TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL FUEL PREHEATER BERBASIS LILITAN RESISTIF PADA KONSUMSI BAHAN BAKAR KENDARAAN DIESEL 4 SILINDER

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh:

NANDA AFIFSYAH
2207230148

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama	: NANDA AFIFSYAH
NPM	: 2207230148
Program Studi	: Teknik Mesin
Judul Skripsi	: RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL FUEL PREHEATER BERBASIS LILITAN RESISTIF PADA KONSUMSI BAHAN BAKAR KENDARAAN DIESEL 4 SILINDER
Bidang ilmu	: Konstruksi dan Manufaktur

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, 07 September 2026

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji	Dosen Penguji
Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., .M.T	Chandra A Siregar, S.T.,M.T
Dosen Pembimbing	Program Studi Teknik Mesin Ketua
H. Muharnif, ST,M.Sc	Chandra A Siregar, S.T.,M.T

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama Lengkap	: Nanda Afifsyah
NPM	2207230148
Tempat/tanggal Lahir	: Medan, 20 November 2004
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

"RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL FUEL PREHEATER BERBASIS LILITAN RESISTIF PADA KONSUMSI BAHAN BAKAR KENDARAAN DIESEL 4 SILINDER"

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, Hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, apapun segala kemungkinan lain yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir secara orisinal dan outentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses 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 Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2026

Penulis



Nanda Afifsyah

ii

ABSTRAK

Mesin diesel merupakan salah satu jenis mesin pembakaran dalam yang banyak digunakan pada kendaraan karena memiliki karakteristik torsi yang besar dan efisiensi bahan bakar yang baik. Namun, karakteristik bahan bakar solar yang memiliki viskositas relatif tinggi dapat memengaruhi proses pengaliran dan penginjeksian bahan bakar, terutama pada kondisi temperatur rendah. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk membantu meningkatkan kondisi bahan bakar sebelum menuju sistem injeksi adalah dengan menggunakan fuel preheater. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat fuel preheater pada mesin diesel Isuzu Panther dengan menggunakan elemen pemanas kawat nichrome dan sistem kontrol temperatur berbasis W1209. Fuel preheater dirancang menggunakan pipa sebagai media aliran bahan bakar dan elemen pemanas listrik dengan sumber tegangan 12 V DC dan daya sekitar 100 W. Sistem kontrol W1209 digunakan untuk mengatur kerja pemanas berdasarkan temperatur yang telah ditentukan dengan temperatur target sebesar 80°C. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, meliputi tahap perancangan, pembuatan, pemasangan, dan pengujian sistem fuel preheater. Pengujian dilakukan dengan mengamati perubahan temperatur terhadap waktu serta kerja sistem kontrol dalam mempertahankan temperatur yang telah ditentukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fuel preheater yang dirancang dapat meningkatkan temperatur bahan bakar dan sistem kontrol W1209 dapat digunakan untuk mengatur kerja elemen pemanas secara otomatis berdasarkan temperatur yang terukur. Dengan demikian, penggunaan fuel preheater diharapkan dapat membantu meningkatkan kondisi bahan bakar sebelum masuk ke sistem injeksi sehingga proses pembakaran pada mesin diesel dapat berlangsung lebih optimal.

Kata kunci: Fuel Preheater, Mesin Diesel, Isuzu Panther, Nichrome, W1209, Temperatur, Solar.

ABSTRAK

Diesel engines are a type of internal combustion engine widely used in vehicles due to their high torque and good fuel efficiency. However, the relatively high viscosity of diesel fuel can affect fuel flow and injection processes, particularly in low-temperature conditions. One method to improve fuel conditions prior to the injection system is the use of a fuel preheater. This study aimed to design and fabricate a fuel preheater for the Isuzu Panther diesel engine, utilizing a nichrome wire heating element and a W1209-based temperature control system. The preheater design incorporated a pipe as the fuel flow medium and an electric heating element powered by a 12 V DC source with a power output of approximately 100 W. The W1209 control system was employed to regulate the heater's operation based on a preset target temperature of 80°C. An experimental research method was adopted, encompassing the design, fabrication, installation, and testing of the fuel preheater system. Testing involved monitoring temperature changes over time and evaluating the control system's performance in maintaining the specified temperature. The results demonstrated that the designed fuel preheater successfully raised the fuel temperature, and the W1209 control system effectively regulated the heating element's operation automatically based on measured temperatures. Consequently, the use of this fuel preheater is expected to improve fuel conditions before entering the injection system, thereby optimizing the combustion process within the diesel engine.

Keywords: Fuel preheater, diesel engine, Isuzu Panther, Nichrome, W1209, temperature, diesel fuel.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan Syukur kehadirat Allah Swt yang telah memberikan hidayahNya hingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Kontrol Fuel Preheater Berbasis Lilitan Resistif Pada Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Diesel 4 Silinder". guna melengkapi tugas-tugas serta memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar akademik sarjana teknik, program studi teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, serta shalawat beriring salam pada junjungan Nabi besar Muhammad SAW yang dengan kepemimpinannya beliau kita bisa sampai sekarang ini.

Proposal skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa penyusunan proposal ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak H. Muharnif, ST,M.Sc Selaku Dosen Pembimbing, yang dengan sabar telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta masukan selama penyusunan proposal ini.
2. Bapak Chandra Amirsyah Putra Siregar, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknik mesinan kepada penulis.
5. Kedua orang tua tercinta yang telah banyak memberikan kasih sayang, motivasi, dukungan dan doa restu kepada penulis, atas segala jerih payah dan

pengorbanan tanpa mengenal lelah dalam memenuhi kebutuhan penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal ini dengan baik.

6. Pegawai dan Staf biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas kelancaran dalam proses administrasi.
7. Teman-teman seperjuangan di Program Studi Teknik Mesin, serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam proses penyusunan proposal ini.
8. Bapak Prof. Dr. Akrim, M,Pd selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Bapak Dr. Khairul Umurani, S.T., M.T. Selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Bapak Affandi, S.T., M.T. Selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Untuk Novita Sari Psaribu, yang selalu mendukung dan menemani proses penulis.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan proposal penelitian ini. Semoga proposal ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri maupun bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Medan, September 2026

Hormat Penulis,

Nanda Afifsyah

NIM.2207230148

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN **i**
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR **ii**
ABSTRAK **iii**
ABSTRACT **iv**
KATA PENGANTAR **v**
DAFTAR ISI **vii**
DAFTAR TABEL **ix**
DAFTAR GAMBAR **x**

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Ruang Lingkup 2
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **4**
2.1 Mesin Diesel 4
2.2 Sistem Pembakaran Mesin Diese 4
2.3 Karakteristik Bahan Bakar Diese 5
2.4 Fuel Preheater 6
2.5 Preheater Bahan Bakar Berbasis Lilitan Resistif 7
2.5.1 Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar terhadap Pembakaran 8
2.6 Penelitian Terdahulu 8
2.7 Sistem Kontrol Temperatur Menggunakan Modul W1209 9
2.8 Rancang Bangun 10
2.9 Konsep Rancang Bangun 11
2.10 Proses Pembuata 12

BAB III METODE PENELITIAN **13**
3.1 Tempat dan Waktu 13
3.1.1 Tempat Penelitian 13
3.1.2 Waktu Penelitian 13
3.2 Bahan dan Alat 13
3.2.1 Bahan Penelitian 13
3.2.2 Alat Penelitian 15
3.3 Bagan Alir Penelitian 19
3.4 Rancangan Alat Penelitian 20
3.4.1 Desain Umum Alat 20
3.4.2 Saluran Bahan Bakar (Solar) 20
3.4.3 Elemen Pemanas (Lilitan Resistif) 21
3.4.4 Casing atau Rumah Pemanas 21
3.4.5 Sistem Kelistrikan 21
3.4.6 Sensor dan Alat Ukur 21
3.4.7 Prinsip Kerja Alat 21
3.5 Prosedur Penelitian22 22

3.5.1 Identifikasi Masalah dan Studi Literatur 22
3.5.2 Perancangan Alat dan Sistem Kontrol 22
3.5.3 Pembuatan dan Perakitan Alat 22
3.5.4 Instalasi dan Pemeriksaan Awal *(Commissioning)* *23*
3.5.5 Pengujian dan Pengambilan Data 23
3.5.6 Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan 24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN **25**
4.1 Rancangan Sistem Kontrol Fuel Preheater 25
4.1.1 Rancangan Komponen Sistem Kontrol 26
4.1.2 Perhitungan Rancangan 27
4.1.3 Rancangan Rangkaian Fuel Preheater 29
4.1.4 Prinsip Kerja Sistem Kontrol 30
4.2 Pembuatan Sistem Kontrol Fuel Preheater 31
4.2.1 Persiapan Bahan dan Komponen 31
4.2.2 Pembuatan Elemen Pemanas 31
4.2.3 Pemasangan Komponen Sistem Kontrol 32
4.2.4 Perakitan Sistem Kontrol Fuel Preheater 32
4.2.5 Pemeriksaan Sistem Kontrol Fuel Preheater 33
4.2.6 Tahap Akhir Perakitan 34
4.3 Pengujian Fuel Preheater 34
4.4 Hasil Pengujian Fuel Preheater 34
4.5 Grafik Temperatur terhadap Konsumsi 35
4.6 Grafik Temperatur Terhadap Waktu 36
4.7 Analisis Hasil Pengujian 37
4.8. Pembahasan 37

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN **39**
5.1 Kesimpulan 39
5.2 Saran 40

DAFTAR PUSTAKA **41**
Lampiran 1. Gambar Teknik
Lampiran 2. Lembar Asistensi
Lampiran 3. SK Pembimbing
Lampiran 4. Berita Acara Seminar Hasil
Lampiran 5. Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Modul W1209 9
Tabel 3.1 Waktu Penelitian 13
Tabel 4.1 Komponen Utama Sistem Kontrol Fuel Preheater 26
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fuel Preheater 34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kawat Nichrome 80 14
Gambar 3.2 Kapton Tape 14
Gambar 3.3 Kabel Penghantar 15
Gambar 3.4 Hose Clamp 15
Gambar 3.5 Laptop 16
Gambar 3.6 Peralatan Kerja dan Perakitan 17
Gambar 3.7 Modul W1209 18
Gambar 3.8 Bagan Alir Penelitian 19
Gambar 3.9 Desain Umum Alat 20
Gambar 4.1 Rancangan Sistem Kontrol Fuel Preheater 25
Gambar 4.2 Rangkaian Fuel Preheater 30
Gambar 4.3 Pengukuran Pipa Aluminium 32
Gambar 4.4 Komponen Sistem Kontrol 33
Gambar 4.5 Pemeriksaan Sistem Kontrol Fuel Preheater 33
Gambar 4.6 Tahap Akhir Perakitan Fuel Preheater 34
Gambar 4.7 Grafik Temperatur terhadap konsumsi 35
Gambar 4.8 Grafik Temperatur terhadap Waktu 36

BAB 1.
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Performa mesin diesel tidak selalu optimal, Salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah kurang sempurnanya proses pembakaran bahan bakar. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah sifat fisik bahan bakar diesel itu sendiri. Bahan bakar diesel memiliki viskositas yang relatif tinggi, terutama pada kondisi suhu rendah, sehingga mempengaruhi proses atomisasi atau pengabutan bahan bakar saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar.

Pemanasan bahan bakar sebelum proses pembakaran dapat dilakukan dengan menggunakan suatu alat yang dirancang khusus, yaitu fuel preheater. Fuel preheater merupakan perangkat yang berfungsi untuk meningkatkan temperatur bahan bakar sebelum masuk ke ruang bakar sehingga karakteristik aliran bahan bakar menjadi lebih baik. Dalam penelitian ini, fuel preheater dirancang menggunakan elemen pemanas berbasis lilitan resistif yang bekerja berdasarkan prinsip perubahan energi listrik menjadi energi panas akibat hambatan listrik. Penggunaan elemen pemanas resistif dinilai efektif karena memiliki konstruksi yang sederhana, mudah dikontrol, serta mampu menghasilkan panas secara stabil (Zhang et al., 2021).

Selain penggunaan elemen pemanas, sistem pengendalian temperatur merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan fuel pre-heater. Pengendalian temperatur diperlukan untuk menjaga temperatur bahan bakar tetap berada pada batas yang telah ditentukan sehingga pemanasan berlangsung secara stabil dan aman. Temperatur yang terlalu rendah menyebabkan proses pemanasan kurang optimal, sedangkan temperatur yang terlalu tinggi dapat memengaruhi karakteristik bahan bakar serta meningkatkan konsumsi energi listrik.

Pada penelitian ini digunakan modul thermostat digital W1209 sebagai sistem kontrol temperatur. Modul ini bekerja dengan membaca suhu melalui sensor NTC (Negative Temperatur Coefficient) kemudian mengendalikan relay secara otomatis untuk menghubungkan atau memutus arus listrik menuju elemen pemanas. Dengan sistem tersebut, elemen pemanas hanya bekerja ketika

temperatur berada di bawah suhu yang telah ditentukan dan akan berhenti secara otomatis setelah temperatur mencapai 80°C. Penggunaan modul W1209 diharapkan mampu meningkatkan keamanan, efisiensi energi, serta menjaga kestabilan temperatur selama proses pemanasan bahan bakar.

Berdasarkan uraian tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai perancangan dan pembuatan fuel preheater berbasis lilitan resistif serta pengujian kinerjanya pada mesin diesel 4 silinder. Oleh karena itu, penulis mengangkat judul "Rancang Bangun Sistem Kontrol Fuel Preheater Berbasis Lilitan Resistif Pada Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Diesel 4 Silinder" sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas pembakaran dan efisiensi mesin diesel.

Sebelum alat diterapkan pada kendaraan, diperlukan pengujian untuk mengetahui kemampuan fuel pre-heater dalam mencapai temperatur yang direncanakan. Pengujian dilakukan dengan mengamati waktu yang dibutuhkan sistem untuk meningkatkan temperatur bahan bakar hingga mencapai 80°C, sekaligus mengevaluasi kinerja sistem kontrol berbasis modul W1209. Hasil pengujian tersebut digunakan sebagai dasar untuk menilai apakah rancangan fuel pre-heater telah bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem kontrol *fuel preheater* berbasis lilitan resistif pada kendaraan diesel 4 silinder?
2. Bagaimana pengaruh sistem kontrol fuel preheater pada temperatur terhadap konsumsi bahan bakar?
3. Bagaimana konsumsi bahan bakar setelah menggunakan sistem kontrol *fuel preheater*

1.3 Ruang Lingkup

Dalam pembuatan tugas akhir ini, agar penelitian lebih terfokus dan terarah, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa bagian sebagai berikut:

1. Perancangan : Fokus pada perancangan sistem kontrol *fuel preheater* berbasis lilitan resistif yang digunakan untuk memanaskan bahan bakar (solar) pada sistem pembakaran.

2. Pembuatan : Pembuatan sistem kontrol *fuel preheater* dilakukan sesuai dengan hasil perancangan yang telah ditentukan, meliputi pemasangan elemen pemanas lilitan resistif dan komponen pendukung lainnya.
3. Pengujian : Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan sistem kontrol *fuel preheater* terhadap viskositas bahan bakar masuk dan efisiensi pembakaran, dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah menggunakan fuel preheater.

1.4.Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk merancang dan membangun sistem kontrol *fuel preheater* berbasis lilitan resistif pada kendaraan diesel 4 silinder.
2. Untuk mengetahui kinerja alat sistem kontrol *fuel preheater* dalam meningkatkan suhu bahan bakar.
3. Untuk Menganalisis pengaruh penggunaan sistem kontrol *fuel preheater* terhadap proses pembakaran mesin diesel.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah

1. Menambah pengetahuan dan pengetahuan dalam bidang teknik mesin, khususnya mengenai perancangan dan pembuatan sistem kontrol *fuel preheater* berbasis lilitan resistif pada sistem pembakaran mesin diesel.
2. Memberikan informasi dan referensi mengenai penerapan sistem kontrol *fuel preheater* dalam meningkatkan suhu bahan bakar sehingga dapat membantu proses pembakaran menjadi lebih optimal.
3. Menjadi sarana pengembangan keterampilan dalam merancang, membuat, dan menguji alat teknik, khususnya yang berkaitan dengan sistem bahan bakar pada mesin diesel.

BAB 2.
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mesin Diesel

Mesin diesel merupakan mesin pembakaran dalam (*internalcombustion engine*) yang menggunakan prinsip penyalaan kompresi (*compression ignition*), di mana bahan bakar disemprotkan ke dalam udara bertekanan dan bertemperatur tinggi sehingga terjadi pembakaran secara spontan tanpa bantuan busi. Mesin diesel dikenal memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan mesin bensin karena rasio kompresi yang lebih besar serta proses pembakaran yang lebih efisien (Heywood, 2018).

2.2. Sistem Pembakaran Mesin Diesel

Pembakaran merupakan reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dan oksigen, menghasilkan energi panas yang dimanfaatkan dalam mesin atau sistem termal lainnya. Efisiensi pembakaran menunjukkan seberapa baik suatu sistem dapat mengkonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas yang bermanfaat, dalam aspek mana seperti kondisi udara masuk dan suhu sangat berpengaruh terhadap hasil pembakaran tersebut. Meningkatnya suhu udara yang masuk dapat mempengaruhi kondisi awal dari proses pembakaran, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi termal serta eksersi pada suatu sistem pembakaran. Penelitian mengenai mesin RCCI menunjukkan bahwa suhu asupan udara yang lebih tinggi dapat memperbaiki efisiensi energi dan eksersi, sekaligus meningkatkan indikator keinginan dalam pengoperasian mesin (Gafur, A., Zulkarnain, Z., Sunarto, S., & Syafika, N., 2025).

Mesin diesel merupakan salah satu jenis mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) yang menggunakan prinsip penyalaan sendiri (compression ignition). Pada mesin ini, udara dikompresi hingga mencapai tekanan dan suhu tinggi, kemudian bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran secara spontan.

Menurut John B. Heywood (2018), proses pembakaran pada mesin diesel sangat dipengaruhi oleh kualitas pencampuran antara bahan bakar dan udara.

Semakin baik proses pencampuran tersebut, maka pembakaran yang terjadi akan semakin sempurna.

Proses pembakaran pada mesin diesel terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Ignition delay (penundaan pembakaran)
2. Rapid combustion (pembakaran cepat)
3. Controlled combustion (pembakaran terkendali)
4. Late combustion (pembakaran lanjutan)

Kualitas pembakaran pada setiap tahap tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi bahan bakar, termasuk suhu dan viskositasnya.

2.3. Karakteristik Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar diesel merupakan fraksi hasil penyulingan minyak bumi yang memiliki karakteristik utama berupa viskositas yang relatif tinggi dibandingkan bahan bakar bensin. Viskositas bahan bakar sangat mempengaruhi proses injeksi dan atomisasi di dalam ruang bakar. Semakin tinggi viskositasnya, maka semakin sulit bahan bakar untuk teratomisasi dengan baik, sehingga dapat menurunkan kualitas pembakaran (Yeneneh, 2025).

Bahan bakar diesel atau solar memiliki karakteristik utama berupa viskositas yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar bensin. Viskositas yang tinggi dapat menyebabkan proses pengabutan bahan bakar menjadi kurang sempurna.

Menurut A.K. Agarwal (2007), viskositas bahan bakar yang tinggi akan menghasilkan ukuran droplet yang lebih besar saat injeksi, sehingga pencampuran bahan bakar dan udara menjadi tidak merata.

Beberapa sifat penting bahan bakar diesel antara lain:

a. Viskositas

   Viskositas bahan bakar diesel (solar) adalah ukuran kekentalan atau tingkat ketahanan solar untuk mengalir pada suhu tertentu. Sifat fisik ini sangat menentukan bagaimana solar dialirkan dari tangki hingga disemprotkan ke dalam ruang bakar mesin.

   Peran Utama Viskositas pada Mesin Diesel

   - Atomisasi Bahan Bakar: Viskositas menentukan seberapa halus butiran solar yang disemprotkan oleh injektor (nozzle). Atomisasi yang halus membuat solar bercampur

sempurna dengan udara panas sehingga pembakaran lebih efisien.

- Pelumasan Komponen Fuel System: Pompa injeksi (injection pump) dan injektor bergantung pada solar sebagai pelumas alami. Viskositas yang tepat mencegah keausan pada komponen presisi tersebut.

b. Pemanas Awal Bahan Bakar

Fuel preheater adalah alat yang digunakan untuk memanaskan bahan bakar sebelum masuk ke sistem injeksi atau ruang bakar. Pemanasan ini bertujuan untuk menurunkan viskositas bahan bakar sehingga meningkatkan kemampuan atomisasi dan kualitas pencampuran udara–bahan bakar.

Penelitian menunjukkan bahwa pemanasan bahan bakar sebelum injeksi dapat meningkatkan efisiensi pembakaran serta menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik (*konsumsi bahan bakar spesifik*) (Yeneneh, 2025). Selain itu, peningkatan suhu bahan bakar juga dapat mempercepat proses pembakaran dan meningkatkan stabilitas nyala api.

2.4. Fuel Preheater

Fuel preheater adalah alat yang digunakan untuk memanaskan bahan bakar sebelum masuk ke ruang bakar. Tujuan utama penggunaan sistem kontrol *fuel preheater* adalah untuk menurunkan viskositas bahan bakar sehingga meningkatkan kualitas atomisasi saat proses injeksi.

Keuntungan penggunaan fuel preheater antara lain:

1. Meningkatkan kualitas pembakaran
2. Mengurangi konsumsi bahan bakar
3. Mengurangi emisi gas buang
4. Meningkatkan performa mesin

2.5. Preheater Bahan Bakar Berbasis Lilitan Resistif

Fuel preheater berbasis lilitan resistif merupakan alat pemanas yang menggunakan kawat resistif (seperti nichrome) untuk menghasilkan panas melalui hambatan listrik. Ketika arus listrik mengalir melalui kawat tersebut, energi listrik akan berubah menjadi energi panas yang kemudian digunakan untuk memanaskan bahan bakar.

Metode ini memiliki beberapa keunggulan, seperti desain yang sederhana, mudah dikontrol, serta efisiensi pemanasan yang cukup baik. Penelitian mengenai elemen pemanas resistif menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam meningkatkan suhu fluida secara stabil dan terkontrol (Zhang et al., 2021).

Lilitan resistif merupakan elemen pemanas yang bekerja berdasarkan prinsip efek Joule, yaitu perubahan energi listrik menjadi energi panas akibat adanya hambatan listrik.

Menurut hukum Joule, panas yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Keterangan:

Q = energi panas (Joule)

I = arus listrik (Ampere)

R = hambatan (Ohm)

t = waktu (detik)

Material yang sering digunakan sebagai lilitan resistif adalah kawat dengan hambatan tinggi seperti nikelin atau kanthal.

a. Keunggulan lilitan resistif:
b. Desain sederhana
c. Mudah dibuat
d. Biaya relatif rendah
e. Efisiensi pemanasan cukup baik

2.5.1. Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar terhadap Pembakaran

Pemanasan bahan bakar sebelum proses pembakaran memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas pembakaran pada mesin diesel. Dengan meningkatnya suhu bahan bakar, viskositas akan menurun sehingga bahan bakar lebih mudah teratomisasi.

Proses pemanasan bahan bakar pada preheater bahan bakar melibatkan tiga mekanisme perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Panas dari elemen pemanas ditransfer melalui konduksi ke dinding pipa, kemudian diteruskan ke bahan bakar melalui konveksi.

Efektivitas perpindahan panas ini sangat dipengaruhi oleh luas permukaan pemanas, laju aliran bahan bakar, serta perbedaan suhu antara elemen pemanas dan fluida (Wang et al., 2022).

Menurut A.K. Agarwal (2007), peningkatan suhu bahan bakar dapat memperbaiki karakteristik semprotan bahan bakar, sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih efisien.

Beberapa pengaruh positif dari pemanasan bahan bakar antara lain:

a. Atomisasi bahan bakar lebih baik
b. Pembakaran lebih sempurna
c. Konsumsi bahan bakar lebih efisien
d. Emisi gas buang lebih rendah

2.6. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan sistem kontrol *fuel preheater* antara lain:

1. Penelitian oleh S. Bari dan T. Hossain (2013) menunjukkan bahwa pemanasan bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi termal mesin diesel.
2. Penelitian oleh A.K. Agarwal (2007) menyatakan bahwa peningkatan suhu bahan bakar mampu memperbaiki proses atomisasi dan pembakaran.
3. Penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan pemanas berbasis listrik pada sistem bahan bakar memberikan hasil yang cukup efektif dalam meningkatkan suhu bahan bakar sebelum proses injeksi.

2.7. Sistem Kontrol Temperatur Menggunakan Modul W1209

Modul thermostat digital W1209 merupakan perangkat pengendali temperatur berbasis mikrokontroler yang banyak digunakan pada sistem pemanas maupun pendingin. Modul ini bekerja menggunakan sensor temperatur tipe NTC 10K yang mampu mendeteksi perubahan suhu secara kontinu. Nilai temperatur yang terbaca akan dibandingkan dengan nilai setpoint yang telah ditentukan pengguna. Apabila temperatur berada di bawah nilai setpoint, modul akan mengaktifkan relay sehingga arus listrik mengalir menuju elemen pemanas. Sebaliknya, ketika temperatur telah mencapai atau melebihi nilai setpoint, relay akan memutus arus listrik sehingga elemen pemanas berhenti bekerja.

Pada penelitian ini modul W1209 digunakan untuk mengontrol kerja elemen pemanas fuel pre-heater agar temperatur bahan bakar tetap berada pada 80°C. Sistem kontrol ini tidak hanya menjaga kestabilan temperatur, tetapi juga meningkatkan keamanan dengan mencegah terjadinya pemanasan berlebih (overheating) serta mengurangi konsumsi energi listrik.

Spesifikasi Modul W1209

Tabel 2.1 Spesifikasi Modul W1209

Parameter	Nilai
Tegangan kerja	12 V
Sensor	NTC
Rentang pengukuran	-50°C sampai 110°C
Akurasi	±0,1°C
Relay	10 A (mengendalikan relay eksternal 30 A)
Tampilan	LED Digital

Prinsip Kerja

1. Sensor NTC membaca temperatur pipa aluminium.
2. Data temperatur dikirim ke mikrokontroler W1209.
3. Mikrokontroler membandingkan temperatur aktual dengan setpoint 80°C.
4. Jika temperatur di bawah 80°C, relay aktif sehingga elemen pemanas bekerja.
5. Jika temperatur mencapai 80°C, relay mati sehingga elemen pemanas berhenti bekerja.

6. Ketika temperatur turun sesuai nilai histeresis yang diatur, modul kembali mengaktifkan elemen pemanas.

2.8. Rancang Bangun

Rancang bangun merupakan proses perencanaan dan pembuatan suatu alat atau sistem yang dilakukan secara sistematis untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam bidang teknik, rancang bangun mencakup tahapan mulai dari identifikasi kebutuhan, perancangan konsep, pemilihan material, hingga proses pembuatan dan pengujian alat. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan suatu alat yang dapat bekerja secara optimal sesuai dengan fungsi yang diinginkan (Ulrich & Eppinger, 2016).

Dalam penelitian ini, rancang bangun difokuskan pada pembuatan fuel preheater berbasis lilitan resistif yang digunakan untuk memanaskan bahan bakar sebelum masuk ke ruang bakar mesin diesel. Perancangan alat dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek teknis, seperti pemilihan material yang tahan terhadap temperatur tinggi, efisiensi perpindahan panas, serta keamanan sistem kelistrikan.

Tahap perancangan meliputi penentuan desain alat, pemilihan elemen pemanas, serta perancangan sistem aliran bahan bakar. Elemen pemanas yang digunakan adalah kawat resistif (nichrome) yang memiliki sifat tahan panas dan stabil secara listrik. Panas yang dihasilkan oleh elemen ini kemudian ditransfer ke bahan bakar melalui dinding pipa sehingga temperatur bahan bakar meningkat sebelum proses pembakaran berlangsung.

Selain itu, dalam rancang bangun juga perlu diperhatikan aspek keselamatan, seperti penggunaan isolator panas dan sistem pengaman listrik untuk mencegah terjadinya overheating atau kerusakan alat. Dengan perancangan yang tepat, diharapkan sistem kontrol *fuel preheater* yang dibuat dapat bekerja secara efektif dalam meningkatkan temperatur bahan bakar dan mendukung peningkatan efisiensi pembakaran.

2.9. Konsep Rancang Bangun

Konsep rancang bangun dalam penelitian ini didasarkan pada upaya peningkatan kualitas proses pembakaran melalui pengkondisian media yang terlibat, yaitu udara *(air)* dan bahan bakar *(fuel*). Dalam sistem pembakaran, terdapat dua pendekatan umum yang dapat digunakan, yaitu pemanasan udara masuk (*air preheater*) dan pemanasan bahan bakar (*fuel preheater*).

Air preheater merupakan alat yang digunakan untuk meningkatkan temperatur udara sebelum masuk ke ruang bakar. Peningkatan temperatur udara ini bertujuan untuk mempercepat proses pembakaran serta meningkatkan efisiensi termal sistem. Pemanasan udara dapat membantu proses pencampuran dengan bahan bakar menjadi lebih baik, sehingga pembakaran dapat berlangsung lebih stabil (Halis & Doğan, 2023).

Di sisi lain, *fuel preheater* merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan bahan bakar sebelum proses injeksi ke dalam ruang bakar. Pemanasan bahan bakar bertujuan untuk menurunkan viskositas bahan bakar sehingga aliran menjadi lebih lancar dan proses pembakaran menjadi lebih optimal. Penurunan viskositas ini sangat penting pada mesin diesel, karena karakteristik bahan bakarnya yang cenderung lebih kental dibandingkan bahan bakar lainnya (Yeneneh, 2025).

Dalam penelitian ini, konsep rancang bangun difokuskan pada penggunaan *fuel preheater* berbasis lilitan resistif. Elemen pemanas berupa kawat resistif (nichrome) digunakan untuk menghasilkan panas melalui hambatan listrik, yang kemudian ditransfer ke bahan bakar melalui dinding pipa. Pemilihan *fuel preheater* dibandingkan air preheater didasarkan pada pertimbangan bahwa pemanasan langsung pada bahan bakar lebih efektif dalam memperbaiki karakteristik aliran dan mendukung peningkatan efisiensi pembakaran pada mesin diesel (Zhang et al., 2021).

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, pemanasan bahan bakar diesel pada kisaran 60–80°C mampu menurunkan viskositas bahan bakar sehingga karakteristik atomisasi menjadi lebih baik. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan temperatur 80°C sebagai setpoint pengujian karena berada pada

rentang yang telah banyak digunakan dalam penelitian *fuel pre-heater* dan masih aman terhadap karakteristik bahan bakara (Arifin,2021).

2.10. Proses Pembuatan

Proses pembuatan merupakan tahapan lanjutan dari rancang bangun yang bertujuan untuk merealisasikan desain alat menjadi bentuk fisik yang dapat digunakan. Dalam penelitian ini, proses pembuatan difokuskan pada pembuatan fuel preheater berbasis lilitan resistif yang dirancang untuk memanaskan bahan bakar sebelum masuk ke ruang bakar mesin diesel.

Secara umum, proses pembuatan alat dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu persiapan bahan dan alat, pembuatan komponen utama, perakitan, serta pengujian awal. Tahapan ini dilakukan secara sistematis agar alat yang dihasilkan sesuai dengan desain yang telah direncanakan dan dapat bekerja secara optimal.

1. Persiapan bahan dan alat, yang meliputi pemilihan pipa bahan bakar, kawat resistif *(nichrome*), casing pelindung, serta komponen kelistrikan. Pemilihan bahan ini sangat penting karena harus mampu menahan temperatur tinggi serta memiliki ketahanan terhadap korosi dan tekanan.
2. Pembuatan komponen utama, yaitu dengan membentuk pipa bahan bakar sesuai desain dan melilitkan kawat resistif pada bagian luar pipa secara merata. Lilitan ini berfungsi sebagai elemen pemanas yang akan menghasilkan panas ketika dialiri arus listrik. Agar panas tidak terbuang ke lingkungan, bagian luar lilitan dilengkapi dengan isolator panas.
3. Proses perakitan, di mana seluruh komponen seperti elemen pemanas, casing, dan sistem kelistrikan disusun menjadi satu kesatuan alat. Pada tahap ini juga dilakukan pemasangan sensor suhu untuk memantau temperatur bahan bakar selama proses pemanasan.
4. Pengujian awal, yang bertujuan untuk memastikan bahwa alat dapat bekerja dengan baik sebelum digunakan dalam penelitian. Pengujian ini meliputi pemeriksaan aliran listrik, kestabilan suhu, serta keamanan alat selama dioperasikan.

Dengan melalui tahapan proses pembuatan yang sistematis, diharapkan sistem kontrol *fuel preheater* yang dihasilkan dapat berfungsi secara efektif dan sesuai dengan tujuan penelitian.

BAB 3.

M ETODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Bengkel Bintang Sakti Jl Tilak No.82, Sei Renggas Permata, Kec. Medan Area, Kota Medan, Sumatera Utara

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu dimulai dari tanggal disahkannya judul penelitian oleh ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan dikerjakan selama kurang lebih 6 bulan, dimulai dari Februari 2026 sampai Juni 2026.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1.	Pengajuan Judul						
2.	Studi Literatur						
3.	Penulisan Laporan						
4.	Seminar Proposal						
5.	Pengelasan Benda Uji						
6.	Pengambilan Data Uji						
7.	Penulisan Laporan Akhir						
8.	Seminar Hasil						
9.	Sidang Sarjana						

3.2. Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan kebutuhan proses perancangan, pembuatan, perakitan, dan pengujian fuel preheater berbasis lilitan resistif. Pemilihan bahan dan alat dilakukan dengan mempertimbangkan fungsi masing-masing komponen, kemudahan dalam proses pembuatan, keamanan penggunaan, serta kesesuaian dengan rancangan alat yang telah dibuat.

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam pembuatan fuel preheater adalah pipa aluminium, kawat Nichrome 80, Kapton tape, fiberglass tape, kabel, serta hose clamp. Pipa aluminium digunakan sebagai saluran sekaligus media penghantar panas dari elemen pemanas menuju bahan bakar solar. Aluminium dipilih karena

memiliki kemampuan menghantarkan panas yang baik dan mudah dibentuk sesuai dengan dimensi rancangan.

Kawat Nichrome 80 digunakan sebagai elemen pemanas. Kawat tersebut menghasilkan panas ketika dialiri arus listrik karena memiliki hambatan listrik. Pada penelitian ini kawat Nichrome dililitkan pada bagian luar pipa secara merata sehingga panas yang dihasilkan dapat diteruskan melalui dinding pipa menuju bahan bakar.



Gambar 3.1 Kawat Nichrome 80

Kapton tape digunakan sebagai lapisan isolasi listrik antara kawat Nichrome dan pipa aluminium. Penggunaan Kapton tape bertujuan untuk mencegah terjadinya hubungan listrik langsung antara elemen pemanas dengan pipa. Selanjutnya, fiberglass tape digunakan sebagai isolator panas pada bagian luar elemen pemanas untuk mengurangi kehilangan panas ke lingkungan.



Gambar 3.2 Kapton Tape

Kabel digunakan sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan menuju sistem kontrol dan elemen pemanas. Pemilihan kabel disesuaikan dengan kebutuhan arus listrik pada sistem agar dapat digunakan dengan aman selama proses pengujian.



Gambar 3.3 Kabel Penghantar

Hose clamp digunakan untuk mengencangkan sambungan selang atau pipa pada bagian sistem bahan bakar. Komponen ini berfungsi menjaga sambungan tetap kuat dan mengurangi kemungkinan terjadinya kebocoran bahan bakar selama proses pengujian.



Gambar 3.4 Hose Clamp

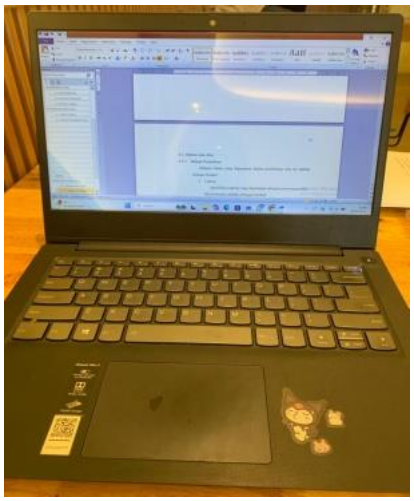
3.2.2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian terdiri dari perangkat perancangan, alat pembuatan, alat perakitan, serta alat pengukuran. Penggunaan alat tersebut disesuaikan dengan tahapan penelitian mulai dari pembuatan desain hingga pengambilan data hasil pengujian.

Laptop digunakan sebagai perangkat utama dalam proses perancangan alat. Laptop digunakan untuk menjalankan perangkat lunak SolidWorks yang digunakan dalam membuat desain tiga dimensi (3D) fuel preheater. Melalui

perangkat lunak tersebut, dimensi dan bentuk komponen dapat ditentukan terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pembuatan. Spesifikasi laptop yang digunakan adalah prosesor Intel Core i5, RAM 8 GB, dan sistem operasi 64-bit.

Perangkat lunak SolidWorks digunakan untuk membuat dan memvisualisasikan rancangan fuel preheater. Perancangan menggunakan SolidWorks bertujuan untuk mempermudah penentuan bentuk, ukuran, dan susunan komponen sehingga proses pembuatan dapat dilakukan berdasarkan rancangan yang telah ditentukan.



Gambar 3.5 Laptop dan Software Solid Works

Gerinda tangan atau mesin potong digunakan untuk memotong pipa dan material lainnya sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan dalam rancangan. Penggunaan alat potong diperlukan agar dimensi komponen yang dibuat dapat disesuaikan dengan kebutuhan alat.

Tang, obeng, dan kunci pas digunakan pada tahap perakitan. Tang digunakan untuk membantu memegang dan membentuk kabel maupun kawat, sedangkan obeng dan kunci pas digunakan untuk memasang serta mengencangkan komponen mekanik dan kelistrikan.



Gambar 3.6 Set Tools

Alat ukur mekanik berupa mistar baja dan jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi komponen. Mistar baja digunakan untuk pengukuran panjang secara umum, sedangkan jangka sorong digunakan untuk memperoleh pengukuran yang lebih teliti, terutama pada diameter dan panjang komponen yang digunakan dalam pembuatan fuel preheater.

Multimeter digital digunakan untuk melakukan pemeriksaan dan pengukuran kelistrikan. Alat ini digunakan untuk mengukur tegangan, arus, serta resistansi pada rangkaian dan elemen pemanas. Pengukuran tersebut diperlukan untuk memastikan kondisi rangkaian sesuai dengan perancangan dan dapat bekerja dengan baik.

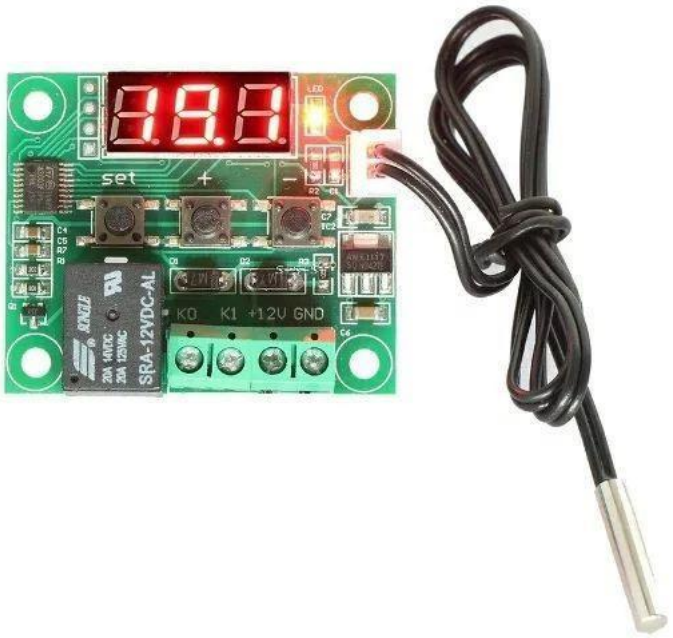
Saklar on/off digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan sumber listrik secara manual pada sistem. Saklar juga digunakan sebagai pengendali awal ketika sistem akan dioperasikan atau dihentikan.

Relay digunakan sebagai saklar elektromagnetik yang menghubungkan sumber listrik dengan elemen pemanas. Penggunaan relay memungkinkan beban arus yang lebih besar dikendalikan oleh rangkaian kontrol temperatur sehingga modul kontrol tidak secara langsung menanggung arus beban pemanas.

Sensor temperatur digunakan untuk mendeteksi temperatur pada bagian fuel preheater. Sensor memberikan informasi temperatur kepada modul kontrol

sehingga temperatur dapat dipantau dan dikendalikan sesuai dengan nilai yang telah ditentukan.

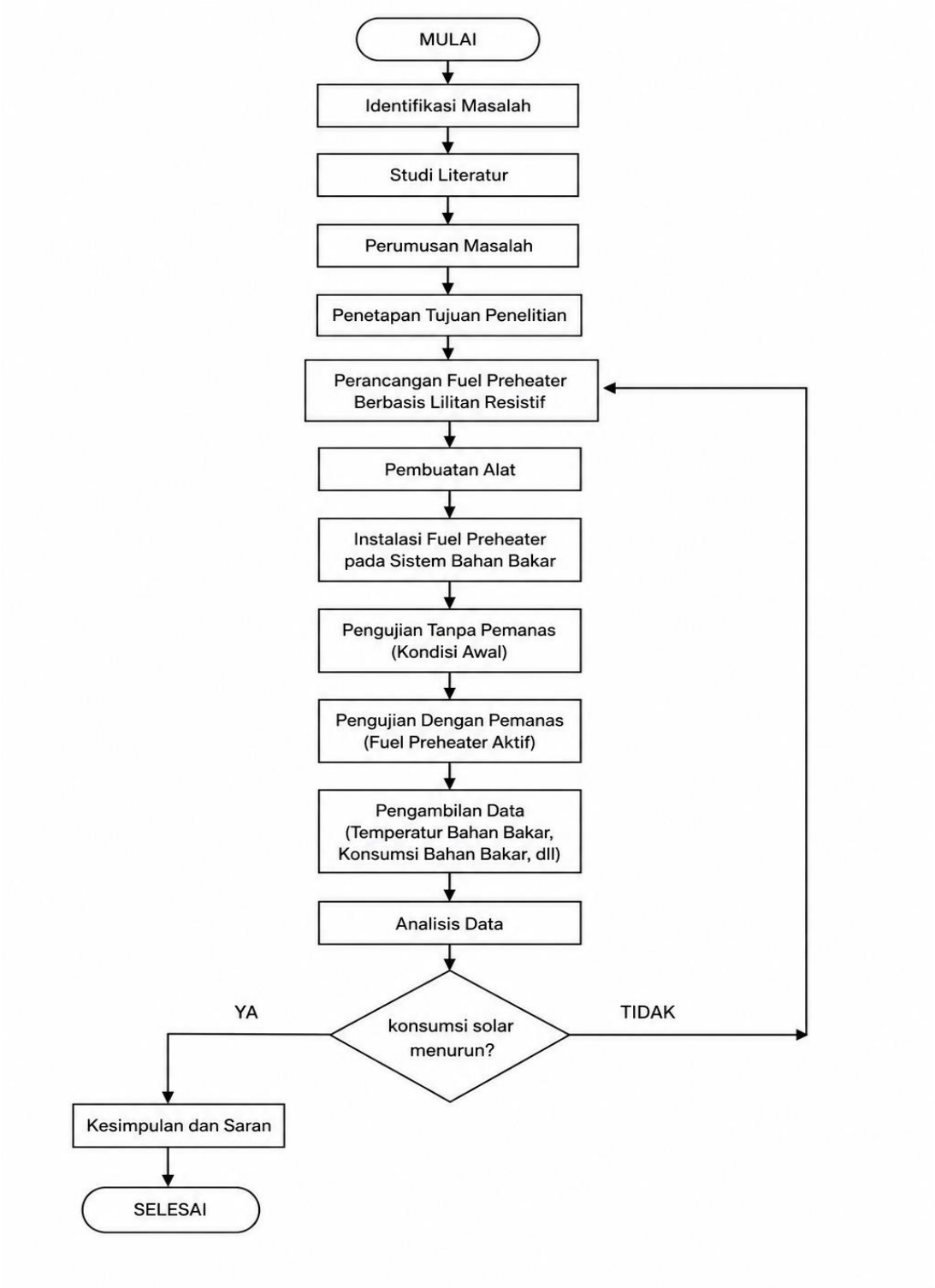
Display suhu digital digunakan untuk menampilkan nilai temperatur yang terukur selama proses pengujian. Dengan adanya tampilan temperatur, perubahan suhu selama proses pemanasan dapat diamati dan dicatat sebagai data penelitian.



Gambar 3.7 Modul W1209

Secara keseluruhan, bahan dan alat tersebut digunakan secara terpadu dalam proses pembuatan fuel preheater. Perangkat perancangan digunakan untuk menghasilkan desain, alat kerja digunakan untuk membuat dan merakit komponen, sedangkan alat ukur digunakan untuk memastikan dimensi serta kondisi kelistrikan dan temperatur selama proses pengujian.

3.3. Bagan Alir Penelitian

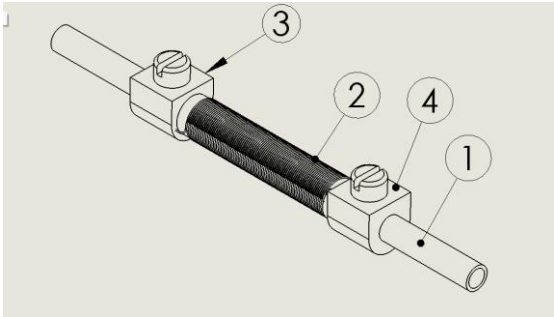


Gambar 3.8 Bagan Alir Penelitian

3.4. Rancangan Alat Penelitian

Rancangan alat penelitian ini disusun untuk mendukung proses pengujian pengaruh pemanasan bahan bakar (fuel preheater) terhadap proses pembakaran. Alat utama yang dirancang berupa fuel preheater berbasis lilitan resistif yang dipasang pada saluran masuk bahan bakar sebelum ruang bakar. Rancangan alat bertujuan untuk menghasilkan peningkatan temperatur bahan bakar masuk ke ruang baakar.

3.4.1 Desain Umum Alat



Gambar 3.9 Desain Umum Alat

Secara umum, alat penelitian terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu:

1. Saluran pipa bahan bakar (solar)
2. Elemen pemanas (lilitan resistif)
3. Casing atau rumah pemanas (kutub negatif)
4. Casing atau rumah pemanas (kutub positif)

Desain alat dibuat dengan mempertimbangkan aliran bahan bakar yang stabil, distribusi panas yang merata, serta keselamatan penggunaan selama proses pengujian.

3.4.2. Saluran Bahan Bakar (Solar)

Saluran bahan bakar (solar) berfungsi sebagai jalur masuk bahan bakar menuju ruang pembakaran. Material saluran dibuat dari pipa logam tahan panas atau pipa baja tipis agar mampu menahan peningkatan temperatur akibat pemanasan. Diameter saluran disesuaikan dengan kebutuhan debit bahan

bakar agar tidak menghambat aliran (*pressure drop* minimal).

3.4.3. Elemen Pemanas (Lilitan Resistif)

Elemen pemanas menggunakan kawat resistif (tembaga) yang dililitkan secara spiral di sekitar atau di dalam saluran bahan bakar. Pemilihan kawat tembaga didasarkan pada kemampuannya menghasilkan panas yang stabil, tahan terhadap temperatur tinggi, serta memiliki resistansi listrik yang sesuai untuk pemanasan udara (Çengel & Ghajar, 2020).

Lilitan resistif dirancang dengan jarak yang merata untuk menghasilkan distribusi panas yang seragam pada aliran udara.

3.4.4. Casing atau Rumah Pemanas

Casing berfungsi sebagai pelindung elemen pemanas sekaligus menjaga panas agar tidak langsung terbuang ke lingkungan. Casing dibuat dari bahan logam dengan lapisan isolator panas di bagian dalam untuk meningkatkan efisiensi termal dan mencegah kehilangan panas berlebih (Incropera et al., 2019).

3.4.5. Sistem Kelistrikan

Sistem kelistrikan terdiri atas:

- Sumber daya listrik
- Saklar pengontrol
- Kabel penghantar tahan panas

Sistem ini dirancang untuk mengatur besar daya listrik yang dialirkan ke elemen pemanas sehingga temperatur bahan bakar masuk dapat dikendalikan sesuai kebutuhan penelitian.

3.4.6. Sensor dan Alat Ukur

Untuk mendukung pengambilan data, alat dilengkapi dengan:

- Termometer atau sensor suhu digital untuk mengukur temperatur udara sebelum dan sesudah pemanasan

3.4.7. Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja alat penelitian ini adalah memanfaatkan energi listrik yang diubah menjadi energi panas melalui lilitan resistif.bahan bakaar yang mengalir melewati elemen pemanas akan mengalami peningkatan temperatur sebelum

masuk ke ruang pembakaran, sehingga diharapkan dapat memperbaiki kualitas pencampuran udara dan bahan bakar serta mendukung proses pembakaran yang lebih optimal (Stone, 2021).

3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari perancangan, pembuatan, perakitan, pemeriksaan, hingga pengujian preheater bahan bakar. Adapun tahapan prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.5.1 Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

1. Identifikasi Masalah: Mengidentifikasi kendala tingginya viskositas bahan bakar solar pada mesin diesel 4 silinder yang memengaruhi proses pengabutan/atomisasi dan konsumsi bahan bakar.
2. Studi Literatur: Mempelajari teori dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem pembakaran mesin diesel, karakteristik bahan bakar solar, perpindahan panas, perancangan elemen pemanas resistif, serta sistem kontrol temperatur menggunakan modul W1209.

3.5.2 Perancangan Alat dan Sistem Kontrol

1. Memuat desain fisik *fuel preheater* secara 3 dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*.
2. Menghitung kebutuhan daya listrik, arus, nilai resistansi, panjang kawat *Nichrome 80*, serta jumlah lilitan pemanas berbasis tegangan kerja 12 V DC.
3. Merancang skema *wiring diagram* sistem kontrol temperatur otomatis menggunakan modul thermostat digital W1209, sensor NTC, *relay* 30 A, sekring 15 A, dan saklar utama.

3.5.3 Pembuatan dan Perakitan Alat

1. Persiapan Bahan dan Alat: Menyiapkan pipa aluminium (OD 8 mm, ID 5 mm), kawat *Nichrome 80* ($\varnothing$ 0,6 mm), *Kapton tape*, *fiberglass tape*, kabel, *hose clamp*, modul W1209, *relay*, dan peralatan pendukung.
2. Pembuatan Elemen Pemanas:
    - Melapisi bagian luar pipa aluminium dengan *Kapton tape* sebagai isolator listrik.

- Melilitkan kawat *Nichrome 80* sepanjang 37 cm sebanyak 15 lilitan secara merata di atas pipa.
- Melapisi bagian luar lilitan kawat dengan *fiberglass tape* sebagai penahan panas (isolator termal).

3. Perakitan Sistem Kelistrikan dan Kontrol:
   - Memasang modul W1209, *relay* 30 A, dan sekring 15 A pada papan rangkaian.
   - Menghubungkan seluruh komponen kelistrikan ke aki 12 V DC sesuai skema *wiring diagram*.
   - Memasang sensor temperatur NTC pada bagian *fuel preheater*.

3.5.4 Instalasi dan Pemeriksaan Awal *(Commissioning)*

1. Memasang unit *fuel preheater* pada saluran bahan bakar sebelum masuk ke pompa injeksi mesin.
2. Memeriksa kerapatan sambungan pipa/selang menggunakan *hose clamp* untuk mencegah kebocoran bahan bakar.
3. Melakukan tes awal sistem kontrol kelistrikan untuk memastikan modul W1209, sensor NTC, dan *relay* dapat bekerja aktif saat suhu di bawah setpoint (80°C) dan memutus arus (*cut-off*) ketika mencapai suhu set-point 80°C.

3.5.5 Pengujian dan Pengambilan Data

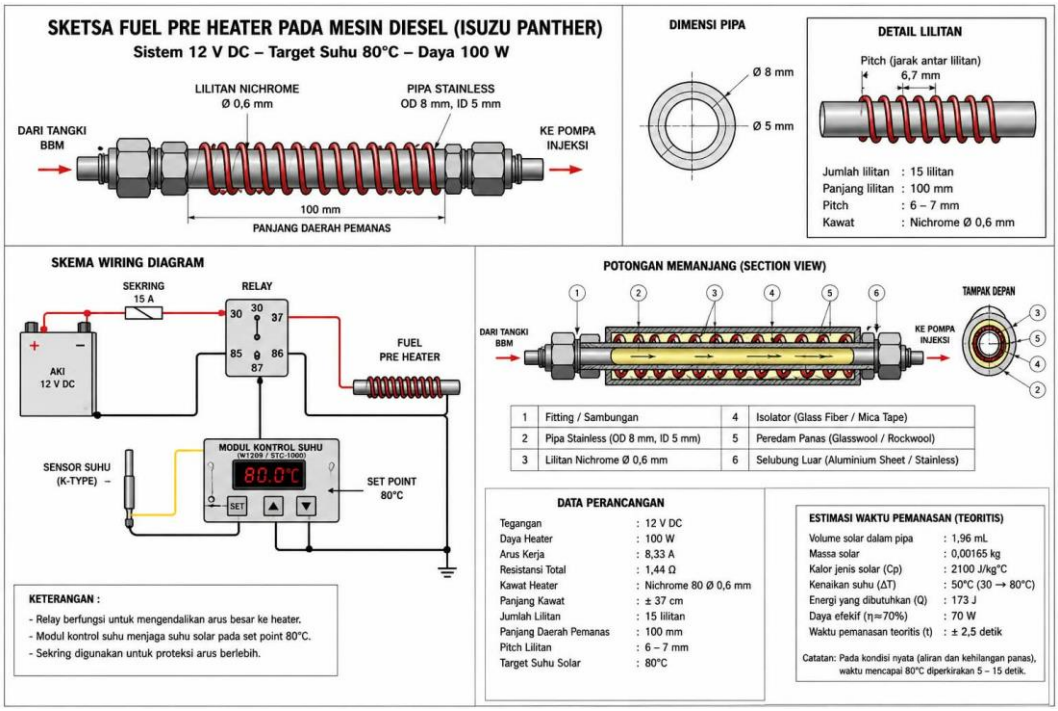
1. Pengujian Kondisi Awal (Tanpa Pemanas): Mengukur temperatur awal bahan bakar dan tingkat konsumsi solar awal sebelum pemanas diaktifkan.
2. Pengujian *Fuel Preheater* Aktif:
   - Mengatur *setpoint* modul W1209 pada suhu target 80°C.
   - Menghubungkan sistem ke sumber arus 12 V DC.
   - Mencatat kenaikan temperatur bahan bakar secara bertahap (mulai dari 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, hingga 80°C) beserta waktu pemanasan yang dibutuhkan.
   - Mengukur laju konsumsi bahan bakar solar (ml/menit) pada setiap kenaikan interval temperatur tersebut.

3.5.6 Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan

1. Mengolah data hasil pengujian ke dalam bentuk tabel dan grafik (grafik temperatur terhadap waktu serta grafik temperatur terhadap konsumsi solar).
2. Menganalisis kinerja alat *fuel preheater* dan pengaruh peningkatan temperatur terhadap tingkat konsumsi bahan bakar.
3. Menyusun kesimpulan berdasarkan hasil pengujian serta memberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB 4.
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Rancangan Sistem Kontrol Fuel Preheater



Gambar 4.1 Rancangan Sistem Kontrol Fuel Preheater

Rancangan sistem kontrol fuel preheater dibuat sebagai dasar dalam proses pembuatan alat. Sistem kontrol berfungsi untuk mengatur kerja elemen pemanas berdasarkan perubahan temperatur yang terdeteksi oleh sensor. Dengan adanya sistem kontrol, proses pemanasan bahan bakar dapat berlangsung secara otomatis sesuai dengan temperatur yang telah ditentukan.

Pada penelitian ini, sistem kontrol menggunakan modul thermostat digital W1209 sebagai pengendali temperatur. Sensor NTC digunakan untuk mendeteksi temperatur pada fuel preheater. Modul W1209 akan menerima data temperatur dari sensor kemudian membandingkannya dengan temperatur setpoint sebesar 80°C.

Apabila temperatur yang terbaca masih berada di bawah 80°C, modul W1209 akan mengaktifkan relay. Relay kemudian menghubungkan sumber

tegangan 12 V menuju elemen pemanas berupa kawat Nichrome 80. Arus listrik yang mengalir melalui kawat Nichrome menghasilkan panas yang digunakan untuk meningkatkan temperatur bahan bakar solar.

Ketika temperatur mencapai 80°C, modul W1209 memberikan perintah untuk memutuskan relay sehingga arus listrik menuju elemen pemanas terputus. Sistem kemudian akan kembali mengaktifkan elemen pemanas apabila temperatur turun sesuai pengaturan histeresis pada modul.Komponen utama yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas:

4.1.1 Rancangan Komponen Sistem Kontrol

Sistem kontrol fuel preheater terdiri dari beberapa komponen yang bekerja secara bersama-sama. Komponen utama sistem terdiri dari modul W1209, sensor temperatur NTC, relay 30 A, sekring 15 A, aki 12 V, saklar, kabel penghantar, dan elemen pemanas Nichrome 80.

Modul W1209 berfungsi sebagai pengendali temperatur. Sensor NTC berfungsi mendeteksi temperatur, kemudian hasil pembacaan temperatur diproses oleh modul W1209. Relay digunakan sebagai penghubung dan pemutus arus menuju elemen pemanas, sedangkan sekring digunakan sebagai pengaman rangkaian listrik.

Aki 12 V digunakan sebagai sumber energi listrik. Saklar digunakan untuk menghidupkan dan mematikan sistem secara manual. Elemen pemanas menggunakan kawat Nichrome 80 yang dipasang pada bagian luar pipa aluminium.

Tabel 4.1 Komponen Utama Sistem Kontrol Fuel Preheater

No.	Komponen	Fungsi
1	Modul W1209	Mengatur temperatur dan mengendalikan relay berdasarkan setpoint.
2	Sensor NTC	Mendeteksi temperatur pada fuel preheater.
3	Relay 30 A	Menghubungkan dan memutus arus menuju elemen pemanas.
4	Sekring 15 A	Melindungi rangkaian dari arus berlebih.
5	Aki 12 V	Sebagai sumber tegangan listrik.
6	Kawat Nichrome 80	Sebagai elemen pemanas resistif.
7	Pipa Aluminium	Sebagai saluran bahan bakar dan penghantar panas.

4.1.2 Perhitungan Rancangan

Perancangan elemen pemanas dilakukan berdasarkan kebutuhan energi untuk meningkatkan temperatur bahan bakar solar hingga mencapai suhu operasi yang telah ditentukan.

a. Perhitungan Daya Elemen Pemanas

Pemilihan daya elemen pemanas didasarkan pada kebutuhan energi untuk menaikkan temperatur bahan bakar dari suhu awal 30°C menjadi suhu target 80°C.

Energi panas yang dibutuhkan dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = m \times Cp \times \Delta T$$

dengan:

m = 0,00165 kg

Cp = 2100J/kg°C

ΔT = 50°C

Sehingga diperoleh:

$$Q = 173{,}25 \text{ J}$$

b. Perhitungan Arus Listrik

Besarnya arus listrik yang mengalir pada elemen pemanas dihitung menggunakan Persamaan (a).

$$I = \frac{P}{V}$$

Keterangan:

I = Arus listrik (A)

P = Daya elemen pemanas (W)

V = Tegangan sumber (Volt)

Diketahui:

P = 100 Watt

V = 12 Volt

Sehingga:

$$I = \frac{100}{12}$$

$$I = 8{,}33\text{A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa arus yang mengalir pada elemen pemanas sebesar 8,33 A. Oleh karena itu digunakan relay otomotif berkapasitas 30 A dan sekring 15 A sebagai sistem pengaman.

c. Perhitungan Resistansi Elemen Pemanas

Besarnya resistansi elemen pemanas dihitung menggunakan Persamaan (b).

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

Diketahui:

V = 12 Volt

P = 100 Watt

Sehingga:

$$R = \frac{12^2}{100}$$

$$R=1,44\ \Omega$$

Dengan demikian elemen pemanas harus memiliki resistansi total sebesar 1,44 Ω agar mampu menghasilkan daya sebesar 100 Watt pada tegangan kerja 12 Volt.

d. Perhitungan Panjang Kawat Nichrome

Material elemen pemanas menggunakan kawat Nichrome 80 dengan diameter 0,6 mm.

Data material:

Resistivitas Nichrome

$$\rho = 1,10x10^{-6}\Omega m$$

Diameter kawat

$$d = 0,6mm$$

Luas penampang kawat

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = 2,827x10^{-7}m^2$$

sehingga

$$R = \rho\frac{L}{A}$$

$$L = \frac{RA}{\rho}$$

Substitusi nilai menghasilkan:

$$L = \frac{(1{,}44)(2{,}827x10^{-7})}{1{,}10x10^{-6}}$$

L=0,37 m

L=37 cm

Dengan demikian panjang kawat Nichrome yang digunakan adalah 37 cm.

e. Perhitungan Jumlah Lilitan

Pipa aluminium yang digunakan memiliki diameter luar sebesar 8 mm. Setelah dilapisi Kapton tape, diameter efektif menjadi sekitar 8,6 mm.Keliling pipa dihitung menggunakan Persamaan (e).

K=πD

K=3,1 x 8,6

K=27mm

↓

$$n = \frac{L}{K}$$

$$n = \frac{370}{27}$$

n=13,7

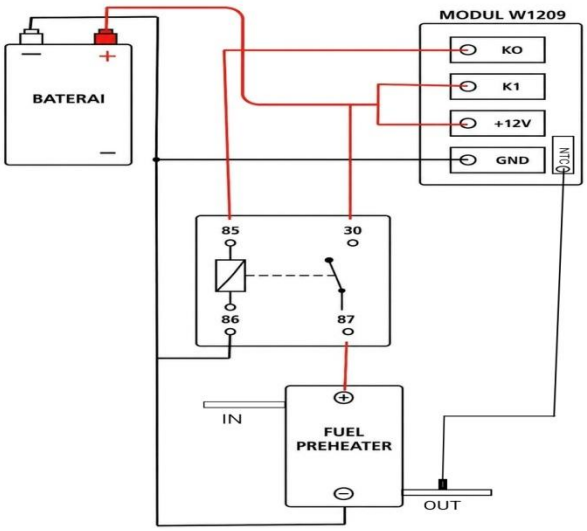
Jumlah lilitan dibulatkan menjadi 15 lilitan agar distribusi panas lebih merata sepanjang permukaan pipa aluminium.

4.1.3 Rancangan Rangkaian Fuel Preheater

Rangkaian sistem kontrol dirancang agar sumber listrik dari aki dapat mengalir menuju elemen pemanas melalui sistem pengaman dan relay. Modul W1209 digunakan untuk mengendalikan relay berdasarkan temperatur yang terbaca oleh sensor NTC.

Secara umum, aliran sistem kontrol dimulai dari aki 12 V sebagai sumber listrik. Arus listrik melewati sekring sebagai pengaman dan saklar sebagai pengendali utama. Selanjutnya sistem kontrol W1209 bekerja berdasarkan informasi temperatur dari sensor NTC.

Relay digunakan untuk menghubungkan sumber listrik dengan elemen pemanas. Dengan menggunakan relay, beban arus elemen pemanas dapat dikendalikan oleh sistem kontrol temperatur..



Gambar 4.2 Rangkaian Fuel Preheater

4.1.4 Prinsip Kerja Sistem Kontrol

Prinsip kerja sistem kontrol dimulai ketika saklar dihidupkan sehingga sistem memperoleh sumber tegangan dari aki 12 V. Sensor NTC kemudian membaca temperatur pada bagian fuel preheater.

Data temperatur tersebut diterima oleh modul W1209 dan dibandingkan dengan nilai setpoint sebesar 80°C. Jika temperatur masih berada di bawah nilai setpoint, W1209 mengaktifkan relay.

Relay yang aktif akan menghubungkan sumber listrik menuju kawat Nichrome 80. Kawat Nichrome menghasilkan panas akibat adanya aliran arus listrik. Panas tersebut diteruskan melalui pipa aluminium menuju bahan bakar solar.

Ketika temperatur mencapai 80°C, W1209 memutuskan relay sehingga elemen pemanas berhenti bekerja. Apabila temperatur turun sesuai nilai histeresis yang telah diatur, relay akan kembali aktif dan proses pemanasan berlangsung kembali.

Dengan demikian, sistem kontrol bekerja secara otomatis untuk menjaga proses pemanasan berdasarkan temperatur yang terbaca oleh sensor.

4.2. Pembuatan Sistem Kontrol Fuel Preheater

Pembuatan sistem kontrol fuel preheater dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dibuat. Proses pembuatan dilakukan secara bertahap mulai dari persiapan komponen, pembuatan elemen pemanas, pemasangan komponen kontrol, perakitan, hingga pemeriksaan awal.

Tahapan tersebut dilakukan agar setiap komponen dapat dipasang sesuai dengan fungsi dan posisi yang telah direncanakan.

4.2.1. Persiapan Bahan dan Komponen

Tahap pertama dalam pembuatan adalah mempersiapkan seluruh bahan dan komponen yang diperlukan. Bahan utama yang digunakan terdiri dari pipa aluminium, kawat Nichrome 80, Kapton tape, fiberglass tape, kabel, dan hose clamp.

Komponen sistem kontrol terdiri dari modul W1209, sensor temperatur NTC, relay 30 A, sekring 15 A, saklar, serta aki 12 V.

Sebelum digunakan, setiap komponen diperiksa untuk memastikan kondisi fisik dan fungsinya dalam keadaan baik. Pemeriksaan dilakukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan pada saat proses perakitan dan pengujian.

4.2.2. Pembuatan Elemen Pemanas

Pembuatan elemen pemanas dimulai dengan menyiapkan pipa aluminium sesuai ukuran rancangan. Pipa aluminium yang digunakan memiliki diameter luar 8 mm, diameter dalam 5 mm, dan panjang 100 mm.

Bagian luar pipa kemudian diberi lapisan Kapton tape. Kapton tape berfungsi sebagai isolator listrik antara pipa aluminium dan kawat Nichrome.

Setelah lapisan Kapton terpasang, kawat Nichrome 80 dengan diameter 0,6 mm dililitkan pada bagian luar pipa secara merata. Berdasarkan hasil perancangan, panjang kawat yang digunakan adalah 37 cm dengan jumlah lilitan sebanyak 15 lilitan.

Setelah proses pelilitan selesai, bagian luar elemen pemanas diberi fiberglass tape. Fiberglass tape berfungsi sebagai isolator panas untuk membantu mengurangi kehilangan panas ke lingkungan.



Gambar 4.3 Pengukuran Pipa Aluminium

4.2.3. Pemasangan Komponen Sistem Kontrol

Setelah elemen pemanas selesai dibuat, dilakukan pemasangan komponen sistem kontrol. Modul W1209 dipasang sebagai pengendali temperatur, sedangkan sensor NTC dipasang pada bagian fuel preheater untuk mendeteksi temperatur.

Relay 30 A dipasang untuk menghubungkan sumber listrik dengan elemen pemanas. Sekring 15 A dipasang pada jalur sumber listrik sebagai pengaman rangkaian.

Saklar dipasang sebagai pengendali utama untuk menghidupkan dan mematikan sistem. Kabel kemudian dipasang untuk menghubungkan aki, sekring, saklar, W1209, relay, sensor, dan elemen pemanas sesuai dengan rancangan rangkaian.

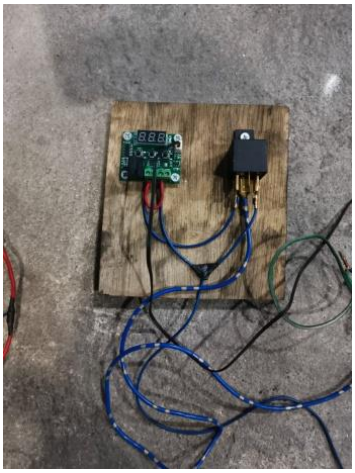
Setiap sambungan diperiksa kembali agar tidak terdapat sambungan yang longgar maupun hubungan singkat.

4.2.4. Perakitan Sistem Kontrol Fuel Preheater

Tahap selanjutnya adalah menggabungkan seluruh komponen menjadi satu sistem fuel preheater. Elemen pemanas yang telah dibuat dipasang pada bagian saluran bahan bakar.

Sensor NTC dipasang pada bagian fuel preheater untuk membaca perubahan temperatur selama proses pemanasan. Modul W1209, relay, sekring, dan saklar ditempatkan pada posisi yang mudah diperiksa dan dioperasikan.

Setelah semua komponen terpasang, dilakukan pemeriksaan terhadap sambungan mekanik dan kelistrikan. Pemeriksaan dilakukan untuk memastikan sistem telah sesuai dengan rancangan.



Gambar 4.4 Komponen Sistem Kontrol

4.2.5. Pemeriksaan Sistem Kontrol Fuel Preheater

Pemeriksaan awal dilakukan sebelum fuel preheater digunakan untuk pengambilan data. Pemeriksaan meliputi sambungan kabel, kondisi elemen pemanas, sensor temperatur, relay, dan sumber tegangan.

Modul W1209 kemudian diatur pada setpoint 80°C. Sistem dihidupkan dan diamati untuk mengetahui respons sensor serta kerja relay.

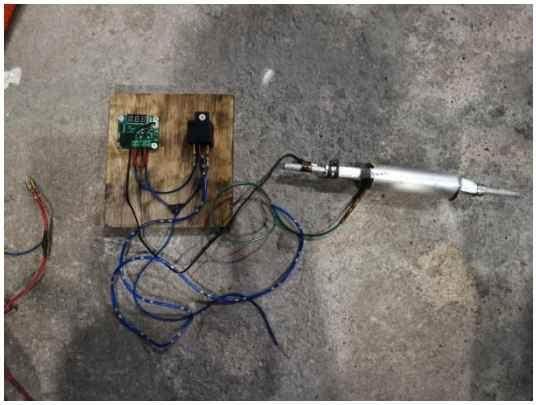
Apabila temperatur masih berada di bawah setpoint, relay harus menghubungkan arus listrik menuju elemen pemanas. Ketika temperatur mencapai 80°C, relay harus memutuskan arus menuju elemen pemanas.

Pemeriksaan awal dilakukan untuk memastikan sistem kontrol dapat bekerja sesuai dengan rancangan sebelum dilanjutkan ke tahap pengujian.



Gambar 4.5 Pemeriksaan Sistem Kontrol Fuel Preheater

4.2.6. Tahap Akhir Perakitan



Gambar 4.6 Tahap Akhir Perakitan Fuel Preheater

4.3. Pengujian Fuel Preheater

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan fuel preheater dalam meningkatkan temperatur bahan bakar solar. Pengujian dilakukan dengan mengamati perubahan temperatur terhadap waktu pemanasan.

Pada proses pengujian, modul W1209 diatur dengan setpoint sebesar 80°C. Sistem kemudian dihubungkan dengan sumber tegangan 12 V dan perubahan temperatur diamati melalui display suhu.

Parameter yang diamati meliputi temperatur, waktu pemanasan, dan konsumi bahan bakar

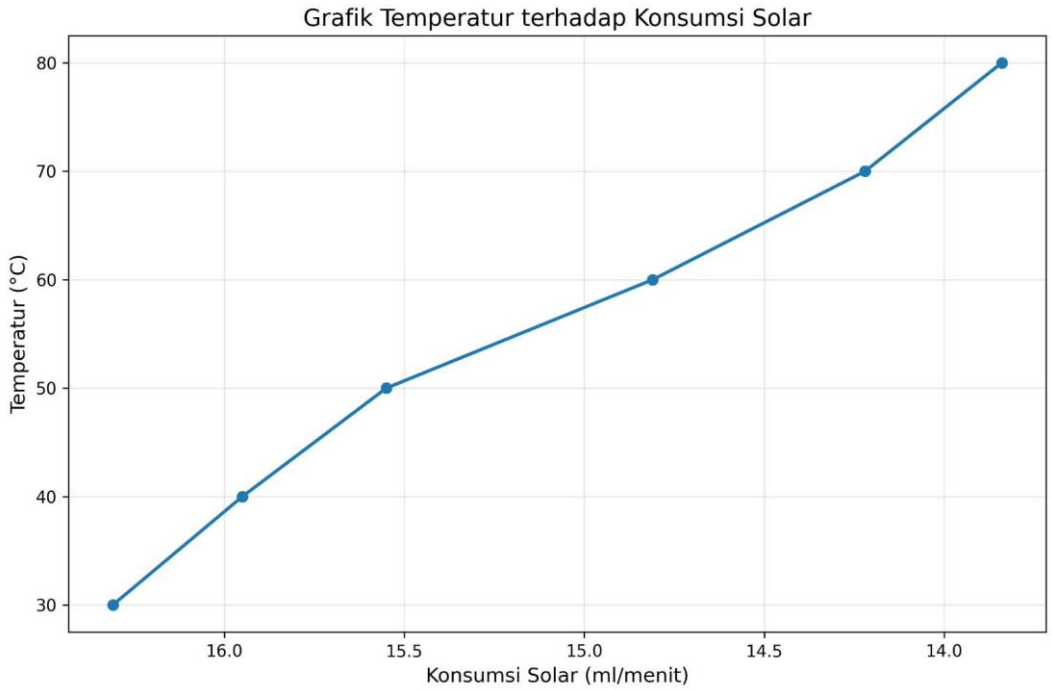
4.4. Hasil Pengujian Fuel Preheater

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fuel Preheater

No	Waktu (Menit)	Temperature (◦C)	Solar (ml)	ml/menit
1.	30,65	30	500	16,31
2.	31,33	40	500	15,95
3.	32,15	50	500	15,55
4.	33,75	60	500	14,81
5.	35,14	70	500	14,22
6.	36,12	80	500	13,84

Berdasarkan data pengujian, temperatur bahan bakar mengalami peningkatan secara bertahap. Temperatur meningkat dari 30°C hingga mencapai 80°C

4.5. Grafik Temperatur Terhadap Konsumsi



Gambar 4.7 Grafik Temperatur terhadap konsumsi

Grafik temperatur terhadap konsumsi solar menunjukkan hubungan antara peningkatan temperatur bahan bakar dengan jumlah konsumsi solar. Berdasarkan hasil pengujian, pada temperatur 30°C, konsumsi solar berada sekitar 16,3 ml/menit. Ketika temperatur meningkat menjadi 40°C, konsumsi turun menjadi sekitar 15,9 ml/menit. Pada temperatur 50°C, konsumsi solar sekitar 15,5 ml/menit.

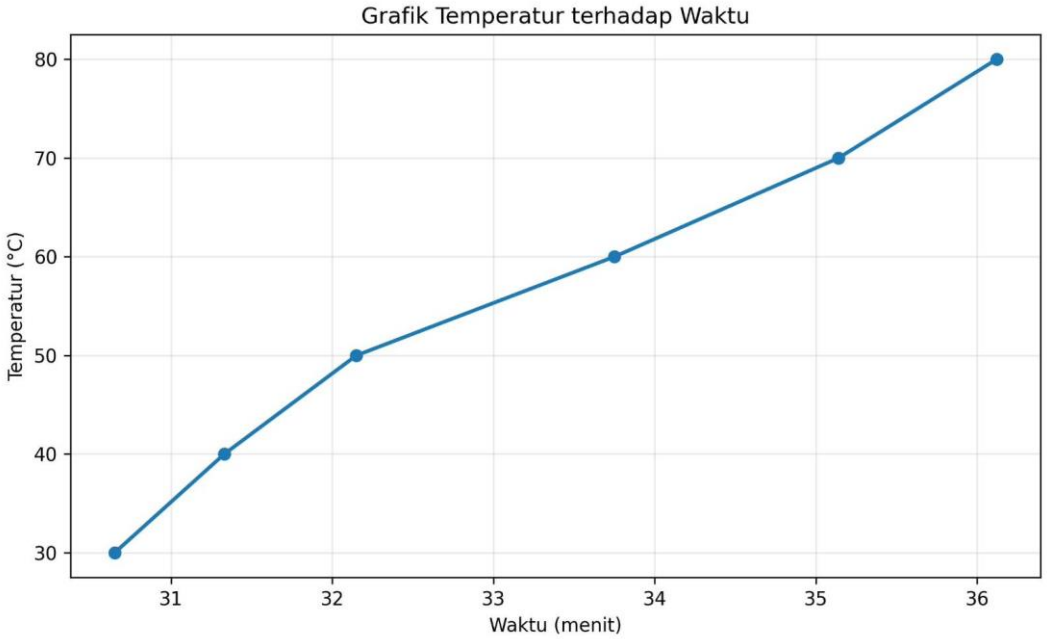
Selanjutnya, pada temperatur 60°C, konsumsi solar menurun menjadi sekitar 14,8 ml/menit. Pada temperatur 70°C, konsumsi berada sekitar 14,2 ml/menit, dan pada temperature 80°C konsumsi solar menjadi sekitar 13,8 ml/menit.

Berdasarkan data tersebut terlihat adanya kecenderungan penurunan konsumsi solar seiring dengan meningkatnya temperatur bahan bakar. Hal ini menunjukkan bahwa pemanasan bahan bakar menggunakan fuel preheater

berpotensi meningkatkan kondisi bahan bakar sebelum masuk ke sistem pembakaran, sehingga konsumsi solar yang terukur selama pengujian menjadi lebih rendah.

Dari temperatur 30°C sampai 80°C, konsumsi solar turun dari sekitar16,3 ml/menit menjadi 13,8 ml/menit, atau mengalami penurunan sekitar 2,5 ml/menit (±15,3%).

4.6. Grafik Temperatur Terhadap Waktu



Gambar 4.8 Grafik Temperatur terhadap Waktu

Grafik temperatur terhadap waktu menunjukkan hubungan antara lama proses pemanasan dengan peningkatan temperatur pada fuel preheater. Berdasarkan grafik, temperatur awal yang terukur adalah sekitar 30°C pada waktu 30,6 menit. Selanjutnya temperatur meningkat menjadi 40°C,50°C,60°C,70°C, hingga mencapai 80°C pada waktu sekitar 36,1 menit.

Peningkatan temperatur menunjukkan bahwa sistem fuel preheater mampu memberikan panas secara bertahap terhadap bahan bakar. Pada awal proses, kenaikan temperatur berlangsung cukup cepat, kemudian peningkatan temperatur cenderung lebih bertahap. Temperatur maksimum yang diperoleh adalah 80°C, yang menunjukkan bahwa sistem pemanas mampu mencapai temperatur kerja yang telah ditentukan.

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin lama sistem fuel preheater bekerja, semakin tinggi temperatur yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa energi listrik yang diberikan pada elemen pemanas dikonversikan menjadi energi panas dan ditransfer ke media yang dipanaskan.

4.7. Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian, temperatur bahan bakar mengalami peningkatan selama elemen pemanas bekerja. Peningkatan temperatur tersebut menunjukkan bahwa energi listrik yang diberikan kepada kawat Nichrome dapat menghasilkan panas yang diteruskan menuju pipa aluminium dan bahan bakar.

Sistem kontrol W1209 digunakan untuk mengatur kerja elemen pemanas berdasarkan temperatur yang terbaca oleh sensor NTC. Ketika temperatur belum mencapai setpoint, elemen pemanas bekerja. Ketika temperatur mencapai nilai yang ditentukan, sistem kontrol memutus kerja elemen pemanas.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem fuel preheater dapat digunakan untuk meningkatkan temperatur bahan bakar hingga mencapai temperatur yang direncanakan.

4.8. Pembahasan

Berdasarkan hasil rancangan dan pembuatan, sistem kontrol fuel preheater dapat direalisasikan menggunakan modul W1209 sebagai pengendali temperatur, sensor NTC sebagai pendeteksi temperatur, dan relay sebagai penghubung arus menuju elemen pemanas.

Elemen pemanas menggunakan kawat Nichrome 80 yang dililitkan pada pipa aluminium. Panas yang dihasilkan oleh kawat Nichrome diteruskan melalui pipa aluminium menuju bahan bakar. Kapton tape digunakan sebagai isolator listrik, sedangkan fiberglass tape digunakan sebagai isolator panas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur bahan bakar dapat meningkat dari 30°C hingga 80°C. Waktu yang tercatat untuk mencapai temperatur 80°C adalah 36,12 menit.

Sistem kontrol W1209 dan relay digunakan untuk mengatur kerja elemen pemanas berdasarkan temperatur yang terdeteksi. Dengan sistem tersebut, proses pemanasan dapat dikendalikan sesuai dengan setpoint yang telah ditentukan.

Namun, berdasarkan data yang tersedia dalam penelitian ini, pengaruh penggunaan fuel preheater terhadap penurunan konsumsi bahan bakar belum dapat ditentukan secara kuantitatif. Untuk mengetahui pengaruh tersebut diperlukan pengujian konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah penggunaan fuel preheater pada kondisi operasi mesin yang sama.

BAB 5.
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian fuel preheater berbasis lilitan resistif pada sistem pembakaran kendaraan diesel 4 silinder, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Fuel preheater berbasis lilitan resistif berhasil dirancang dan dibangun dengan menggunakan kawat Nichrome 80 sebagai elemen pemanas yang dililitkan pada pipa aluminium sebagai media penghantar panas. Sistem dilengkapi dengan Kapton tape sebagai isolator listrik, fiberglass tape sebagai isolator panas, sensor temperatur NTC, modul thermostat W1209, relay 30 A, sekring 15 A, dan sumber tegangan 12 V. Sistem kontrol temperatur dirancang dengan setpoint 80°C, sehingga elemen pemanas dapat bekerja secara otomatis sesuai temperatur yang terdeteksi oleh sensor.
2. Fuel preheater mampu meningkatkan temperatur bahan bakar solar dari 30°C hingga mencapai 80°C. Berdasarkan hasil pengujian, temperatur meningkat secara bertahap dari 30°C pada waktu 30,65 menit hingga mencapai 80°C pada waktu 36,12 menit. Hal tersebut menunjukkan bahwa elemen pemanas berbasis lilitan Nichrome mampu memberikan panas yang cukup untuk meningkatkan temperatur bahan bakar sesuai dengan temperatur target yang telah ditentukan.
3. Sistem kontrol temperatur menggunakan modul W1209 dan relay 30 A dapat mengendalikan kerja elemen pemanas secara otomatis berdasarkan temperatur yang terbaca oleh sensor NTC. Sistem dirancang untuk mengaktifkan pemanas ketika temperatur berada di bawah setpoint dan memutus arus ketika temperatur mencapai temperatur yang ditentukan, sehingga dapat membantu mencegah pemanasan berlebih.
4. Pemanasan bahan bakar secara teoritis dapat mendukung proses pembakaran yang lebih optimal, karena peningkatan temperatur bahan

bakar dapat menurunkan viskositas sehingga proses atomisasi menjadi lebih baik. Namun, pengaruh temperatur fuel preheater terhadap konsumsi bahan bakar belum dapat ditentukan secara kuantitatif dari penelitian ini, karena belum terdapat pengujian dan data konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah penggunaan fuel preheater. Oleh karena itu, kesimpulan mengenai penurunan atau peningkatan konsumsi bahan bakar belum dapat dinyatakan berdasarkan hasil penelitian ini.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Dilakukan pengujian konsumsi bahan bakar secara langsung pada mesin diesel dengan membandingkan konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah penggunaan fuel preheater pada kondisi operasi yang sama, sehingga pengaruh temperatur terhadap konsumsi bahan bakar dapat diketahui secara kuantitatif.
2. Dilakukan pengujian pada beberapa variasi temperatur, misalnya 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, dan 80°C, untuk mengetahui temperatur yang paling optimal terhadap karakteristik pembakaran dan konsumsi bahan bakar.
3. Pengujian selanjutnya sebaiknya dilakukan secara langsung pada mesin diesel 4 silinder dengan variasi putaran dan beban mesin, sehingga kinerja fuel preheater dapat diketahui dalam kondisi operasi yang lebih mendekati penggunaan sebenarnya.
4. Perlu dilakukan pengujian kestabilan temperatur dalam waktu yang lebih lama untuk mengetahui kemampuan modul W1209 dalam mempertahankan temperatur bahan bakar pada setpoint serta memastikan sistem tidak mengalami overheating.
5. Perlu dilakukan pengembangan pada desain dan sistem isolasi fuel preheater untuk mengurangi kehilangan panas ke lingkungan sehingga proses pemanasan bahan bakar dapat berlangsung lebih efektif.
6. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan parameter pengujian seperti daya mesin, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC), dan emisi gas buang agar pengaruh penggunaan fuel preheater terhadap performa dan efisiensi mesin diesel dapat dianalisis secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science, 33(3), 233–271.

Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). Heat and mass transfer: Fundamentals and applications (6th ed.). McGraw-Hill Education. Detail edisi dan penerbitnya terkonfirmasi pada katalog McGraw-Hill.

Gafur, A., Zulkarnain, Z., Sunarto, S., & Syafika, N. (2025). Analisis pengaruh masukan udara pada ruang bakar boiler pipa api kapasitas 100 kg/jam untuk meningkatkan efisiensi energi. Jurnal Mekanik Terapan, 6(3), 164–171.

Halis, S., & Doğan, B. (2023). Effects of intake air temperatur on energy, exergy and sustainability analyses in an RCCI engine fueled with iso-propanol and n-heptane. Energy, 284, 129050.

Stone, R. (2021). Introduction to internal combustion engines. Palgrave Macmillan.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). Product design and development (6th ed.). McGraw-Hill Education.

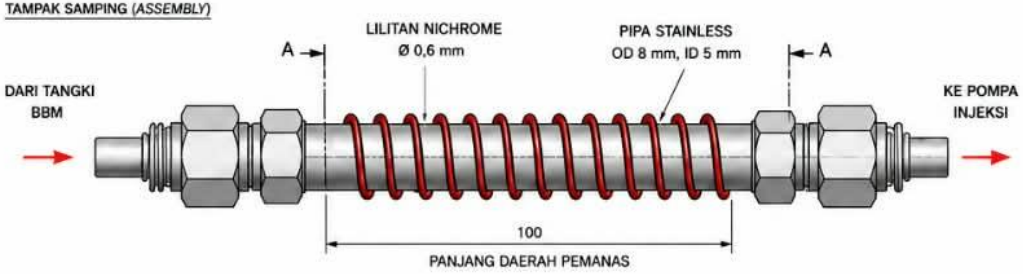
Yeneneh, K., Sufe, G., & Sroka, Z. J. (2025). Performance, combustion, and emission characteristics of a diesel engine fueled with preheated coffee husk oil methyl ester (CHOME) biodiesel blends. Sustainability, 17(19), 8678.

FUEL PRE HEATER PADA MESIN DIESEL (ISUZU PANTHER)
SISTEM 12 V DC – TARGET SUHU 80°C – DAYA 100 W

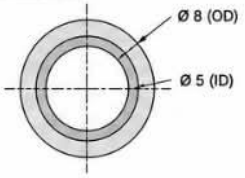
SPESIFIKASI UMUM

1.	Tegangan Sistem	: 12 V DC
2.	Daya Heater	: 100 W
3.	Target Suhu	: 80°C
4.	Media Pemanas	: Lilitan Nichrome Ø 0,6 mm
5.	Pipa Pemanas	: Stainless Steel
6.	Fluida	: Solar (Diesel)
7.	Arah Aliran	: Dari Tangki ke Pompa Injeksi

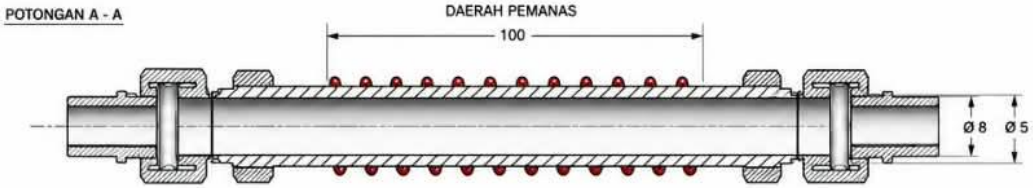
TAMPAK SAMPING (*ASSEMBLY*)



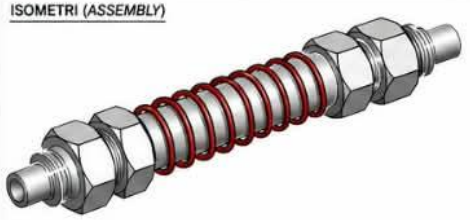
DIMENSI PIPA (mm)



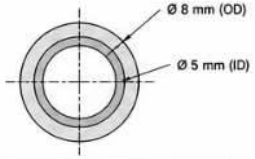
POTONGAN A - A



ISOMETRI (*ASSEMBLY*)



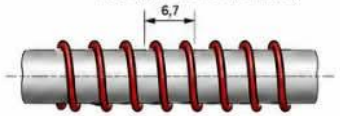
TAMPAK DEPAN



KETERANGAN ALIRAN	
SIMBOL	KETERANGAN
→	ARAH ALIRAN FUEL
–·–+–·–	GARIS SUMBU

DETAIL LILITAN

PITCH (JARAK ANTAR LILITAN)



JUMLAH LILITAN	15 LILITAN
PANJANG LILITAN	: 100 mm
PITCH	: 6 – 7 mm
KAWAT	: NICHROME Ø 0,6 mm

CATATAN :
1. Semua ukuran dalam satuan millimeter (mm)
2. Lilitan Nichrome tidak boleh bersentuhan langsung dengan pipa (gunakan isolator mika/keramik)
3. Pastikan sambungan fitting rapat untuk mencegah kebocoran bahan bakar

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

UMSU

JUDUL GAMBAR	FUEL PRE HEATER PADA MESIN DIESEL (ISUZU PANTHER)	SKALA	SATUAN
		1 : 1	mm
DIGAMBAR	NANDA AFIFSYAH		
TANGGAL	02 - 06 - 2025		
		NO. GAMBAR	REV.
		FPH-UMSU-001	A

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Rancang Bangun Sistem Kontrol Fuel Preheater Berbasis Lilitan Resistif Pada Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Diesel 4 Silinder
Nama : Nanda Afifsyah
NPM 2207230148
Dosen Pembimbing : H. Muharnif M, ST,M.Sc

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Kamis/3 sep 26	Revisi Gravik	
2	kamis/3 sep 26	Revisi Gambar	
3	kamis/3 sep 26	Revisi kata pengantar	
4	kamis/3 sep 26	Revisi Bagan alir	
5	Kamis/3 sep 26	Revisi Lembar Pengesahan	
6.	Selasa/8 sep 26	Revisi Kata Pengantar	
7.	Selasa/8 sep 26	Revisi Daftar Isi.	
8.	Selasa/8 sep 26.	Acc sidang TA	

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAX & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 1913/SK/BAN-PT/Ak.KP/PT/XI/2022
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
https://fatek.umsu.ac.id fatok@umsu.ac.id umsumedan umsumedan umsumedan umsumedan

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 35/II.3AU/UMSU-07/F/2026

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik MESIN Pada Tanggal 10 Januari 2026 dengan ini Menetapkan :

Nama	: NANDA AFIFSYAH
Npm	:2207230148
Program Studi	: TEKNIK MESIN
Semester	: 7 (TUJUH)
Judul Tugas Akhir	: RANCANG BANGUN INTAKE AIR HEATER BERBASIS LILITAN RESESFIF UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PEMBAKARAN .
Pembimbing	: H.MUHARNIF ST.M.Sc

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik MESIN
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 21 Rajab 1447 H
10 Januari 2026 M

Dekan

Ir. Ade Faisal, ST., M.Sc., Ph.D
NIDN: 0123097203

DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2025-2026

Nama : Nanda Afifsyah
NPM : 2207230148
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Kontrol Fuel Preheater Berbasis Lilitan Resistif Pada Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Diesel 4 Silinder

TANDA TANGAN TIM DOSEN PENGUJI:

Pembimbing - I : H. Muharnif, S.T., M.Sc. : .....
Pembanding - I : Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. : .....
Pembanding - II : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T. : .....

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1			1. .....
2			2. .....
3			3. .....
4			4. .....
5			5. .....
6			6. .....
7			7. .....
8			8. .....
9			9. .....
10			10. .....

Medan, 31 Agustus 2026
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama	:	Nanda Afifsyah
NPM	:	2207230148
Judul Tugas Akhir	:	Rancang Bangun Sistem Kontrol Fuel Preheater Berbasis Lilitan Resistif Pada Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Diesel 4 Silinder
Dosen Pembimbing - I	:	H. Muharnif, S.T., M.Sc.
Dosen Pembanding - I	:	Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembanding - II	:	Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

[ ] 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)

[X] 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan

[ ] 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

Perbaiki sesuai Catatan Saat Seminar.

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

Medan, 31 Agustus 2026
Dosen Pembanding - I

Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama	:	Nanda Afifsyah
NPM	:	2207230148
Judul Tugas Akhir	:	Rancang Bangun Sistem Kontrol Fuel Preheater Berbasis Lilitan Resistif Pada Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Diesel 4 Silinder
Dosen Pembimbing - I	:	H. Muharnif, S.T., M.Sc.
Dosen Pembanding - I	:	Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembanding - II	:	Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

[ ] 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)

[✓] 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan

[ ] 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

Lihat buku tugas akhir

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

Medan, 31 Agustus 2026
Dosen Pembanding - II

Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A.Identitas Diri

Nama	: Nanda Afifsyah
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir	: Medan, 20 November 2004
Alamat	: JLN Jermal 12 GG Pribadi 3
Agama	: Islam
E-mail	: afifaja427@gmail.com
No Handphone	: 083898670827

B.Riwayat Pendidikan

1. SD Negeri 064978 Tahun 2010-2016
2. SMP Negeri 23 Medan Tahun 2016-2019
3. SMK Negeri 4 Medan Tahun 2019-2022
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2022-2026