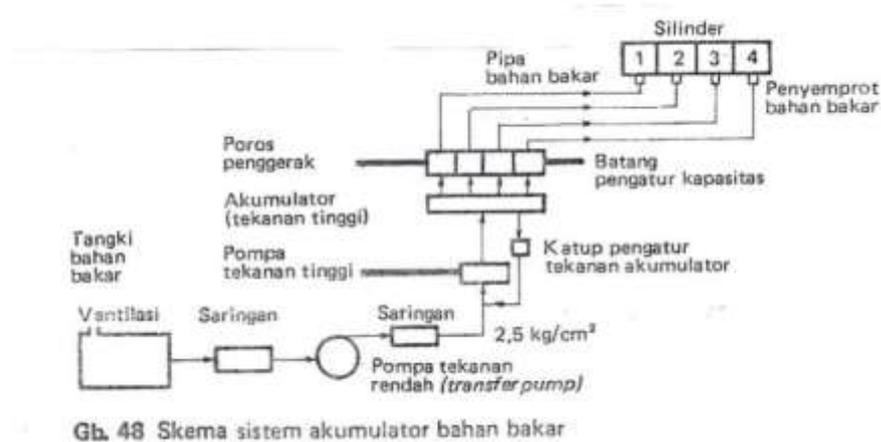
Gb. 47 Skema sistem distribusi

Gambar 2.13 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.



Gambar 2.14 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 ke dalam pompa penyalur, pompa tekanan tinggi, dan penyemprot bahan bakar. Kotoran di dalam 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 distribusi 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 ekstream 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 enyawan murni yang terkandung dalam bahan bakar dengan penyusun utama yaitu kandungan logam *Aluminum* (Al) dan *Silicon* (Si) yang menyebabkan naiknya onsentration 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 (FO) 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).

Standarisasi Pemanasan *Fuel Oil* (FO) Dalam aplikasi kapal, pemanasan bahan bakar diperlukan agar bahan bakar memiliki viskositas tertentu yang memudahkan proses atomisasi sebelum masuk ke ruang pembakaran. Standarisasi melibatkan beberapa langkah:

- a. Kontrol Suhu Pemanasan:
 - *Heavy Fuel Oil (HFO)* biasanya dipanaskan pada suhu 120–140°C.
 - *Marine Diesel Oil (MDO)* membutuhkan suhu lebih rendah, sekitar 30–50°C.
- b. Pemilihan Nilai Kalor Bahan Bakar:
 - HFO memiliki nilai kalor sekitar 39–41 MJ/kg.
 - MDO memiliki nilai kalor sekitar 42–43 MJ/kg.
- c. Pengaturan Sistem Pemanas:
 - Sistem pemanas biasanya menggunakan *steam heating* atau *electric heating* untuk mempertahankan suhu bahan bakar.
- d. Standarisasi Perhitungan:
 - Menggunakan nilai kalor untuk menghitung efisiensi pembakaran, yang biasanya dievaluasi menggunakan:
 - Rumus efisiensi boiler.
 - Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel oil consumption / SFOC*).

Standar ini penting untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dan meminimalkan emisi.

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) :

2.3 Fuel Oil (FO)

Dikutip dari (Marsudi & Palippui, 2020) bahan bakar *Fuel Oil* (FO) 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 FO 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 FO harus benar-benar diperhatikan. Pada bahan bakar FO 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 FO 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 FO 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 FO (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 Fuel Oil* (FO)

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 FO 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 FO harus dijaga dengan suhu temperatur 60 – 90°C untuk mempermudah proses pemompaan.



Gambar 2.15 *Storage Tank*

2.3.1.2 *Settling Tank*

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



Gambar 2.16 *Settling Tank*

2.3.1.3 Separator

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



Gambar 2.17 Separator

2.3.1.4 Day Tank

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



Gambar 2.17 Day Tank

2.3.1.5 Balance Tank (Tangki Imbang)

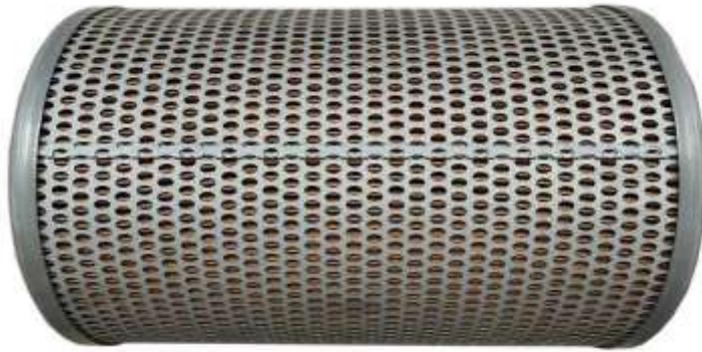
Menurut (Hadi & Budiarto, 2008) *balance tank* merupakan tempat penampungan akhir pada bahan bakar untuk disuplai ke *main engine*, dimana memiliki fungsi sebagai pemisah bahan bakar dari kandungan udara. Tangki imbang juga digunakan sebagai tempat penampungan *overflow* bahan bakar yang disuplai ke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



Gambar 2.18 Balance Tank (Tangki Imbang)

2.3.1.6 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 2.19 *Filter*

2.3.1.7 *Booster Pump*

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



Gambar 2.20 *Booster Pump*

2.3.1.8 *Feed Pump*

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



Gambar 2.21 *Feed Pump*

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

Dalam kaitannya identifikasi dari optimisasi bahan bakar FO dalam meningkatkan performa dari mesin *diesel*, maka indentifikasi dari faktor-faktor yang menyebabkan menurunnya kualitas dari bahan bakar FO 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 FO 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 (FO) yang mengalami ketidakstabilan reaksi akibat bercampurnya dua bahan bakar yang tidak homogen terbentuknya *sludge* dan lapisan *wax* pada FO (Vermiere, 2021).

2.3.2.2 Faktor Eksternal

a. Kurang optimalnya FO *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 FO *treatment* akan menyebabkan terjadinya permasalahan pada *output* bahan bakar dengan dampak lanjutanyang 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 FO *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 FO *treatment*.

2.4 Temperature controlle

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 ada 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 TZN4M yang akan digunakan untuk mengendalikan suhu 40emperature pada bahan bakar untuk menjaga tingkat viskositas (kekentalan) dari bahan bakar tersebut sesuai suhu derajat yang akan diatur dalam penggunaannya.



Gambar 2.22 *Temperature Controller* Tipe TZN4M

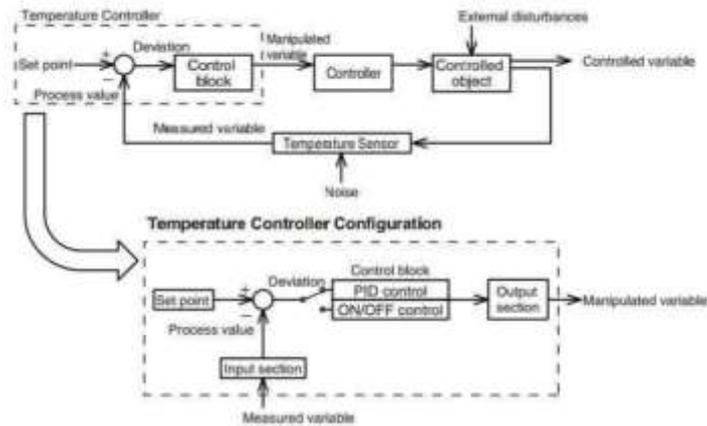
Sumber: Autonics TZN4M *Instruction Manual*

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.

Menurut (Sipahutar et al., 2022) Proses yang efektif dilakukan untuk melakukan pekerjaan tersebut, maka kru kapal tidak harus ke *engine room* untuk memantau temperatur pemanas secara terus menerus dan bersifat monoton. Maka tetap memperhatikan bagaimana keadaan monitor pada display temperatur pemanas *Fuel Oil (FO)* di *engine control room* secara terkontrol dengan derajat yang disarankan oleh kebutuhan sistem. Selain itu, proses pemanasan yang dilakukan oleh pekerja juga mengefisiensi waktu lebih cepat. Selain itu, ketika tiba untuk di distribusikan ke engine maka bahan bakar sudah siap untuk di *supply* ke *Engine*.

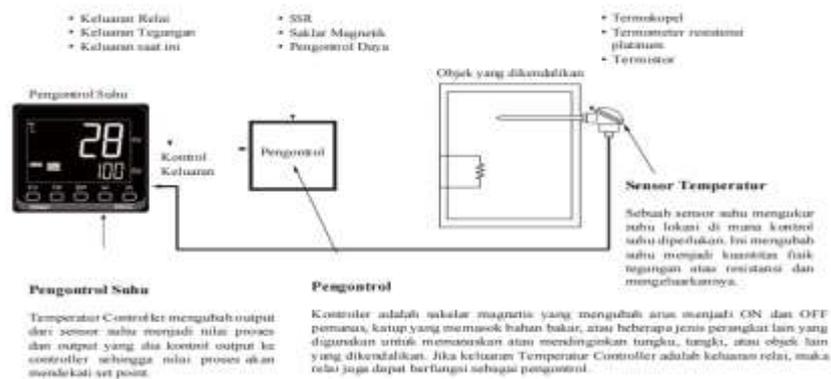
Metode kontrol yang ditanamkan pada pengendali temperatur industri umumnya meliputi *ON-OFF*, *Proportional (P)*, *Proportional-Integral (PI)*, *Proportional-Derivative (PD)*, *Proportional Integral-Derivative (PID)*. Tipe peralatan aktuasi yang didukung meliputi *relay* elektromekanis untuk mode *ON/OFF* 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 2.23 Skema Sistem Kendali Umpan Balik
 Sumber: Penjelasan Teknik Untuk Pengontrol Suhu

2.4.2 Konfigurasi Pengendali Temperatur

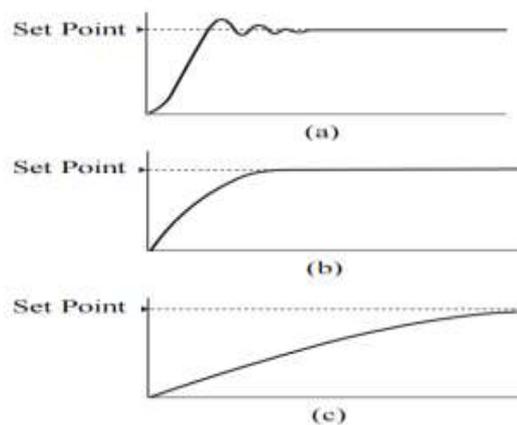
Menurut (Tadeus & Setiono, 2018) secara umum konfigurasi pengendali sistem regulasi pada temperatur merupakan menerima data temperatur dari objek, membandingkan dengan referensi atau *set point*, mengeksekusi perhitungan metode kontrol, dan mengeluarkan sinyal perintah ke peralatan *power* kontroler 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*.



Gambar 2.24 Konfigurasi dasar *Temperature Control*

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 :

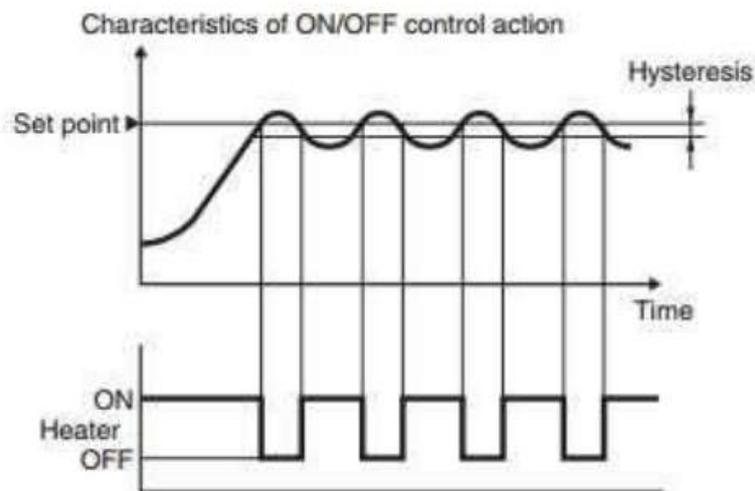


Gambar 2.25 Respon Objek Terhadap Aksi Pengendali

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. 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 *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 2.26 Respon Objek Terhadap Metode *Control ON-OFF*

Sumber: Penjelasan Teknik Untuk Pengontrol Suhu

2.4.4 Bagian-bagian *Temperature Controller Tipe* Autonics TZN4M

Dikutip dari instruksi manual *book* (Anonim, 2012) *temperature controller* tipe Autonics TZN4M 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 Autonics TZN4M yaitu :

2.4.4.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi *temperature controller* tipe Autonics TZN4M yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Spesifikasi *display* :

- *Display* : 7-segment LED (*PV* : red, *SV* : green)
- Dimensi : 72mm x 85mm x 67mm.
- *Power* : AC 220V 50/60HZ.
- *Range* : -0 - 800°C
- Akurasi pengukuran : 0.3%FS.
- Berat Satuan : ± 355 g.

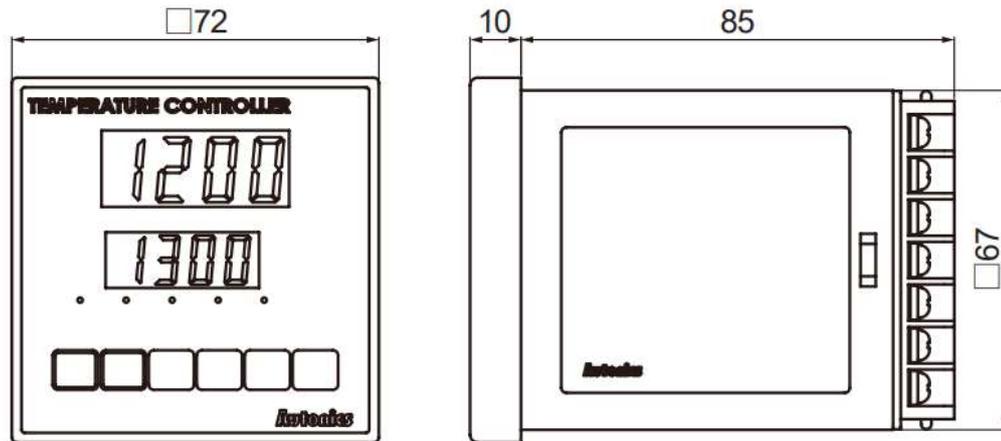
b. Tipe masukan :

- 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, 1A (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, 3A (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

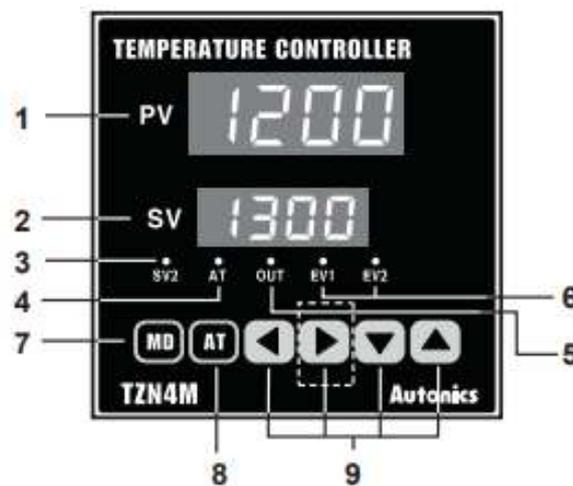
Untuk ukuran dimensi dari *temperature controller* tipe *Autonics TZN4M* adalah : 72mm x 85mm x 67mm.



Gambar 2.27 dimensi Modul *Temperature Control* TZN4M

2.4.4.3 Deskripsi Bagian

Untuk deskripsi tampilan bagian depan dari *temperature controller* tipe Autonics TZN4M adalah sebagai berikut :



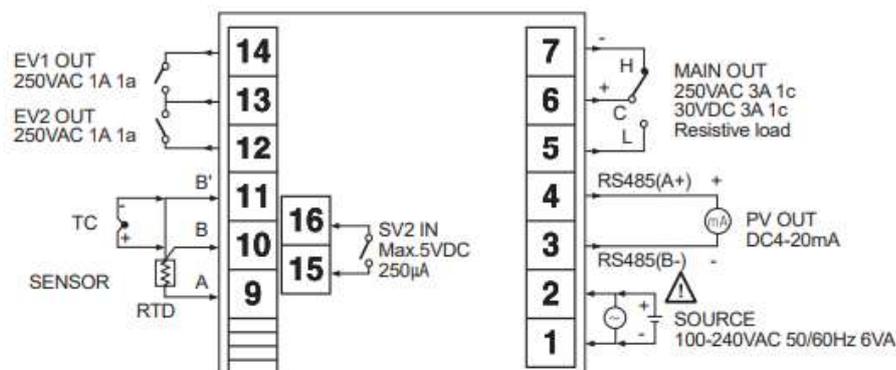
Gambar 2.28 tampilan depan *temperature controller* tipe Autonics TZN4M

1. Tampilan nilai sekarang (PV) (merah): Mode RUN: menampilkan nilai saat ini (PV) Mode pengaturan: menampilkan parameter
2. Tampilan nilai yang ditetapkan (SV) (hijau): Mode RUN: menampilkan nilai yang ditetapkan (SV) Mode pengaturan: menampilkan nilai pengaturan parameter
3. Indikator operasi SV2: menyala saat SV2 beroperasi

4. Indikator penyetelan otomatis: menyala saat penyetelan otomatis
5. Indikator operasi keluaran kontrol: menyala saat keluaran kontrol menyala.
Tidak beroperasi saat keluaran kontrol adalah keluaran saat ini.
6. Indikator keluaran peristiwa: menyala saat keluaran peristiwa yang sesuai menyala. ※Indikator keluaran Peristiwa 2 tidak beroperasi di TZ4SP.
7. Tombol mode: masukkan grup parameter, kembali ke mode RUN, alihkan parameter, simpan nilai pengaturan
8. Tombol penyetelan otomatis: tahan tombol selama 3 detik untuk memulai penyetelan otomatis. Tahan tombol selama 5 detik saat penyetelan otomatis untuk menghentikan penyetelan otomatis.
9. Pengaturan kunci: masuk ke mode perubahan SV, alihkan bidang, ubah nilai (kunci di garis putus-putus hanya tersedia di model TZ4M dan TZ4L)

2.4.4.4 Konfigurasi Terminal

Untuk konfigurasi terminal *temperature controller* tipe Autonics TZN4M adalah sebagai berikut :



Gambar 2.29 konfigurasi terminal *temperature controller* Autonics TZN4M

1. Terminal 1 dan 2 untuk sumber tegangan 100 – 240 VAC
2. Terminal 3 dan 4 untuk kabel komunikasi RS485
3. Terminal 5, 6 dan 7 untuk pembacaan beban resistif
4. Terminal 9, 10 dan 11 untuk input sensor Thermocouple atau RTD
5. Terminal 12, 13 dan 14 sebagai keluaran untuk kontak signal alarm
6. Terminal 15 dan 16 untuk mengatur *Set Point Value*

2.5 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).



Gambar 2.30 sensor Thermocouple

2.5.1 Prinsip kerja sensor Thermocouple

Sistem Kerja Termokopel didasarkan pada Efek *Seebeck*, yaitu fenomena termoelektrik di mana tegangan listrik dihasilkan akibat perbedaan suhu antara dua ujung dari dua jenis logam atau paduan logam yang berbeda. Berikut adalah penjelasan sistem kerjanya:

Komponen utama Thermocouple

1. Junction (Sambungan)

- Hot Junction: Titik di mana dua jenis logam bersentuhan dan ditempatkan pada suhu yang ingin diukur.
 - Cold Junction: Titik referensi, biasanya berada pada suhu yang diketahui atau dikompensasi secara elektronik.
2. Material Logam
 - Logam atau paduan logam yang digunakan memiliki sifat termoelektrik berbeda (contohnya, tipe K menggunakan Nickel-Chromium dan Nickel-Aluminum).
 3. Kabel Penghubung
 - Kabel ini membawa tegangan listrik yang dihasilkan oleh efek *Seebeck* dari *junction* ke alat pembaca (*readout*).

Prinsip Kerja

1. Perbedaan Suhu
 - Ketika *Hot Junction* dan *Cold Junction* berada pada suhu yang berbeda, perbedaan suhu ini menciptakan gradien termoelektrik di antara kedua logam.
2. Efek *Seebeck*
 - Tegangan listrik (dalam milivolt) dihasilkan di sepanjang sambungan logam sebagai respons terhadap perbedaan suhu.
 - Besarnya tegangan sebanding dengan perbedaan suhu antara *Hot Junction* dan *Cold Junction*.
3. Pengukuran Tegangan
 - Tegangan yang dihasilkan diterjemahkan menjadi suhu menggunakan tabel kalibrasi atau formula yang sesuai dengan jenis termokopel.
4. Kompensasi *Cold Junction*
 - Karena suhu referensi (*Cold Junction*) juga memengaruhi hasil pengukuran, alat pembaca biasanya dilengkapi dengan fitur kompensasi untuk mengoreksi suhu ini.

2.5.2 Spesifikasi Thermocouple

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

- a. Ukuran :
- 1/2 x 200 mm.
- b. Temperatur maksimal :
- $\pm 1200^{\circ}\text{C}$.
- c. Jangkauan temperature
- Tersedia dengan rentang pengukuran standar dari -50°C hingga $+800^{\circ}\text{C}$ dengan opsi kemampuan rentang yang diperluas dari -196°C hingga $+1200^{\circ}\text{C}$ menggunakan elemen *wirewound*. Versi *wirewound* menawarkan stabilitas jangka panjang yang lebih baik dan ketahanan mekanik yang lebih baik terhadap getaran.
- d. 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 $+350^{\circ}\text{C}$.
- e. Standar ukuran elemen :
- Film : 2 mm x 5 mm.
 - *Wire wound* : 2 mm x 30 mm.
- f. Ketahanan isolasi :
- Resistansi isolasi minimum 1000 mega Ω bila diukur pada 500 VDC.
- g. Pemanasan sendiri :
- 0,15 K/mW saat diukur dengan metode yang ditentukan dalam DIN EN 60751:1996.
- h. Panjang perendaman :
- Panjang perendaman yang dapat digunakan 60mm saat diuji menurut DIN EN 6075

2.5.3 Tabel Data Sheet Thermocouple Type E

REOTEMP
INSTRUMENTS

ITS-90 Table for Type E Thermocouple (Ref Junction 0°C) <http://reotemp.com>

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
0	0.000	0.059	0.118	0.176	0.235	0.294	0.354	0.413	0.472	0.532	0.591
10	0.591	0.651	0.711	0.770	0.830	0.890	0.950	1.010	1.071	1.131	1.192
20	1.192	1.252	1.313	1.373	1.434	1.495	1.556	1.617	1.678	1.740	1.801
30	1.801	1.862	1.924	1.986	2.047	2.109	2.171	2.233	2.295	2.357	2.420
40	2.420	2.482	2.545	2.607	2.670	2.733	2.795	2.858	2.921	2.984	3.048
50	3.048	3.111	3.174	3.238	3.301	3.365	3.429	3.492	3.556	3.620	3.685
60	3.685	3.749	3.813	3.877	3.942	4.006	4.071	4.136	4.200	4.265	4.330
70	4.330	4.395	4.460	4.526	4.591	4.656	4.722	4.788	4.853	4.919	4.985
80	4.985	5.051	5.117	5.183	5.249	5.315	5.382	5.448	5.514	5.581	5.648
90	5.648	5.714	5.781	5.848	5.915	5.982	6.049	6.117	6.184	6.251	6.319
100	6.319	6.386	6.454	6.522	6.590	6.658	6.725	6.794	6.862	6.930	6.998
110	6.998	7.066	7.135	7.203	7.272	7.341	7.409	7.478	7.547	7.616	7.685
120	7.685	7.754	7.823	7.892	7.962	8.031	8.101	8.170	8.240	8.309	8.379
130	8.379	8.449	8.519	8.589	8.659	8.729	8.799	8.869	8.940	9.010	9.081
140	9.081	9.151	9.222	9.292	9.363	9.434	9.505	9.576	9.647	9.718	9.789
150	9.789	9.860	9.931	10.003	10.074	10.145	10.217	10.288	10.360	10.432	10.503
160	10.503	10.575	10.647	10.719	10.791	10.863	10.935	11.007	11.080	11.152	11.224
170	11.224	11.297	11.369	11.442	11.514	11.587	11.660	11.733	11.805	11.878	11.951
180	11.951	12.024	12.097	12.170	12.243	12.317	12.390	12.463	12.537	12.610	12.684
190	12.684	12.757	12.831	12.904	12.978	13.052	13.126	13.199	13.273	13.347	13.421
200	13.421	13.495	13.569	13.644	13.718	13.792	13.866	13.941	14.015	14.090	14.164
210	14.164	14.239	14.313	14.388	14.463	14.537	14.612	14.687	14.762	14.837	14.912
220	14.912	14.987	15.062	15.137	15.212	15.287	15.362	15.438	15.513	15.588	15.664
230	15.664	15.739	15.815	15.890	15.966	16.041	16.117	16.193	16.269	16.344	16.420
240	16.420	16.496	16.572	16.648	16.724	16.800	16.876	16.952	17.028	17.104	17.181
250	17.181	17.257	17.333	17.409	17.486	17.562	17.639	17.715	17.792	17.868	17.945
260	17.945	18.021	18.098	18.175	18.252	18.328	18.405	18.482	18.559	18.636	18.713
270	18.713	18.790	18.867	18.944	19.021	19.098	19.175	19.252	19.330	19.407	19.484
280	19.484	19.561	19.639	19.716	19.794	19.871	19.948	20.026	20.103	20.181	20.259
290	20.259	20.336	20.414	20.492	20.569	20.647	20.725	20.803	20.880	20.958	21.036
300	21.036	21.114	21.192	21.270	21.348	21.426	21.504	21.582	21.660	21.739	21.817
310	21.817	21.895	21.973	22.051	22.130	22.208	22.286	22.365	22.443	22.522	22.600
320	22.600	22.678	22.757	22.835	22.914	22.993	23.071	23.150	23.228	23.307	23.386
330	23.386	23.464	23.543	23.622	23.701	23.780	23.858	23.937	24.016	24.095	24.174
340	24.174	24.253	24.332	24.411	24.490	24.569	24.648	24.727	24.806	24.885	24.964
350	24.964	25.044	25.123	25.202	25.281	25.360	25.440	25.519	25.598	25.678	25.757
360	25.757	25.836	25.916	25.995	26.075	26.154	26.233	26.313	26.392	26.472	26.552
370	26.552	26.631	26.711	26.790	26.870	26.950	27.029	27.109	27.189	27.268	27.348
380	27.348	27.428	27.507	27.587	27.667	27.747	27.827	27.907	27.986	28.066	28.146
390	28.146	28.226	28.306	28.386	28.466	28.546	28.626	28.706	28.786	28.866	28.946
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Gambar 2.31 Tabel Temperature Thermocouple *Type E*

REOTEMP
INSTRUMENTS

ITS-90 Table for Type E Thermocouple (Ref Junction 0°C) http://reotemp.com

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
400	28.946	29.026	29.106	29.186	29.266	29.346	29.427	29.507	29.587	29.667	29.747
410	29.747	29.827	29.908	29.988	30.068	30.148	30.229	30.309	30.389	30.470	30.550
420	30.550	30.630	30.711	30.791	30.871	30.952	31.032	31.112	31.193	31.273	31.354
430	31.354	31.434	31.515	31.595	31.676	31.756	31.837	31.917	31.998	32.078	32.159
440	32.159	32.239	32.320	32.400	32.481	32.562	32.642	32.723	32.803	32.884	32.965
450	32.965	33.045	33.126	33.207	33.287	33.368	33.449	33.529	33.610	33.691	33.772
460	33.772	33.852	33.933	34.014	34.095	34.175	34.256	34.337	34.418	34.498	34.579
470	34.579	34.660	34.741	34.822	34.902	34.983	35.064	35.145	35.226	35.307	35.387
480	35.387	35.468	35.549	35.630	35.711	35.792	35.873	35.954	36.034	36.115	36.196
490	36.196	36.277	36.358	36.439	36.520	36.601	36.682	36.763	36.843	36.924	37.005
500	37.005	37.086	37.167	37.248	37.329	37.410	37.491	37.572	37.653	37.734	37.815
510	37.815	37.896	37.977	38.058	38.139	38.220	38.300	38.381	38.462	38.543	38.624
520	38.624	38.705	38.786	38.867	38.948	39.029	39.110	39.191	39.272	39.353	39.434
530	39.434	39.515	39.596	39.677	39.758	39.839	39.920	40.001	40.082	40.163	40.243
540	40.243	40.324	40.405	40.486	40.567	40.648	40.729	40.810	40.891	40.972	41.053
550	41.053	41.134	41.215	41.296	41.377	41.457	41.538	41.619	41.700	41.781	41.862
560	41.862	41.943	42.024	42.105	42.185	42.266	42.347	42.428	42.509	42.590	42.671
570	42.671	42.751	42.832	42.913	42.994	43.075	43.156	43.236	43.317	43.398	43.479
580	43.479	43.560	43.640	43.721	43.802	43.883	43.963	44.044	44.125	44.206	44.286
590	44.286	44.367	44.448	44.529	44.609	44.690	44.771	44.851	44.932	45.013	45.093
600	45.093	45.174	45.255	45.335	45.416	45.497	45.577	45.658	45.738	45.819	45.900
610	45.900	45.980	46.061	46.141	46.222	46.302	46.383	46.463	46.544	46.624	46.705
620	46.705	46.785	46.866	46.946	47.027	47.107	47.188	47.268	47.349	47.429	47.509
630	47.509	47.590	47.670	47.751	47.831	47.911	47.992	48.072	48.152	48.233	48.313
640	48.313	48.393	48.474	48.554	48.634	48.715	48.795	48.875	48.955	49.035	49.116
650	49.116	49.196	49.276	49.356	49.436	49.517	49.597	49.677	49.757	49.837	49.917
660	49.917	49.997	50.077	50.157	50.238	50.318	50.398	50.478	50.558	50.638	50.718
670	50.718	50.798	50.878	50.958	51.038	51.118	51.197	51.277	51.357	51.437	51.517
680	51.517	51.597	51.677	51.757	51.837	51.916	51.996	52.076	52.156	52.236	52.315
690	52.315	52.395	52.475	52.555	52.634	52.714	52.794	52.873	52.953	53.033	53.112
700	53.112	53.192	53.272	53.351	53.431	53.510	53.590	53.670	53.749	53.829	53.908
710	53.908	53.988	54.067	54.147	54.226	54.306	54.385	54.465	54.544	54.624	54.703
720	54.703	54.782	54.862	54.941	55.021	55.100	55.179	55.259	55.338	55.417	55.497
730	55.497	55.576	55.655	55.734	55.814	55.893	55.972	56.051	56.131	56.210	56.289
740	56.289	56.368	56.447	56.526	56.606	56.685	56.764	56.843	56.922	57.001	57.080
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Gambar 2.32 Tabel Temperature Thermocouple Type E

2.5.4 Tampilan Terminal *Head* Pada Thermocouple Type E

Untuk tampilan terminal *Head* kabel listrik pada sensor yang akan dihubungkan pada sensor Thermocouple adalah sebagai berikut:



Gambar 2.33 Terminal *Head* Sensor Thermocouple

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 penyesuaian 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 2.34 Elemen *Heater*

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 disilisida, 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 :

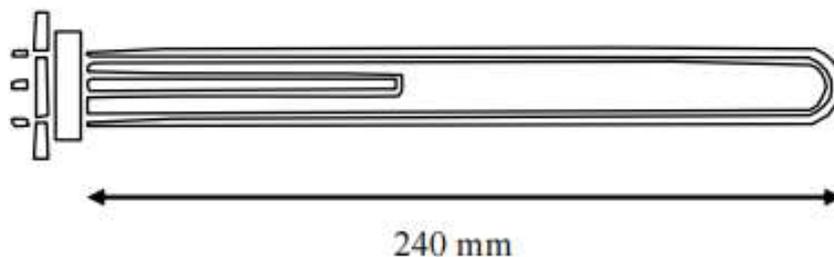
2.6.3.1 Spesifikasi

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 440 *Volt*.
- d. Konsumsi daya :
 - 2200 *Watt*.

2.6.3.2 Dimensi

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



Gambar 2.35 Dimensi Elemen *Heater*

2.7 Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

Dikutip dalam jurnal (Rumimper et al., 2016) MCCB (*Moulded Case 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 MCCB 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 MCCB adalah 50-125 Amper. 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 MCCB :

- 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 industri MCCB dipasang di panel distribusi listrik seperti lampu, starting pompa dan lain sebagainya. Jika di panel terjadi *trip* disebabkan beban lebih atau hubung singkat, maka yang akan dicari untuk menyalakan listrik distribusi adalah MCCB yang ada di panel distribusi. Dalam penelitian ini menggunakan MCCB dengan merek Mitsubishi dengan kapasitas 100 *ampere*.

2.7.1 Fungsi MCCB

Menurut (Rumimper et al., 2016) MCCB 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 MCCB (biasanya berwarna biru atau hitam) dari posisi “*ON*” ke posisi “*OFF*” dan bagian mekanis dalam MCCB 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

MCCB *switch off*. Sedangkan MCCB akan otomatis “OFF” bila dideteksi terjadi arus lebih, disebabkan karena beban pemakaian listrik yang lebih, atau terjadi gangguan hubung singkat, oleh bagian didalam MCCB dan memerintahkan MCCB untuk “OFF” agar aliran listrik terputus. Istilah yang biasa dipakai adalah MCCB *trip*. Berikut beberapa fungsi dari *Miniature Circuit Breaker* atau (MCCB) :

a. Pemutus arus

MCCB 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 MCCB (biasanya berwarna biru atau hitam) dari posisi “ON” ke posisi “OFF” kemudian bagian mekanis dalam MCCB 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 MCCB *switch off*. Sedangkan MCCB akan otomatis “OFF” bila terjadi arus lebih, yang disebabkan karena beban pemakaian listrik yang lebih atau terjadi gangguan hubung singkat, sehingga bagian dalam MCCB akan memerintahkan untuk “OFF” agar aliran listrik terputus. Istilah yang biasa dipakai adalah MCCB *trip*.

b. Proteksi beban lebih

Fungsi ini akan bekerja bila MCCB mendeteksi arus listrik yang melebihi rating-nya. Misalnya, suatu MCCB mempunyai rating arus listrik 6A tetapi arus listrik aktual yang mengalir melalui MCCB tersebut ternyata 7A, maka MCCB akan *trip* dengan *delay* waktu yang cukup lama sejak MCCB ini mendeteksi arus lebih tersebut. Bagian di dalam MCCB 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* mekanisMCCB memutus 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. MCCB 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 MCCB 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 MCCB

Berdasarkan konstruksinya, maka MCCB 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 melepas 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

2.7.3 Bagian-bagian MCCB

Moulded Case Circuit Breaker (MCCB) memiliki bagian-bagian dengan fungsi tertentu dan didesain sedemikian mungkin dengan spesifikasi yang sesuai untuk menunjang kinerja dari MCCB itu sendiri. Berikut adalah bagian-bagian, bentuk dan spesifikasi dari MCCB yaitu :

2.7.3.1 Komponen-komponen

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



Gambar 2.36 Komponen-Komponen MCCB

Sumber (www.a-electric.net)

Penjelasan nomor dari gambar 2.36 adalah sebagai berikut:

1. Bahan BMC untuk *body* dan tutup
2. Peredam busur api
3. Blok sambungan untuk pemasangan ST dan UVT
4. Penggerak lepas-sambung
5. Kontak bergerak
6. Data spesifikasi MCCB dan pabrik pembuat
7. Magnetic trip

2.7.3.2 Spesifikasi

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

- a. Merek :
 - Mitsubishi.
- b. Ukuran :
 - 60 mm x 90 mm x 130 mm.
- c. Berat satuan :
 - $\pm 0,9$ kg.
- d. Deskripsi tiang :
 - 3 *Pole*.
- e. Kapasitas arus :
 - 100 *Ampere*.
- f. Tipe jaringan :
 - AC (*Alternative Current*).
- g. Kapasitas pemutusan :
 - 6000 A sesuai dengan IEC 60947-2 - 440 VAC 60 Hz.
- h. Frekuensi jaringan :
 - 60 Hz.
- i. Tegangan operasional pengenalan [U_e] :
 - 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.

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 SC-N2S kapasitas 50 *ampere*.

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 Fuji Electric dengan tipe Sc-N2S kapasitas 0 *ampere*.



Gambar 2.38 Magnetik Kontaktor Tipe SC-N2S

Sumber: Fuji Electric 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 SC-N2S yaitu :

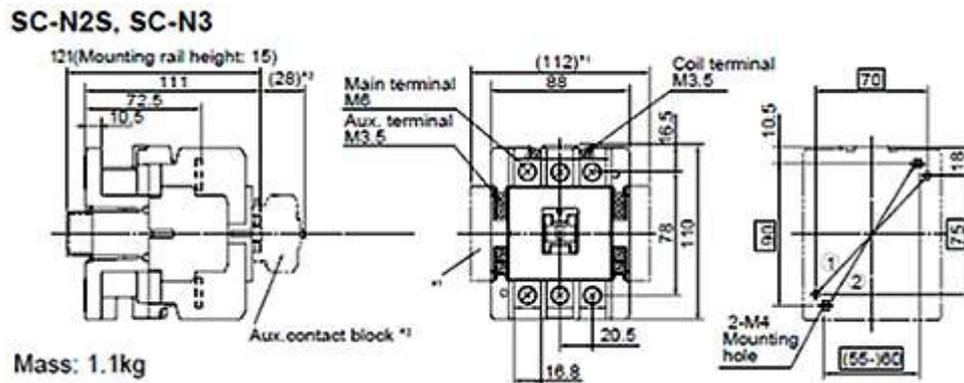
2.8.3.1 Spesifikasi

Untuk spesifikasi magnetik kontaktor tipe SC-N2S yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Merek :
 - Mitsubishi Electric.
- b. Ukuran :
 - 88 mm x 112 mm.
- c. Berat satuan :
 - $\pm 1,1$ kg.
- d. Tegangan operasional pengenal [Ue] :
 - AC 200-690 Volt 50/60 Hz.
- e. Kapasitas arus :
 - 50 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 :

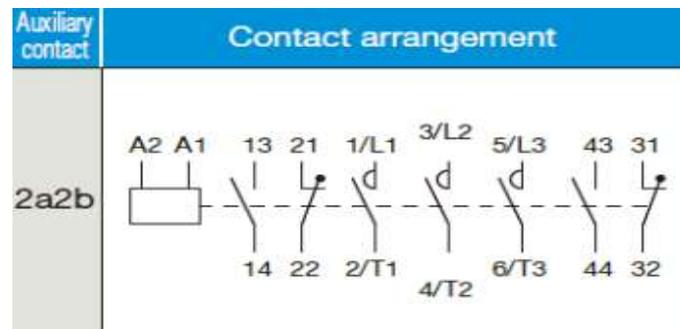


Gambar 2. 39 dimensi Magnetik Kontaktor Tipe SC-N2S

Sumber: Fuji Electric Manual *Book*

2.8.3.3 Pengaturan Kontak

Untuk pengaturan kontak pada magnetik kontaktor tipe SC-N2S gambarnya sebagai berikut :



Gambar 2. 40 Pengaturan Kontak Magnetik Kontaktor Tipe SC-N2S

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 Fuji Electric dengan tipe TR-N3Q kapasitas 34-50 *ampere*.



Gambar 2. 41 *Thermal Overload Relay* Tipe TR-N3Q

Sumber: *Technical Catalogue* Fuji Electric

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 kontaknya dapat kembali lurus dan kontaknya 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 :

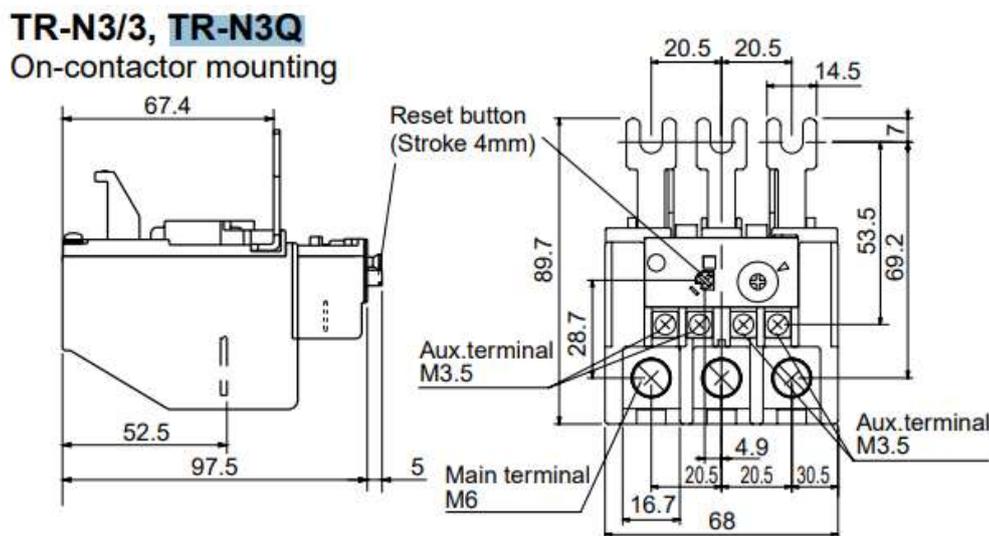
2.9.3.1 Spesifikasi

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

- a. Merek :
- Fuji electric
- b. Ukuran :
- 89 mm x 97 mm x 52 mm.
- c. Berat satuan :
- ± 300 g.
- d. Tegangan operasional pengenalan [Ue] :
- AC 660 Volt 50/60 Hz.
- e. Kapasitas arus :
- 34 – 50 Ampere.
- f. Kontak bantu :
- 1 NO (*Normaly Open*) dan 1 NC (*Normaly Close*).
- g. Warna :
- Putih.

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 :

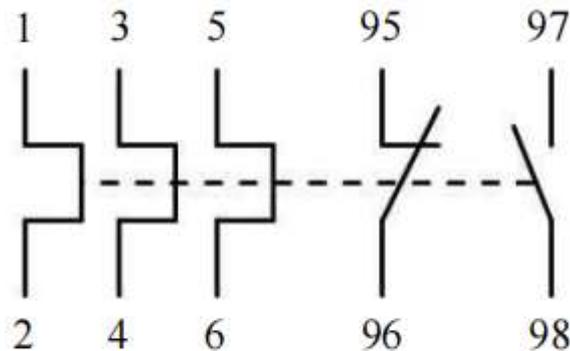


Gambar Gambar 2.42 Dimensi *Thermal Overload Relay* Tipe TR-N3Q

Sumber: *Technical Catalogue* Fuji Electric

2.9.3.3 Pengaturan Kontak

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



Gambar 2.43 Kontak Bantu *Thermal Overload Relay* Tipe TR-N3Q

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 2.44 Relay Tipe MY4N

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

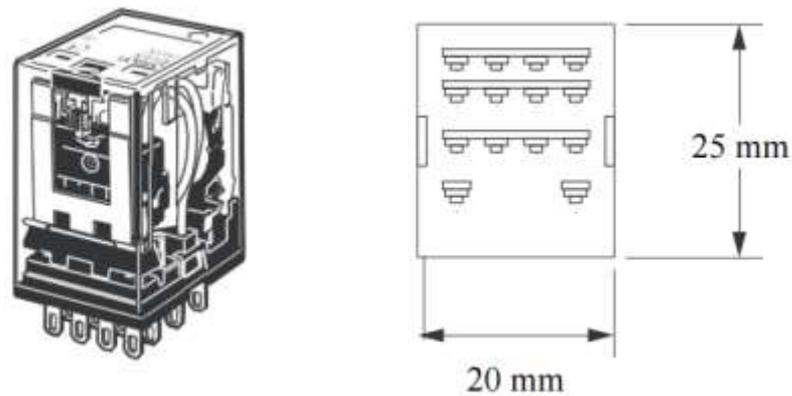
Untuk spesifikasi *relay* 4PDT Tipe MY4N yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 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 pengenalan [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

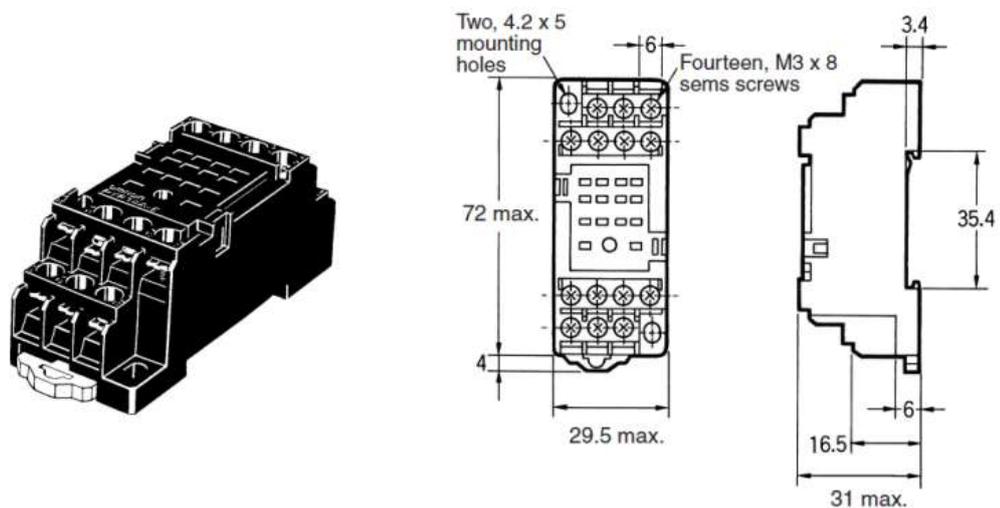
Untuk model *relay* yang digunakan pada penelitian ini adalah *relay* 4PDT tipe MY4N. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2.45 Dimensi *Relay* 4PDT Tipe MY4N

2.10.3.3 Dimensi *Socket Relay*

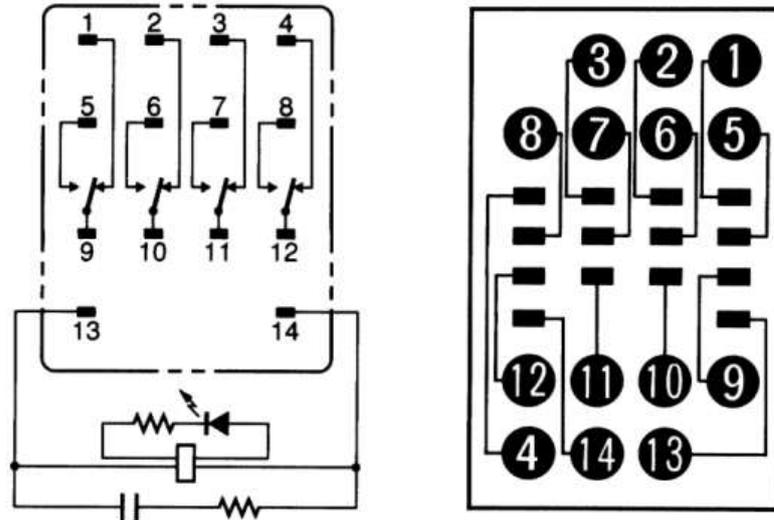
Untuk dimensi *socket relay* 4PDT tipe MY4N yang digunakan adalah tipe *socket* PYF14A-E. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2.46 Dimensi *Socket Relay* Tipe PYF14A-E

2.10.3.4 Pengaturan Kontak

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



Gambar 2.47 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* :

- a. *Selector switch* 2 posisi.
- b. *Selector switch* 3 posisi.
- c. *Selector switch* 4 posisi.
- d. *Selector switch* 12 posisi.

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



Gambar 2.48 Selector Switch Tipe Piele off/on/off

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 :

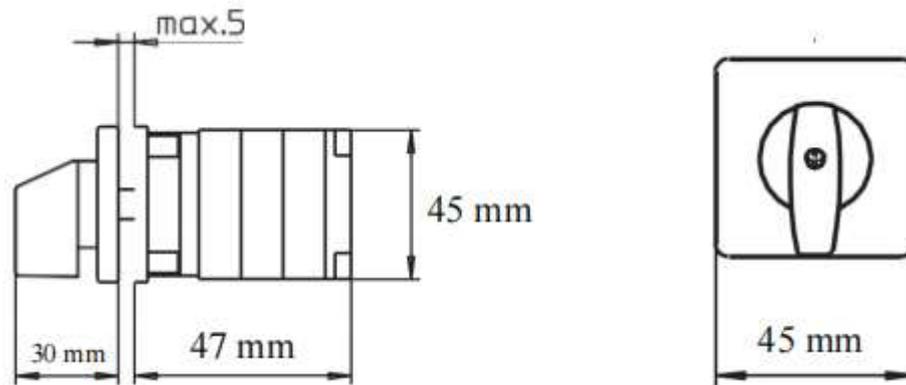
2.11.3.1 Spesifikasi

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

- a. Merek :
 - Piele.
- 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 :
 - \pm 100 g.
- e. Kapasitas arus :
 - 20 *Ampere*.
- f. Frekuensi jaringan :
 - 50/60 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 2.49 Dimensi Selector Switch Tipe Piele

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 2.50 Emergency Push Button Tipe CRE-25R1R

Sumber : *Emergency 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

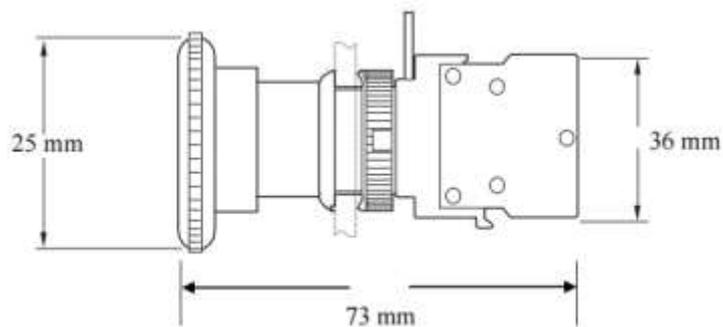
Untuk spesifikasi *emergency push button* tipe CRE-25R1R yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 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

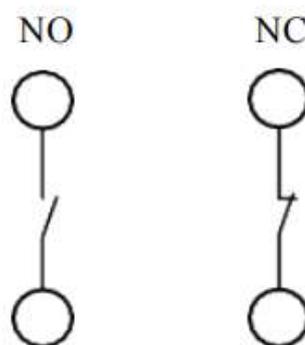
Untuk model *emergency push button* yang digunakan pada penelitian ini adalah *emergency push button* tipe CRE-25R1R. Dan berikut adalah tampilannya :



Gambar 2.51 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 2.52 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 2.53 Lampu Indikator AD16-22DS

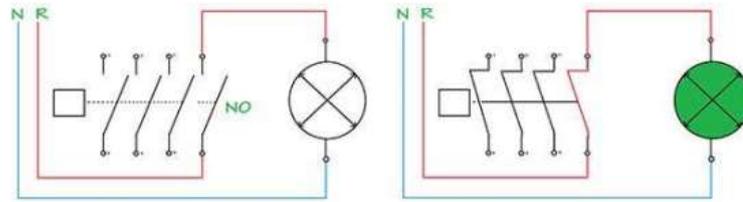
2.13.1 Fungsi Lampu Indikator

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 2.54 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

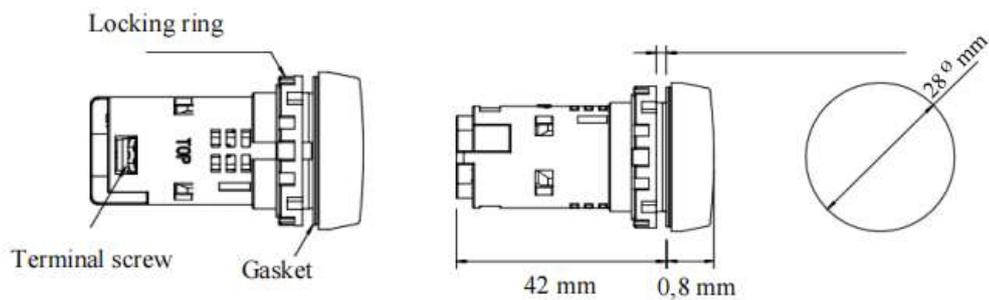
Untuk spesifikasi lampu indikator LED tipe AD16-22DS yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 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 2.55 Dimensi Lampu Indikator 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			■					
4	Analisa Data				■				
5	Seminar Proposal					■			
6	Seminar Hasil						■		
7	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. Adapun 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 menyetorkan baut positif.
- b. Obeng negatif berfungsi untuk membuka dan menyetorkan 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 *Thermocouple Type E* 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 30°C ke 98°C.

b. Pengujian lamanya penurunan suhu *temperature* dengan cara menghitung penurunan suhu dari 98°C ke 88°C.

2. Pengujian sensor *Thermocouple*

Pengujian dengan cara mengukur *resistance* yang dihasilkan pada sensor *Thermocouple*.

3. Pengujian elemen *heater*

Pengujian dengan cara mengukur tegangan yang menuju ke *heater* .

4. Pengujian kontaktor

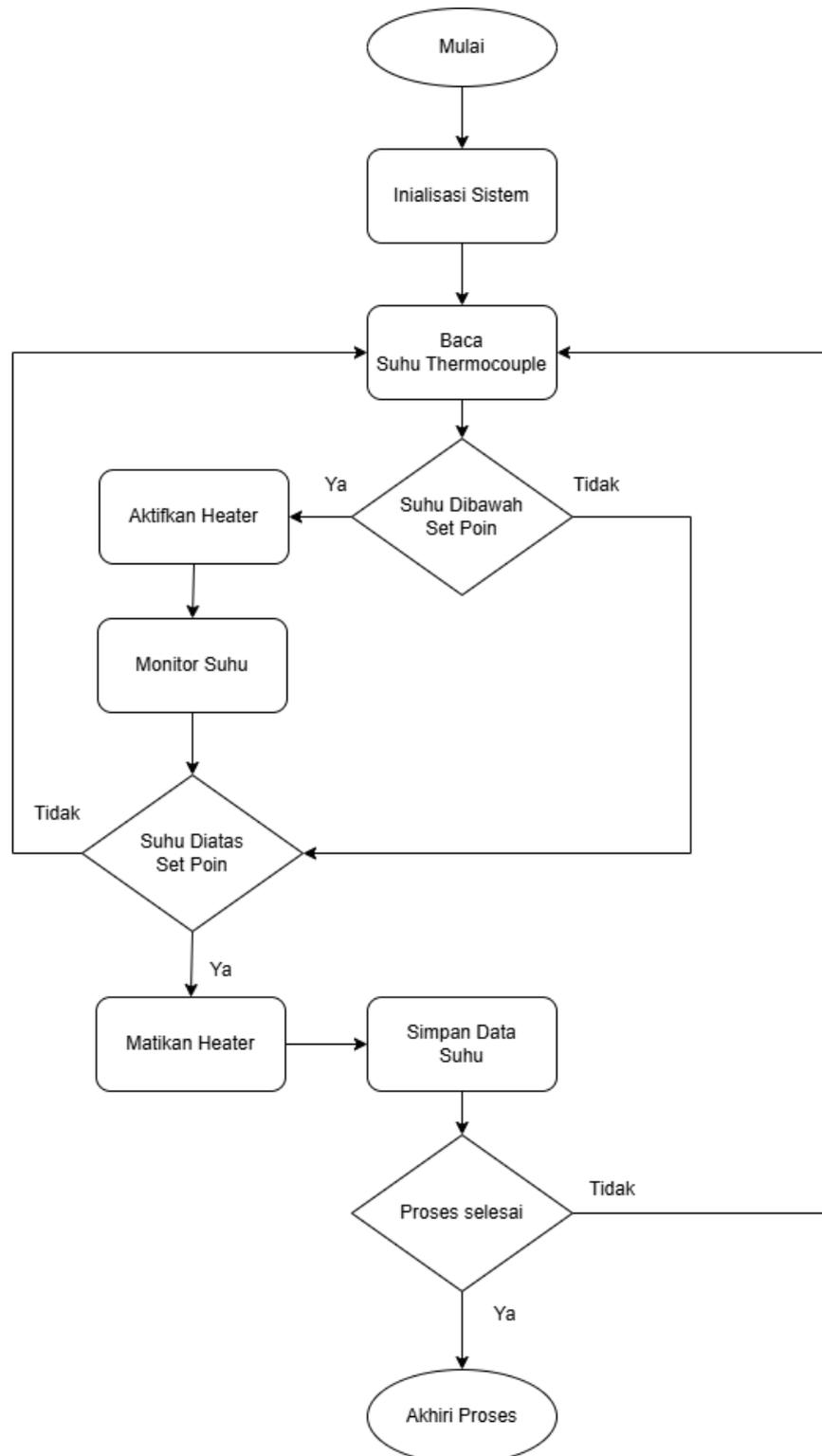
Pengujian dengan cara mengukur tegangan pada kontaktor.

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 :



Flowchart yang ditampilkan menggambarkan proses desain dan pengoperasian sistem kontrol pemanas, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Mulai

Proses dimulai dengan inisiasi perancangan sistem pemanas.

b. Inialisasi sistem

Langkah awal adalah memahami prinsip kerja sistem kontrol pemanas. Tahapan ini kontrol membaca temperature pada *Thermocouple* yang sudah di atur pembacaan temperatur nya.

c. Baca suhu *Thermocouple*

kontrol akan membaca suhu pada *Thermocouple*

d. Suhu dibawah Set poin

Jika suhu dibawah set poin maka *heater* akan menyala, jika tidak maka *heater* akan terus menyala sampai batas suhu yang sudah di atur pada kontrol

e. Aktifkan *heater*

Heater akan menyala dan mulai memanaskan

f. Monitor suhu

Modul kontrol akan memonitor suhu pada pemanas *heater*

Sistem memeriksa apakah suhu berada pada kondisi yang telah ditentukan:

- Jika suhu berada di bawah set poin maka sistem akan mengaktifkan pemanas.
- Jika suhu di atas set poin, sistem akan mematikan pemanas.

g. Suhu di atas set poin

Jika suhu berada di atas set poin, kontaktor mati.

h. Matikan *heater*

heater mati untuk menghentikan pemanasan.

i. Simpan data

Setelah *Heater* mati maka modul control akan menyimpan data yang sudah di set poin. Jika suhu sudah di bawah set poin maka *heater* modul control akan menghidupkan Kembali *heater*

j. Selesai

Sistem berakhir setelah suhu yang diinginkan tercapai dan pemanas dimatikan.

Flowchart ini mencerminkan sistem kontrol berbasis suhu yang digunakan untuk mengatur operasi pemanas secara otomatis

DAFTAR PUSTAKA

- Analysis of marine diesel engine emission characteristics of different power ranges in China* (Ma et al., 2021)
- Perhitungan Efisiensi Recovery Boiler Pada PT TOBA PULP LESTARI*, TBK (Sipahutar et al., 2022)
- Design of control system expand valve on water heating process air jacket* (Sipahutar et al., 2022)
- Hubungan Antara Konsumsi Bahan Bakar dengan Berbagai Perubahan Kecepatan pada Motor *Diesel* Penggerak Kapal (Syadam Arviyoga Pratama, 2022; Utomo, 2020)
- Pengoptimalan Perawatan Dan Pengujian *System Safety Device* Pada Mesin Induk Mitsubishi Di Tb. MBS 2000 1 PT. Alusteel Engineering Indonesia (Randis et al., 2019)
- Studi Pengembangan Spesifikasi *Marine Fuel* Indonesia (Ibrahim & Puppung, 2022)
- Burgess, Peter, and Gollan, D. (2000). *"How To Build, Modify And Power Tune Cylinder Head"*. Veloce Publishing PLC
- 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 MotorInduk Pada KM. Leuser"*. Kapal, 5(3), 123–135. Hanafi, G. (2006). *"Pengertian Mesin Diesel"*
- 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/10.1117/12.22313921>
- 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 Pembengkokan 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"*.