



**PERANCANGAN SISTEM KONTROL *SAFETY WATER TUBE* PADA
BURNER BOILER MENGGUNAKAN THERMOSTAT
DIGITAL REX C100**

SKRIPSI

**MUHAMMAD RIFA'AN
NPM 17650048**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
2024**



**PERANCANGAN SISTEM KONTROL *SAFETY WATER TUBE* PADA
BURNER BOILER MENGGUNAKAN THERMOSTAT
DIGITAL REX C100**

SKRPSI

**Diajukan kepada Fakultas Teknik dan Informatika
Universitas PGRI Semarang Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

MUHAMMAD RIFA'AN

17650048

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG**

2024

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL *SAFETY WATER TUBE* PADA
BURNER BOILER MENGGUNAKAN THERMOSTAT
DIGITAL REX C100**

Disusun dan diajukan oleh
MUHAMMAD RIFA'AN
17650048

“Telah disetujui oleh pembimbing untuk dilanjutkan dihadapan Dewan Penguji”

Pada tanggal: 10 Juni 2024

Menyetujui,

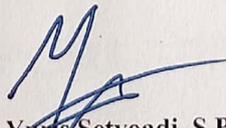
Dosen Pembimbing I,



Aan Burhanuddin, S.T., M.T.

NIP/NPP. 148301458

Dosen Pembimbing II,



Yuni Setyoadi, S.Pd., M.T

NIP/NPP. 138201417

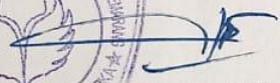
HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM KONTROL *SAFETY WATER TUBE* PADA
BURNER BOILER MENGGUNAKAN THERMOSTAT
DIGITAL REX C100

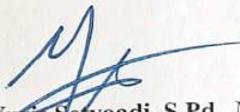
Disusun dan diajukan oleh
MUHAMMAD RIFA'AN
17650048

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 10 Juni 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

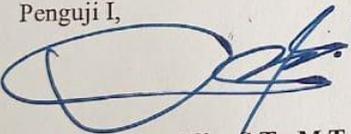


Ketua

Ibnu Toto Husodo, S.T., M.T.
NIP. 136901387

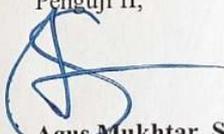
Sekretaris,


Yuris Setyoadi, S.Pd., M.T
NIP. 138201417

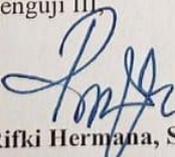
Penguji I,


Aan Burhanuddin, S.T., M.T.
NIP. 148301458

Penguji II,


Agus Mukhtar, S.Pd., M.T.
NIP. 0622088101

Penguji III,


Rifki Hermiana, S.T., M.T.
NIP. 208001557

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

“Menuntut ilmu adalah takwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad.” – Abu Hamid Al Ghazali

“Hiduplah seakan-akan kamu akan mati hari esok dan belajarlh seolah kamu akan hidup selamanya.” – Mahatma Gandhi

Persembahan:

Karya Tulis Ilmiah ini saya persembahkan kepada diri saya sendiri yang sudah berjuang dan bertahan sampai titik ini, segala keluh dan kesah yang pernah disampaikan akhirnya terbayarkan, namun ini bukan akhir tapi awal bagi saya untuk memasuki masa kehidupan yang sebenarnya.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Rifa'an

NPM : 17650048

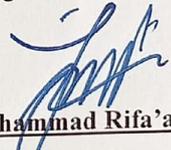
Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : **Perancangan Sistem Kontrol *Safety Water Tube* Pada *Burner Boiler* Menggunakan Thermostat Digital Rex C100**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya serahkan ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, kecuali kutipan-kutipan dari ringkasan yang semuanya telah saya jelaskan sumbernya. Apabila dikemudian hari saya terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka sanksi apapun yang diberikan saya akan terima.

Semarang, Juni 2024

Yang Membuat Pernyataan


Muhammad Rifa'an

NPM. 17650048

ABSTRAK

Boiler merupakan bagian penting dalam dunia industri. Uap panas yang dihasilkan *boiler* biasa digunakan untuk berbagai proses produksi industri. *Boiler* dalam proses kerjanya akan mengubah air menjadi uap dengan menambahkan panas. Dilihat dari segi pemanasan oleh *burner*, suhu hasil pemanasan tidak boleh terlalu tinggi (*over heating*). Suhu yang terlalu tinggi akan menyebabkan tekanan di dalam *boiler* menjadi tinggi juga. Tekanan yang terlalu tinggi akan menyebabkan kerusakan pada *boiler* karena dalam pembuatannya, *boiler* memiliki batas tekanan yang diijinkan. Maka dari itu, diperlukan sebuah sistem pengaturan yang bekerja secara otomatis dalam mengendalikan kerja motor pompa air dan alat pemanas untuk menghasilkan *level* air dan kondisi suhu yang konstan sesuai dengan nilai parameter yang telah ditentukan. Dari hasil hasil pengolahan dan analisis data yang telah didapatkan alat kontrol *safety* pada mesin *boiler* dapat menggunakan modul REX C100 karena dapat bekerja sesuai dengan fungsinya dan penggunaan perangkat komponen REX C100 pada sistem ini dapat melakukan pembacaan sensor dan dapat mengontrol pengoprasian mesin *bolier* secara otomatis ketika suhu melebihi batas yang tidak di inginkan sebesar 200°C.

Kata kunci: Sistem Kontrol *Safety*, *Burner Boiler*, Thermostat

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan terhadap kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat hidayah dan karunia-Nya pada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Judul penulis pilih dalam penulisan skripsi ini adalah : **“Perancangan Sistem Kontrol *Safety Water Tube* Pada *Burner Boiler* Menggunakan *Thermostat Digital Rex C100*”**

Pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua baik pihak yang telah banyak membantu dalam penulisan skripsi ini, terutama kepada:

1. Ibu **Dr. Sri Suciati, M.Hum**, selaku Rektor Universitas PGRI Semarang yang telah memberikan kesempatan, untuk menyelesaikan studi di Universitas PGRI Semarang.
2. Bapak **Ibnu Toto Husodo, S.T., M.T.**, selaku Dekan FTI yang telah memberikan izin penelitian dalam rangka penyusunan skripsi.
3. **Yuris Setyoadi, S.Pd., M.T.**, selaku Kepala program studi Teknik Mesin dan selaku pembimbing II yang telah saran dan masukan dalam penyusunan penulisan ini.
4. **Aan Burhanuddin, S.T., M.T.** selaku Pembimbing I dengan penuh ketelitian memberikan bimbingan dan arahan dalam merancang pembuatan alat.
5. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang yang telah mendidik dan membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan studi S1 di program studi Teknik Mesin.
6. Orang tua yang senantiasa memberikan dukungan dan doa dalam menyelesaikan skripsi
7. Istri tercinta Alis Shofiyani terimakasih telah memberi semangat dan segala dukungan dalam tersusunnya Skripsi ini. Terimakasih juga telah menemani dan berjuang bersama selama ini dalam meraih hal-hal yang ingin dicapai bersama.
8. Bagi seluruh teman-teman lainnya yang telah membantu penulis dalam pembuatan dan penyelesaian skripsi ini.

9. Semua pihak yang membantu dalam penulisan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak demi perkembangan dan kemajuan akademik.

Semarang, Juni 2024

Penulis

Muhammad Rifa'an

17650048

DAFTAR ISI

SAMPUL LUAR	i
SAMPUL DALAM.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	vi
ABSTRAK	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Pembatasan Masalah	3
D. Perumusan Masalah.....	3
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian.....	4
G. Penegasan Istilah	4
H. Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
A. Tinjauan Pustaka	7
B. Landasan Teori	8
C. Kerangka Berpikir	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
A. Pendekatan Penelitian	24
B. Lokasi/Fokus Penelitian	24
C. Variabel Penelitian	25
D. Desain Penelitian.....	25

E. Proses Eksperimen	27
F. Teknik Pengumpulan Data	31
G. Teknik Analisa Data	32
H. Jadwal	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
A. Implementasi Sistem Produk	34
B. Hasil Penelitian	38
B. Pembahasan	45
BAB V PENUTUP	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ketel Uap Pipa Api	10
Gambar 2.2 Prinsi Sirkulasi Alami	12
Gambar 2.3 Prinsip Sirkulasi Paksa	13
Gambar 2.4 Thermostat Digital REX C100.....	17
Gambar 2.5 SSR (<i>Solid State Relay</i>).....	18
Gambar 2.6 Prinsip Thermocouple (Sensor suhu)	21
Gambar 2.7 Thermocouple (Sensor suhu)	22
Gambar 2.8 Skema Kerangka Berpikir	24
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	30
Gambar 3.2 Blok Diagram Alat Pemanas Otomatis	32
Gambar 3.3 Wiring Alat Pemanas Otomatis.....	34
Gambar 4.1 Diagram Blok Alur Kerja Alat	38
Gambar 4.2 Modul REX C-100	39
Gambar 4.3 Rangkaian Thermostat.....	40
Gambar 4.4 Rangkaian Lampu Indikator.....	41
Gambar 4.5 Rangkaian Keseluruhan Kontrol <i>Boiler</i>	41
Gambar 4.6 Tampilan LCD (<i>Display</i>)	44
Gambar 4.7 Proses Pengujian Sensor.....	44
Gambar 4.8 Grafik Pengujian Kelayakan Sistem	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Metode Langsung Dan Tidak Langsung	16
Tabel 2.2 Spesifikasi Thermostat Digital REX C100	21
Tabel 3.1 Hasil Pengukuran Suhu Dengan Alat Ukur Standart.	35
Tabel 3.2 Hasil Pengujian Durasi Waktu Berdasarkan Variasi Volume	36
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	37
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Catu Daya	43
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor	46
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sistem Pertama Kapasitas 50Kg.....	47
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sistem Pertama Kapasitas 100Kg.....	47
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sistem Kedua Kapasitas 50Kg	48
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Sistem Kedua Kapasitas 100Kg	48
Tabel 4.7 <i>Margin of Error</i>	51

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemakaian uap pada proses produksi dipengaruhi faktor melimpahnya air sebagai bahan baku penghasil uap. Untuk mendidihkan air tersebut diperlukan energi yang diperoleh dari sumber panas, misalnya dari pembakaran bahan bakar (padat, cair dan gas), tenaga listrik, gas panas sebagai sisa proses kimia serta tenaga nuklir. Pemanfaatan *boiler* sebagai penghasil uap ditujukan untuk proses produksi dan penghasil energi. Secara umum dalam dunia industri membutuhkan sarana pemanas dalam proses produksinya. Sarana yang dipakai terutama untuk industri pengolahan kecil dan menengah memanfaatkan panas dari uap yang dihasilkan oleh suatu *boiler*. (Daya, 2020)

Boiler merupakan bagian penting dalam dunia industri. Uap panas yang dihasilkan *boiler* biasa digunakan untuk berbagai proses produksi industri. Secara umum *boiler* terdiri dari beberapa sistem diantaranya adalah sistem *feed water*, sistem *steam* dan sistem pembakaran yang terintegrasi menjadi satu kesatuan. Ruang pembakaran adalah salah satu komponen penting pada *boiler*, yang berfungsi sebagai penampil panas yang diperoleh melalui proses pembakaran. *Temperature steam* pada ruang bakar sering sekali mengalami perubahan suhu secara drastis dikarenakan penggunaan bahan bakar tidak stabil sehingga berpengaruh terhadap *temperature steam* tersebut. (Suprianto, 2015)

Boiler dalam proses kerjanya akan mengubah air menjadi uap dengan menambahkan panas. Dalam menghasilkan proses pemanasan yang stabil dan sempurna, maka hal yang perlu diperhitungkan adalah kapasitas motor pompa air *burner* atau alat pemanas, level air, level suhu atau tekanan, dan sistem pengaman. (Priyanto & Wilastari, 2022)

Dilihat dari sisi pengisian air pada *boiler*, motor pompa air harus mampu menyediakan air sesuai dengan kebutuhan *boiler*. Level air tidak boleh terlalu penuh untuk menghindari adanya *carrie over* yang dapat menurunkan kualitas

steam yang dihasilkan, misalnya *steam* menjadi terlalu basah, terjadi pengendapan dan kondensasi di sepanjang pipa distribusi *steam*, bahkan dapat menyebabkan kerusakan pada mesin yang berhubungan langsung dengan *steam* selama pengoperasiannya. Selain itu, level air di dalam *boiler* juga tidak boleh terlalu rendah supaya *burner* (pemanas) tidak memanaskan ruangan yang tidak ada airnya. Apabila pemanas atau *heater* menyala padahal tidak ada air yang dipanaskan akan dapat menyebabkan material *heater* mengalami pemanasan maksimal sehingga akan menyebabkan penurunan kualitas atau umur material penyusun *heater* bahkan dapat menyebabkan kerusakan *heater*. (Anonim, 2022)

Dilihat dari segi pemanasan oleh *burner*, suhu hasil pemanasan tidak boleh terlalu tinggi (*over heating*). Suhu yang terlalu tinggi akan menyebabkan tekanan di dalam *boiler* menjadi tinggi juga. Tekanan yang terlalu tinggi akan menyebabkan kerusakan pada *boiler* karena dalam pembuatannya, *boiler* memiliki batas tekanan yang diijinkan. Di samping itu, jika suhu yang dihasilkan terlalu rendah maka rendah juga tekanan di dalam *boiler*. Hal ini dapat menyebabkan kapasitas uap yang dihasilkan akan turun dan suhu *steam* yang diharapkan tidak dapat tercapai. (Adnyana, 2007)

Maka dari itu, diperlukan sebuah sistem pengaturan yang bekerja secara otomatis dalam mengendalikan kerja motor pompa air dan alat pemanas untuk menghasilkan *level* air dan kondisi suhu yang konstan sesuai dengan nilai parameter yang telah ditentukan.

Salah satu model pengaturan yang banyak digunakan dalam dunia industri dewasa ini adalah dengan menggunakan alat pengontrol atau mengatur suhu yaitu yang dapat secara otomatis menghidupkan dan mematikan sistem pemanas sehingga kondisi atau level suhu tetap terjaga atau stabil sesuai dengan keinginan dengan menggunakan Thermostat Digital REX C100. Thermostat Digital REX C100 adalah sebuah rangkaian *input – output* yang terintegrasi dalam sebuah modul yang bekerja berdasarkan program yang dibuat. Dengan menggunakan sensor suhu sebagai *input* maka alat ini dapat mengatur hidup atau mati alat pemanas sesuai dengan parameter yang telah didefinisikan. Alasan yang mendasari penggunaan Thermostat Digital REX C100 sebagai alat

kendali diantaranya adalah mempunyai fleksibilitas yang tinggi sebagai alat kendali. Instalasinya mudah dan cepat karena sistem pengkabelan yang ringkas dibandingkan jika menggunakan *relay*, *troubleshooting* yang mudah dengan fasilitas *monitoring* saat sistem yang dikendalikan sedang berjalan.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang diatas, identifikasi masalah yang akan dijadikan bahan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Perlunya sistem keamanan pada *Burner Boiler* untuk mengatasi suhu yang berlebih.
2. Sistem kewanaman pada *Boiler* menggunakan sistem mekanik dan tidak dapat dikontrol secara digital sesuai suhu target yang diinginkan

C. Pembatasan Masalah

Agar penelitian lebih mengarah pada sasaran dan tidak menyimpang dari berbagai masalah yang timbul, maka dari itu perlu dibatasi pada:

1. Fokus skripsi ini membahas tentang pengendalian temperatur ruang bakar burner boiler berbahan bakar solar di industri
2. Direncanakan menggunakan Thermostat Digital REX C100 sebagai kontroler dan sensor temperatur
3. Proses pemanasan air dilakukan untuk setiap satu jam dan kenaikan suhu dicatat untuk setiap lima menit terhitung dari waktu sebelumnya.
4. Kenaikan suhu yang dicatat adalah kenaikan suhu yang berasal dari proses pemanasan air oleh alat pemanas yang berbeda-beda dan volume air ditetapkan sebagai variabel *input* yang nilainya dapat diubah.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan Identifikasi masalah dan pembatasan masalah yang dapat dibuat sebagai perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan sistem kontrol yang tepat agar alat dapat di rancang sesuai dengan kebutuhan?

2. Bagaimana merancang sistem kontrol keamanan yang dapat beroperasi secara otomatis agar suhu tidak melebihi ambang batas?

E. Tujuan Penelitian

Sistem kendali yang dirancang adalah suatu sistem pengendalian suhu hasil pemanasan pada *burner boiler*. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian mengenai perancangan sistem kendali otomatis adalah:

1. Menentukan perangkat dan komponen sistem kontrol yang tepat agar alat dapat di rancang sesuai dengan kebutuhan.
2. Merancang sistem kontrol keamanan yang dapat beroperasi secara otomatis agar suhu tidak melebihi ambang batas sebesar 200°C.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian mengenai perancangan sistem kendali otomatis pada *burner boiler*, yaitu:

1. Dapat merancang alat yang dapat mengontrol suhu uap pemanasan di dalam *boiler* secara otomatis.
2. Memberikan kemudahan dalam cara kerja untuk mengatasi kondisi-kondisi yang terjadi di dalam proses pemanasan air menjadi uap.
3. Menghasilkan rujukan dalam mengaplikasikan sistem kendali pada *boiler* di dunia industri.
4. Menghasilkan produk implementasi bagi Jurusan Teknik mesin untuk sistem pengaturan yang menggunakan Thermostat Digital, agar dapat digunakan sebagai modul penelitian dan percobaan ataupun simulasi penggunaan alat atau produk lainnya.

G. Penegasan Istilah

1. Perencanaan

Perencanaan secara umum merupakan suatu upaya dalam menentukan berbagai hal yang hendak dicapai atau tujuan di masa depan dan juga untuk menentukan beragam tahapan yang memang dibutuhkan demi mencapai

tujuan tersebut. Perencanaan juga sebagai suatu bentuk kegiatan yang sudah terkoordinasi demi mencapai suatu tujuan tertentu dan juga dalam jangka waktu tertentu. Sehingga, dalam perencanaan akan terdapat berbagai kegiatan pengujian pada beberapa arah pencapaian, menganalisa seluruh ketidakpastian, menilai kapasitas, menentukan tujuan pencapaian, dan juga menentukan langkah dalam pencapaiannya. (Ibnu, 2021)

2. Otomatis

Otomatis memiliki arti dalam kelas adjektiva atau kata sifat sehingga otomatis dapat mengubah kata benda atau kata ganti, biasanya dengan menjelaskannya atau membuatnya menjadi lebih spesifik salah satunya dapat bekerja sendiri atau beroperasi sendiri.

3. *Burner Boiler*

Burner adalah sebuah komponen dari boiler yang berfungsi mengkabutkan bahan bakar minyak yang dibantu oleh tekanan udara yang diberikan oleh blower dan dibantu oleh elektroda supaya terjadi pembakaran di ruang bakar. Burner sendiri sangatlah penting pada boiler dikarenakan jika burner itu sendiri tidak bisa mengkabutkan bahan bakar maka boiler tidak akan bekerja dengan maksimal. (Syaiful, 2019)

4. Industri

Industri adalah kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, barang setengah jadi atau barang jadi, menjadi barang yang bermutu tinggi dalam penggunaannya, termasuk kegiatan rancang bangun dan perekayasaan industri. Industri merupakan bagian dari proses produksi. Bahan-bahan industri diambil secara langsung maupun tidak langsung, kemudian diolah, sehingga menghasilkan barang yang bernilai lebih bagi masyarakat.

5. Thermostat Digital REX C100

Digital Temperature Controller ini adalah alat yang bisa mengontrol suhu untuk mengendalikan cooler / heater sesuai dengan settingan yang diinginkan. Sama seperti prinsip kerja Digital Counter relay, Digital

Thermostat ini mempunyai kontak-kontak NO NC pada output settingnya, serta membutuhkan input power supply dalam kerjanya.

H. Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan dari penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yaitu sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pendahuluan terdiri dari latar belakang, identifikasi masalah, pembatasan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Kajian pustaka berisikan tentang penunjang teori untuk melakukan analisis dari hasil penelitian (analisis data).

BAB III : METODE PENELITIAN

Dalam bab ini berisikan tentang hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yang terdiri dari uraian dan proses pengerjaan dari awal hingga akhir penelitian, serta peralatan dan bahan yang digunakan ketika penelitian

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan mengenai data-data hasil penelitian dan pembahasan untuk menganalisis data yang telah diperoleh sesuai penelitian.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan juga berisikan saran bagi penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka terdiri dari dasar pemikiran atau referensi yang digunakan peneliti untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan mengenai perlengkapan data penelitian

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka merupakan proses peninjauan kembali beberapa penelitian terdahulu tentang topik tertentu. Dalam hal bertujuan agar penelitian ini mempunyai perbandingan terhadap penelitian sebelumnya.

Pada penelitian pertama dilakukan oleh M. Usemahu Taher (2018) yang berjudul “Optimalisasi Pengoperasian Boiler dalam Memproduksi Uap untuk Menunjang Pengoperasian Kapal MV. Sinar Kutai” merupakan penelitian yang mengkaji tentang Apa yang menyebabkan kualitas air boiler tidak baik dan penyebab pembakaran pada boiler tidak sempurna. Kejadian ini menunjukkan adanya masalah antara perawatan dengan officer yang bertanggung jawab dalam menangani permesinan tersebut. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kurangnya manajemen perawatan yang dilakukan oleh masinis menjadi faktor utama permasalahan bisa terjadi. Hal hal yang seharusnya dilaksanakannya perawatan sesuai jadwal tidak mencapai tujuan yang di inginkan, kendala pun terjadi. (M. Usemahu Taher, 2018)

Pada penelitian kedua dilakukan oleh Herry Setyawan, Aji Brahma Nugroho, dan Sumarsono (2020) yang berjudul “Perancangan Prototype Mesin Boiler Otomatis Pengereng Jagung Berbasis PLC (Programmable Logic Control)” merupakan sebuah perancangan prototype mesin boiler otomatis berbasis PLC menggunakan Barico Dryer. Dengan menggunakan alat ini, hanya dibutuhkan waktu 24.95 jam untuk mengeringkan jagung dengan berat 1 kg memiliki tingkat kadar air pada biji 13– 14 %. Penggunaan mesin boiler dalam proses pengeringan jagung lebih efektif daripada menggunakan sinar matahari. Penggunaan daya dengan mesin boiler berbasis PLC lebih hemat di bandingkan tanpa menggunakan PLC. (Setyawan & Nugroho, 2020)

Pada penelitian ketiga dilakukan oleh Mawardi Silaban (2007) yang berjudul “Penghematan Energi dan Perhitungan Sederhana Menaksir Efisiensi Boiler” merupakan sebuah analisa perhitungan efisiensi boiler dengan metode

tidak langsung, efisiensi harian selama satu bulan berkisar 56,4% sampai 72,5% dan langkah penghematan energi dapat dilakukan pada ekonomiser untuk *preheating boiler feed water*, *air pre-heater* untuk memanasi udara pembakaran, mengontrol jumlah udara pembakaran masuk *burner*, *isolator boiler* dan pipa serta kontrol otomatis *blowe down*. (Mawardi Silaban, 2007)

B. Landasan Teori

1. Boiler

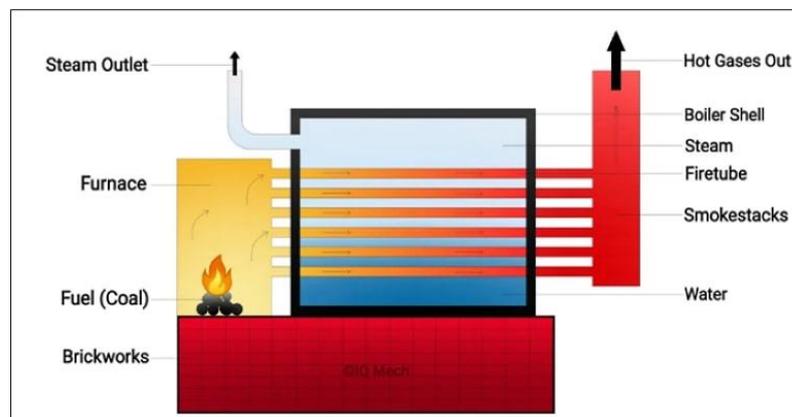
Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap. Komponen penting pada boiler adalah burner, ruang bakar, penukar panas dan sistem kontrol. Komposisi yang tepat dalam pencampuran antara bahan bakar dan udara di ruang bakar akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Panas yang dihasilkan ditransfer ke air melalui penukar panas. Air panas atau uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk proses produksi. Dalam proses produksi dari air menjadi uap, dapat terjadi kehilangan panas atau rugi seperti kehilangan panas berupa udara berlebih dan temperatur yang tinggi pada gas buang dicerobong. Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu. Kehilangan dari *blowdown* dan kondensat. Kehilangan konveksi, radiasi dan penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar. (Einstein et al., 2001)

Boiler merupakan salah satu sistem peralatan yang berperan penting dalam penyempurnaan proses produksi di industri manufaktur. Pertumbuhan industri *boiler* dalam negeri akan terjadi dengan improvisasi teknologi yang digunakan pada *boiler*. Salah satu pengendalian proses pada *boiler* adalah level ketinggian air. Level ketinggian air di dalam *drum boiler* mengindikasikan volume air yang terisi pada drum. Permasalahan dalam penelitian pada rancang bangun *cross section water tube boiler* adalah ingin mengetahui pengaruh level ketinggian air di dalam *steam drum* terhadap *saturated steam* yang dihasilkan serta menentukan level ketinggian air yang optimal untuk pengoperasian *boiler* menggunakan bahan bakar solar dan gas. ketel uap berfungsi sebagai sarana untuk mengubah air menjadi uap bertekanan. Ketel uap diartikan sebagai alat

untuk membentuk uap yang mampu mengkonversi energi kimia dari bahan bakar (padat cair dan gas) yang menjadi energi panas. Uap yang dihasilkan dari ketel uap merupakan gas yang timbul akibat perubahan fase cair menjadi uap atau gas melalui cara pemanasan yang memerlukan sejumlah energi dalam prosesnya. Air yang berdekatan dengan bidang pemanas akan memiliki temperature yang lebih tinggi (berat jenis yang lebih rendah) di bandingkan dengan air yang bertemperatur rendah, sehingga air yang bertemperatur tinggi akan naik kepermukaan dan air yang bertemperatur rendah akan turun. Peristiwa ini terjadi secara terus menerus (sirkulasi) hingga berbentuk uap. Penelitian tentang boiler dengan pipa *longitudinal* sebagai *superheater* untuk menghasilkan *superheated steam* dan sistem hanya terdiri dari satu buah *drum* yang berfungsi sebagai *water drum* dan *steam drum*. Dari penelitian mengenai *Longitudinal Water Tube Boiler* tersebut dapat diketahui bahwa masih banyak kekurangan, salah satunya yaitu sistem *longitudinal tube* yang artinya susunan *tube* sejajar dengan *steam drum* sehingga mempersempit luas area pada *tube* dan memperkecil perpindahan panas yang terjadi pada *boiler*. (Aswan et al., 2007)

2. Tipe-tipe boiler

a. Ketel Uap Pipa Api (*fire tube boiler*)



Gambar 2.1 Ketel Uap Pipa Api

(Sumber: Ryan, 2022)

Boiler terdapat beberapa klasifikasi. Salah satunya adalah *Fire tube boiler* atau ketel uap pipa api. Penamaan ketel uap pipa api karena fluida yang mengalir pada pipa adalah uap panas hasil pembakaran pada tungku pembakar. Uap bergerak melalui pipa dan mengalirkan panas secara konduksi dari permukaan dalam pipa ke bagian luar pipa. Hal ini menyebabkan penyebaran panas pada air di dalam tabung boiler sehingga air mencapai titik didih dan berubah menjadi uap.

Pada boiler pipa api, fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala, yang membawa energi panas, yang segera mentransfer ke air melalui bidang pemanas. Tujuan pipa-pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas kepada air. Pada boiler pipa air ini, fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, energi panas ditransfer dari luar pipa (yaitu dari ruang bakar) ke air.

Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara, yang kemudian dipindahkan ke air melalui bidang didalam pipa yang dipanaskan pada instalasi ketel uap atau boiler. (Ryan, 2022)

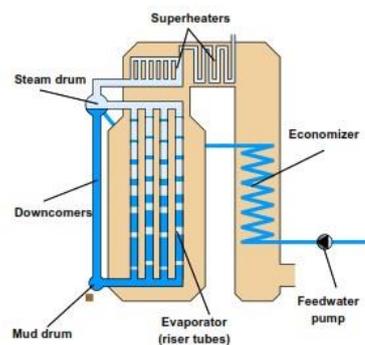
b. Water Tube Boiler

Water tube boiler adalah jenis boiler di mana air dipanaskan di dalam tabung dan gas panas mengelilinginya. Ini adalah definisi dasar boiler tabung air. Sebenarnya boiler ini merupakan kebalikan dari *fire tube boiler* dimana gas panas dilewatkan melalui pipa-pipa yang dikelilingi oleh air. *Water tube boiler* diklasifikasikan menurut cara sirkulasi air/uap: sirkulasi alami, sirkulasi paksa atau terbantu, sekali melalui dan tipe sirkulasi gabungan boiler. Semua boiler pembangkit listrik saat ini adalah water tube boiler.

Pada *water tube boiler* terdapat sirkulasi alami, Sirkulasi alami adalah salah satu prinsip tertua untuk sirkulasi uap/air di boiler. Penggunaannya telah menurun selama dekade terakhir karena kemajuan teknologi dalam jenis sirkulasi lainnya. Prinsip sirkulasi alami biasanya diterapkan pada boiler berukuran kecil dan menengah. Penurunan tekanan untuk boiler sirkulasi alami sekitar 5-10% dari tekanan uap di dalam uap drum dan suhu uap maksimum bervariasi dari 540 hingga 560 °C.

Sirkulasi air/uap dimulai dari tangki *feed water*, dimana umpan air dipompa. Pompa *feed water* meningkatkan tekanan air umpan ke tekanan boiler yang diinginkan. Dalam praktiknya, tekanan uap akhir harus di bawah 170 bar agar sirkulasi alami untuk bekerja dengan baik.

Air umpan kemudian dipanaskan terlebih dahulu di economizer pada titik suhu air hampir mendidih. Untuk mencegah air umpan dari mendidih dalam pipa economizer, suhu air keluar dari economizer suhu sengaja disimpan sekitar 10 derajat di bawah suhu didih. Dengan kata lain, pendekatan suhu 10 K. Dari economizer air umpan mengalir ke steam drum boiler. Di steam drum airnya tercampur rata dengan air yang ada di steam drum. Hal ini mengurangi tekanan termal di dalam drum uap. Jenis sirkulasi ini disebut sirkulasi alami, karena tidak ada pompa sirkulasi air di sirkuit. Sirkulasi terjadi dengan sendirinya karena perbedaan massa jenis air/uap antara downcomer dan riser.



Gambar 2.2 Prinsi Sirkulasi Alami

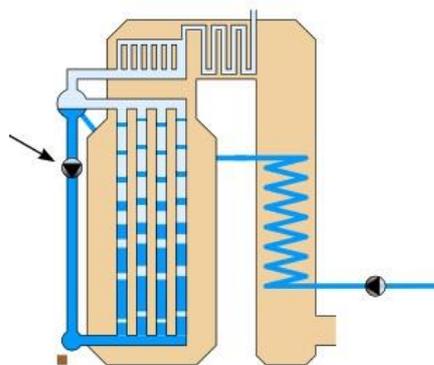
(Sumber: Wiratama, 2022)

Berbeda dengan boiler sirkulasi alami, sirkulasi paksa didasarkan pada sistem sirkulasi internal yang dibantu pompa sirkulasi air/uap. Pompa sirkulasi adalah pembeda utama antara sirkulasi alami dan paksa. Dalam jenis boiler sirkulasi paksa yang paling umum, boiler La Mont, prinsip sirkulasi paksa pada dasarnya sama dengan sirkulasi alami, kecuali untuk pompa sirkulasi. Tingkat tekanan operasi boiler sirkulasi paksa dapat sedikit lebih tinggi dari boiler sirkulasi alami, tetapi karena pemisahan uap/air dalam uap

drum didasarkan pada perbedaan massa jenis antara uap dan air, boiler ini juga tidak cocok untuk tekanan superkritis (>221 bar). Tekanan operasi maksimum untuk boiler sirkulasi paksa adalah 190 bar dan penurunan tekanan dalam boiler sekitar 2-3 bar.

Sirkulasi air/uap dimulai dari tangki air umpan, dimana air umpan dipompa. Pompa air umpan menaikkan tekanan dari air umpan ke tekanan boiler yang diinginkan. Dalam praktiknya, tekanan uap akhir di bawah 190 bar untuk menjaga uap tetap masuk daerah subkritis. Air umpan kemudian dipanaskan di economizer hampir sampai titik tekanan didih air. Dalam sirkulasi paksa, pompa sirkulasi memberikan gaya pendorong untuk sirkulasi uap/air. Karena pompa memaksa sirkulasi, tabung evaporator dapat dibangun di hampir semua posisi. Kehilangan tekanan yang lebih besar dapat ditoleransi dan oleh karena itu tabung evaporator masuk boiler sirkulasi paksa lebih murah dan memiliki diameter lebih kecil (dibandingkan dengan sirkulasi alami).

Air jenuh mengalir selanjutnya dari steam drum melalui tabung downcomer ke mud drum. Biasanya ada beberapa tabung downcomer, yang tidak dipanaskan dan terletak di luar boiler. Header yang mendistribusikan air ke tabung evaporator dilengkapi dengan choker (pembatas aliran) untuk setiap tabung dinding untuk mendistribusikan air secara merata. Air berlanjut ke tabung riser, di mana ia menguap. Uap dipisahkan di dalam drum uap dan diteruskan melalui superheater, seperti di sirkulasi alami. (Wiratama, 2022)



Gambar 2.3 Prinsi Sirkulasi Paksa

(Sumber: Wiratama, 2022)

3. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang laju perpindahan panas di antara material/benda karena adanya perbedaan suhu (panas dan dingin). Perpindahan kalor tidak akan terjadi pada sistem yang memiliki temperatur sama. Perbedaan temperatur menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor, sama dengan perbedaan tegangan sebagai penggerak arus listrik. (Buchori, 2011)

Proses perpindahan kalor terjadi dari suatu system yang memiliki temperatur lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Keseimbangan pada masing – masing sistem terjadi ketika system memiliki temperatur yang sama. Perpindahan kalor dapat berlangsung dengan 3 (tiga) cara, yaitu:

- a. Perpindahan kalor konduksi
- b. Perpindahan kalor konveksi (Alami dan Paksa)
- c. Perpindahan kalor radiasi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panas tetap. Laju aliran panas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas permukaan benda yang saling bersentuhan, perbedaan suhu awal antara kedua benda, dan konduktivitas panas dari kedua benda tersebut. Konduktivitas panas ialah tingkat kemudahan untuk mengalirkan panas yang dimiliki suatu benda. (Holman, 1981)

Konveksi adalah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Lazimnya, keadaan keseimbangan termodinamik di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya (Kern, 1950).

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara yaitu:

- a. Konveksi bebas/ konveksi alamiah Konveksi bebas ialah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya. Contoh: plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.
- b. Konveksi paksaan Konveksi paksaan ialah perpindahan panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar. Contoh: plat panas dihembus udara dengan kipas/blower.

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi berlangsung dengan panjang gelombang pada interval tertentu. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media, sehingga perpindahan panas dapat berlangsung dalam ruangan hampa udara. Contohnya ialah panas matahari yang sampai ke bumi. (Buchori, 2011)

4. Efisiensi Boiler

Efisiensi adalah level kemampuan dari kerja suatu alat. Jadi efisiensi pada boiler adalah tingkatan atau level kemampuan kerja yang terjadi pada boiler atau ketel uap yang didapat dari perbandingan antar energi yang dipindahkan oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Sedangkan pengertian dari efisiensi secara bahasa adalah suatu ukuran keberhasilan sebuah kegiatan yang dinilai berdasarkan besarnya biaya atau sumber daya yang digunakan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Dalam hal ini, semakin sedikit sumber daya yang digunakan untuk mencapai hasil yang diharapkan maka prosesnya dapat dikatakan semakin efisien. Suatu kegiatan dapat dikatakan efisien jika ada perbaikan pada prosesnya, misalnya menjadi lebih cepat atau lebih murah.

ASME Standard PTC 4 – 2008 merupakan standar untuk melakukan performance test boiler (fuel fired steam generator). Tingkat akurasi tes tertentu dipengaruhi oleh factor bahan bakar yang digunakan dan faktor operasi. Pedoman berdasarkan ASME PTC 4. 1998, ada dua metode yang

sering digunakan guna menghitung rumusan efisiensi boiler, yaitu Direct Method / Input Output dan Indirect Method / Heat Loss Method.

Tabel 2.1 Perbandingan Metode Langsung Dan Tidak Langsung

Kelebihan	Kekurangan
<p>Metode Langsung (<i>input-output</i>)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Parameter utama dari efisiensi (<i>input-output</i>) didapatkan dari pengukuran langsung 2. Membutuhkan perhitungan yang lebih sedikit 3. Tidak memerlukan estimasi dari <i>losses</i> yang tidak terhitung 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Flow</i> bahan bakar dan <i>heating value</i> bahan bakar, <i>flow</i> uap dan propertis uap harus diukur secara akurat untuk meminimalkan <i>error</i> 2. Tidak bisa menentukan sumber inefisiensi 3. Membutuhkan metodologi perhitungan energi seimbang untuk mengkoreksi hasil tes
<p>Metode Tidak Langsung</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pengukuran utama (analisis gas buang dan suhu gas buang) dapat dilakukan dengan sangat akurat 2. Memungkinkan melakukan koreksi hasil pengujian 3. Efisiensi hasil pengujian mempunyai tingkat ketidakpastian yang lebih rendah karena jumlah kerugian yang terukur hanya mewakili sebagian kecil dari total energi 4. Efek dari kesalahan pada pengukuran sekunder dan nilai estimasi sangatlah kecil 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membutuhkan pengukuran yang lebih baik 2. Tidak secara otomatis menghasilkan kapasitas dan data <i>output</i> 3. Beberapa <i>losses</i> tidak dapat dihitung dan nilainya harus diestimasi

5. Sumber dari <i>losses</i> dapat diketahui.	
---	--

5. Thermostat Digital REX C100



Gambar 2.4 Thermostat Digital REX C100

(Sumber: elektrologi.iptek.web.id)

Thermostat Digital REX C100 merupakan alat yang berfungsi untuk mengontrol atau mengatur suhu sampai dengan 400 derajat celcius. Alat ini banyak digunakan sebagai pemanas, pendingin, penetas telur dan sebagainya. Output alat ini dihubungkan ke relay SSR sebagai switch penghubung dan pemutusny

Tabel 2.2 Spesifikasi Thermostat Digital REX C100

No.	Nama	Keterangan
1.	Measuring accuracy	0.5%FS
2.	Cold-end compensation tolerance	2 (can be modified by software in 0~50)
3.	Resolution	14 bit
4.	Sampling cycle	0.5 Sec
5.	Power	AC 220V 50/60HZ
6.	Output, alarm and self-tuning can be indicated by	LED

7.	PIN control	(including ON/OFF, step-type PID and continuous PID)
8.	Relay output	contact capacity 250V AC 3A (resistive load)
9.	Alarm function output	2 way
10.	Proportional band (P)	0~full range (ON/OFF control when set to 0)
11.	Detective temperature range	0 to 400
12.	Insulation resistance	>50M ohm(500V DC)
13.	Insulation resistance	1500V AC/min
14.	Insulation resistance	Power Consumption < 10 VA
15.	Service environment	0~50
16.	environment with no corrosive gas	30~85% RH
17.	Dimensions	48 x 48 x 110 (mm) 0.2mm
18.	K Thermocouple Probe Cable Length	1M
19.	Sensor diameter	4.5mm
20.	Internal Insulation	Fiberglass
21.	External Shielding	Insulated Shielding

6. SSR (*Solid State Relay*)



Gambar 2.5 SSR (*Solid State Relay*)

(Sumber: Kho, 2020a)

Solid State Relay atau yang sering disingkat SSR merupakan sebuah saklar elektromekanik yang memiliki sifat semi konduktor. Komponen satu ini biasanya banyak diaplikasikan pada industri-industri sebagai device pengendali. *Solid State Relay* (SSR) merupakan tipe terbaru saklar elektronik non kontak yang memiliki performa dan teknologi serta peralatan asing yang canggih. Sedikit berbeda dengan fungsi relay pada umumnya, cara kerja Solid State Relay sederhana saja. Ujung input hanya membutuhkan arus dengan kontrol yang kecil serta kompatibilitas yang lebih baik dengan TTL, HTL, CMOS Integrated Circuit.

SSR juga menggunakan sirkuit keluaran yang mengadopsi thyristor dan transistor berdaya tinggi yang berfungsi untuk menyambung dan memutuskan arus beban. Solid State Relay sangat banyak digunakan pada berbagai macam peralatan elektronik yang biasa kita temui dalam kehidupan sehari-hari. Seperti diantaranya adalah berbagai peralatan seperti periferal komputer, termostat pemanas listrik, mesin CNC, remote control maupun peralatan otomatis industri. Kelebihan dan kekurangan Solid State Relay dibandingkan dengan relay konvensional antara lain dapat dibedakan dengan beberapa hal. Salah satunya adalah pada sistem pengoperasiannya serta reformasinya. (Agung, n.d.)

Kelebihan Solid State Relay

- a. Kelebihan yang pertama adalah minimnya suara yang dihasilkan oleh alat ini ketika kontraktor mengalami perubahan keadaan.
- b. Memiliki umur pemakaian yang lebih panjang dibandingkan dengan relay mekanik.
- c. Tidak menimbulkan percikan bunga api pada saat kontaktor mengalami perpindahan keadaan.
- d. Memiliki sifat yang tahan korosi sehingga umur pemakaian pun menjadi lebih panjang.

- e. Tidak seperti relay konvensional. Solid state relay sangat kebal dengan getaran atau guncangan.

Kekurangan Solid State Relay

- a. Tegangan yang dikontrol oleh SSR ini benar-benar tidak murni sehingga dapat berimbas ada komponen-komponen SSR yang lainnya.
- b. Terbuat dari bahan silikon, maka pada alat ini akan terdapat tegangan jatuh antara tegangan input dan output. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya tegangan drop.
- c. Dapat terjadi arus bocor (Leakage current). Dimana pada Solid Relay State yang dalam keadaan on atau off maka dalam kondisi yang ideal seharusnya tidak ada arus yang mengalir pada SSR. Namun tidak demikian pada komponen yang sebenarnya.
- d. Susah untuk diimplementasikan pada aplikasi multi fasa.
- e. Harganya jauh lebih mahal dari relay konvensional.

7. Thermocouple

(*Thermocouple*) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek "*Thermo-electric*". Efek *Thermo-electric* pada Termokopel ini ditemukan oleh seorang fisikawan Estonia bernama *Thomas Johann Seebeck* pada Tahun 1821, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara gradient akan menghasilkan tegangan listrik. Perbedaan Tegangan listrik diantara dua persimpangan (junction) ini dinamakan dengan Efek "*Seebeck*".

Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Suhu (Temperature). Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C . Selain respon yang

cepat dan rentang suhu yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan. (Kho, 2020b)

a. Prinsip Kerja Termokopel (Thermocouple)

Prinsip kerja Termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas. (Kho, 2020b)

Untuk lebih jelas mengenai Prinsip Kerja Termokopel, mari kita melihat gambar dibawah ini :

Termokopel (Thermocouple)



Gambar 2.6 Prinsip Thermocouple (Sensor suhu)

(Sumber: teknikelektronika.com)

Berdasarkan Gambar diatas, ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar $1 \mu V - 70 \mu V$ pada tiap derajat Celcius. Tegangan

tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti oleh kita.

b. Jenis-jenis Termokopel (Thermocouple)

Termokopel tersedia dalam berbagai ragam rentang suhu dan jenis bahan. Pada dasarnya, gabungan jenis-jenis logam konduktor yang berbeda akan menghasilkan rentang suhu operasional yang berbeda pula. Berikut ini adalah Jenis-jenis atau tipe Termokopel yang umum digunakan berdasarkan Standar Internasional. (Kho, 2020b)



Gambar 2.7 Thermocouple (Sensor suhu)

(Sumber: teknikelektronika.com)

1) Termokopel Tipe E

Bahan Logam Konduktor Positif : Nickel-Chromium

Bahan Logam Konduktor Negatif : Constantan

Rentang Suhu : $-200^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$

2) Termokopel Tipe J

Bahan Logam Konduktor Positif : Iron (Besi)

Bahan Logam Konduktor Negatif : Constantan

Rentang Suhu : $0^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$

3) Termokopel Tipe K

Bahan Logam Konduktor Positif : Nickel-Chromium

Bahan Logam Konduktor Negatif : Nickel-Aluminium

Rentang Suhu : $-200^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$

4) Termokopel Tipe N

Bahan Logam Konduktor Positif : Nicrosil

Bahan Logam Konduktor Negatif : Nisil

Rentang Suhu : $0^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$

5) Termokopel Tipe T

Bahan Logam Konduktor Positif : Copper (Tembaga)

Bahan Logam Konduktor Negatif : Constantan

Rentang Suhu : $-200^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$

6) Termokopel Tipe U (kompensasi Tipe S dan Tipe R)

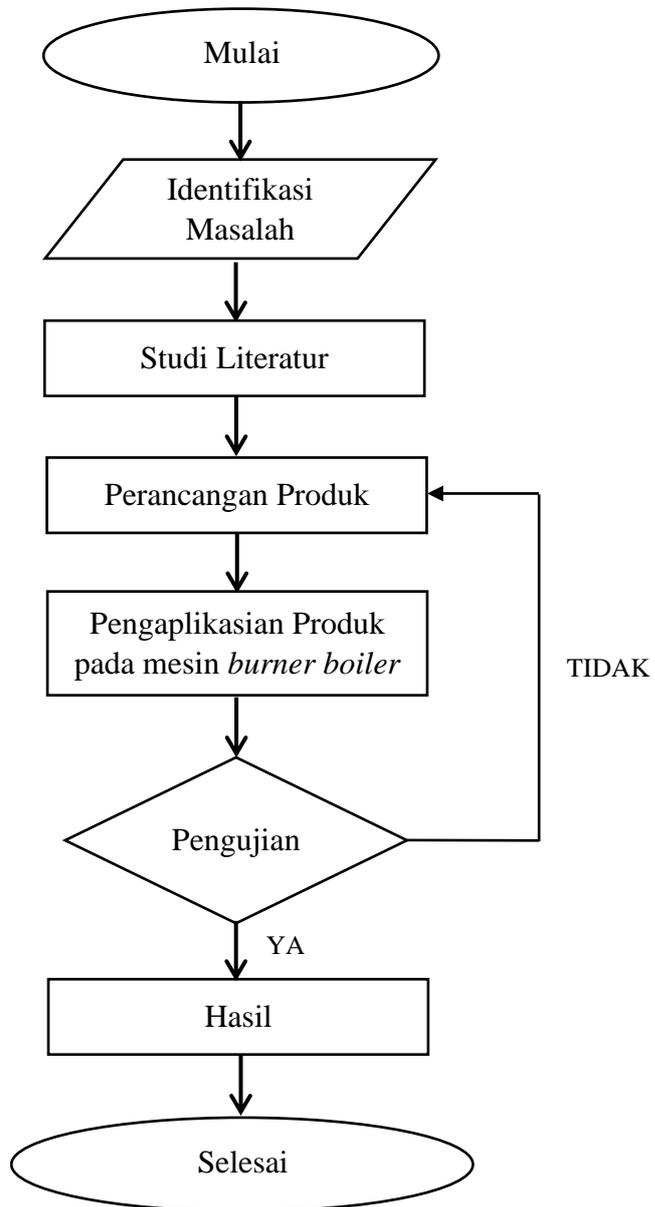
Bahan Logam Konduktor Positif : Copper (Tembaga)

Bahan Logam Konduktor Negatif : Copper-Nickel

Rentang Suhu : $0^{\circ}\text{C} - 1450^{\circ}\text{C}$

C. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan model konseptual yaitu tentang bagaimana teori berhubungan dengan berbagai faktor yang telah diidentifikasi sebagai masalah yang penting. Berikut adalah kerangka berpikir dalam penelitian ini, disajikan dalam gambar dibawah ini:



Gambar 2.8 Skema Kerangka Berpikir

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan alat Burner Boiler pada skala industri menggunakan Thermostat Digital REX C100. Untuk mendapatkan kebenaran ilmiah maka penelitian ini menggunakan metode R&D (*Research and Development*). Adapun yang dimaksud dengan R&D adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan untuk menyempurnakan suatu produk yang sesuai dengan acuan dan kriteria dari produk yang dibuat sehingga menghasilkan produk yang baru melalui berbagai tahapan dan validasi. Untuk dapat menghasilkan produk digunakan yang bersifat analisis kebutuhan (digunakan metode survei dan kualitatif) dan untuk menguji keefektifan produk tersebut supaya dapat berfungsi di suatu industri, maka diperlukan penelitian untuk menguji keefektifan tersebut (digunakan metode eksperimen). (Sugiyono, 2011)

B. Lokasi/Fokus Penelitian

1. Lokasi

Lokasi penelitian dalam pengambilan data dan perancangan dilakukan di DIV LINEN CRYSTAL CLEAN yang beralamatkan Jl. Delta Mas VI No.28, Kuningan, Kec. Semarang Utara, Kota Semarang, Jawa Tengah 50176.

2. Fokus Penelitian

Fokus penelitian ini adalah merencanakan burner boiler pada skala industri dengan menggunakan *Thermostat Digital* REX C100 agar dapat mengontrol kinerja burner boiler secara otomatis. Karena dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan burner boiler menggunakan sistem manual untuk menyalakan dan mematakannya.

C. Variabel Penelitian

Sugiyono, (2015: 60-61) Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditariknya kesimpulan.

1. Variabel Independen (bebas)

Variabel yang mempengaruhi atau yang menyebabkan perubahan sehingga mengakibatkan timbulnya variabel terikat (dependen). Pada penelitian ini yang menjadi variabel bebas (Independen) adalah Variasi suhu target mesin pemanas.

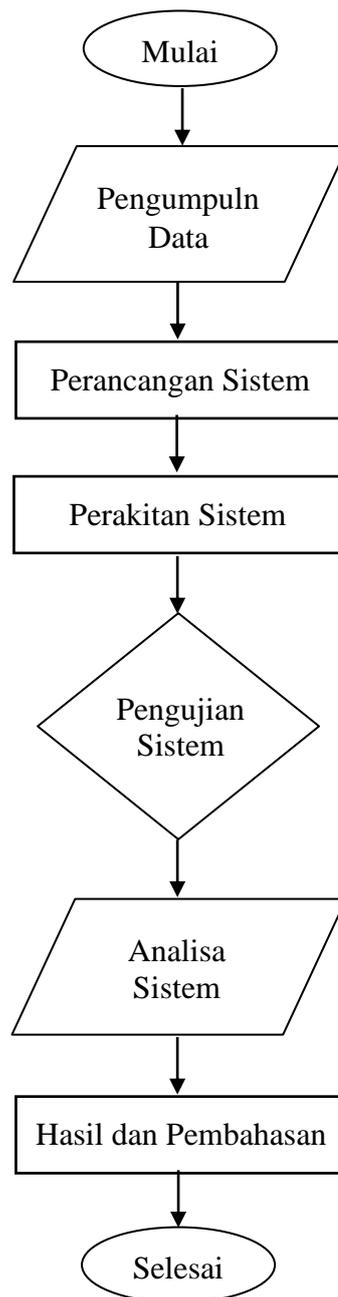
2. Variabel Depende (terikat)

Pada penelitian ini yang menjadi variabel dependen (terikat) adalah keakuratan kontrol otomatis mesin pemanas terhadap suhu target.

D. Desain Penelitian

Desain penelitian adalah rangkaian prosedur dan metode yang dipakai untuk menganalisis dan menghimpun data untuk menentukan variabel yang akan menjadi topik penelitian. Atau bisa didefinisikan sebagai strategi yang dilakukan peneliti untuk menghubungkan setiap elemen penelitian dengan sistematis sehingga dalam menganalisis dan menentukan fokus penelitian menjadi lebih efektif dan efisien.

Desain penelitian ini dilakukan berdasarkan diagram alir pembuatan alat berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

Penjelasan diagram alur penelitian:

1. Pengumpulan Data

Mencari referensi dari berbagai sumber seperti halaman situs, jurnal, buku, dan lain sebagainya yang terkait dengan penelitian yang akan

dilakukan, guna untuk menambah pengetahuan penelitian dan informasi yang dapat digunakan, serta untuk membantu proses pelaksanaan penelitian “Perencanaan Otomatis Pada Burner Boiler Skala Industri Menggunakan Thermostat Digital Rex C100”. Pengumpulan Data ini juga di peroleh dari survei lokasi dan wawancara yang dilakukan pada pemilik perusahaan DIV LINEN CRYSTAL CLEAN.

2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem berisi dari menentukan alat, bahan yang akan digunakan sampai merancangan dan simulasi dari setiap komponen yang digunakan, dalam penelitian ini. Perancangan terbagi menjadi 2 macam, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

3. Perakitan Sistem

Perakitan pada tahap ini, semua perancangan yang telah di buat kemudian dirakit dan di-compile ke dalam sistem yang utuh dengan sumber tegangan, sensor, aktuator, dan mikrokontroler-nya.

4. Pengujian Sistem

Setelah perakitan selesai, penulis melakukan pengujian sistem untuk menguji apakah sistem telah berjalan dengan baik dan sesuai tujuan awal sistem, serta untuk menetapkan hasil dan menemukan kesalahan-kesalahan yang mengganggu sistem untuk mencapai tujuan penelitian.

5. Penerapan

Tahapan ini berisi tentang implementasi atau penerapan dari sistem yang telah dirancang, Sistem ini akan dibawa ke lokasi penelitian untuk dilakukan pembahasan dan pengambilan data berdasarkan hasil penerapan yang telah dilakukan.

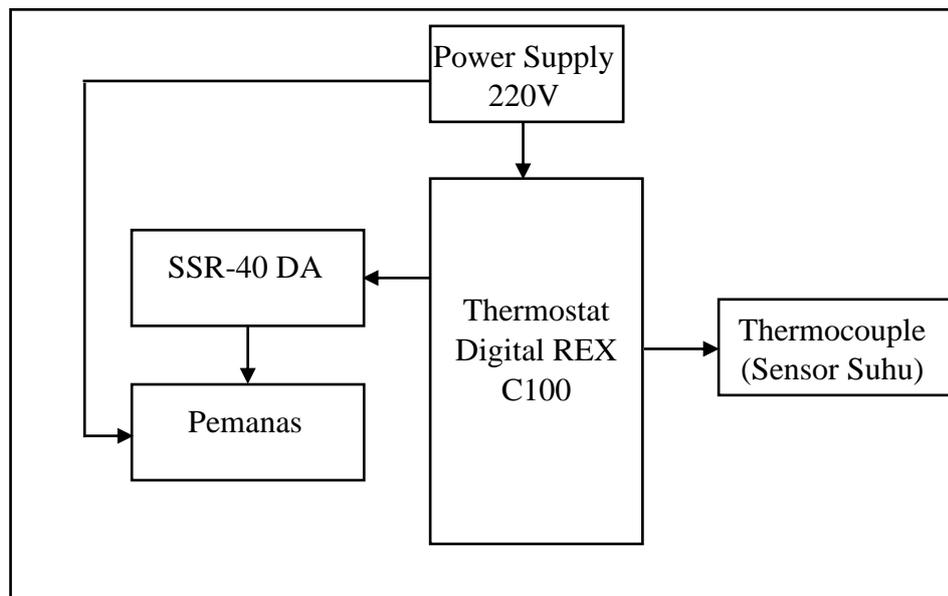
E. Proses Eksperimen

1. Persiapan Eksperimen

Sebelum memasuki tahap pembuatan alat, terlebih dahulu dilakukan persiapan dengan membuat blok diagram. Blok diagram rangkaian merupakan salah satu bagian terpenting dalam perancangan alat untuk

mempermudah konfigurasi yang diperlukan, hal ini akan sangat membantu dalam mengetahui kesalahan serta kelemahan jika terjadi kegagalan dalam perancangan sistem tersebut. Selain itu blok diagram juga akan membantu untuk memahami sistem yang dilakukan.

Perancangan blok diagram dimaksudkan untuk memberikan kemudahan dan gambaran mengenai alat yang akan dirancang mulai dari sumber tegangan kemudian sensor ke mikrokontroler dan aktuator (Pemanas) sebagai output. Berikut ini merupakan bagan blok diagram dari alat tangan bionik dalam penelitian ini:



Gambar 3.2 Blok Diagram Alat Pemanas Otomatis

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

Keterangan blok diagram diatas sebagai berikut:

a. Thermostat Digital REX C100

Merupakan komponen utama dalam rangkaian ini yang berfungsi untuk mengontrol atau mengatur target suhu yang ingin di capai hingga 400°C.

b. Thermocouple (Sensor Suhu)

Merupakan alat ukur atau sensor untuk mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor yang berbeda yang digabungkan dengan bagian ujungnya hingga dapat menimbulkan efek “*thermo electric*”.

c. SSR-40 DA (Relay)

Merupakan saklar elektronik yang menggunakan semikonduktor yang bisa mengendalikan aliran arus listrik lebih besar dengan kontrol hanya menggunakan arus kecil.

d. Pemanas

Merupakan sebuah komponen perpindahan panas yang menggabungkan konduksi dan transisi fase fluida untuk menghasilkan panas yang efektif.

e. Power Supply 220V

Merupakan sebuah perangkat keras yang berfungsi memberikan suplai tegangan listrik ke sistem agar dapat beroperasi.

2. Pelaksanaan Eksperimen

Pembuatan alat pemanas otomatis pada mesin burner boiler ini terdapat beberapa tahap yaitu:

a. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan adalah mempersiapkan kebutuhan yang akan digunakan dalam proses eksperimen pembuatan alat pemanas otomatis pada mesin burner boiler.

1) Alat

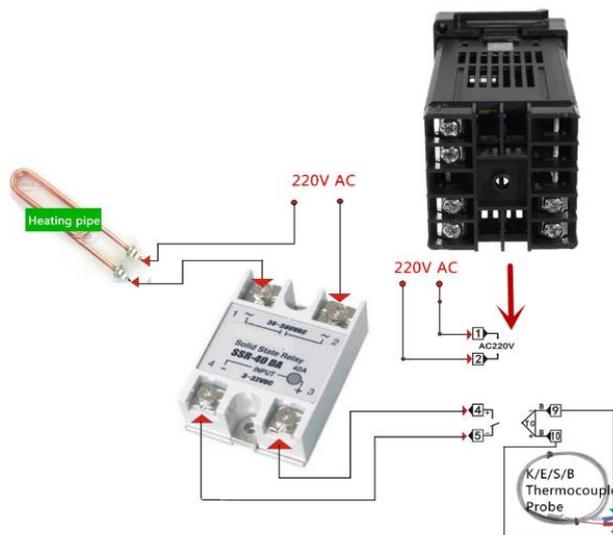
- a) Alat Ukur/Digital Voltmeter
- b) Toolset atau perkakas listrik
- c) Alat ukur temperatur digital

2) Bahan

- a) Mesin Burner Boiler
- b) Thermometer Digital REX C100
- c) Thermocouple (Sensor Suhu)
- d) SSR-40 DA (Relay)
- e) Heating Pipe (Pemanas)
- f) Kabel Power Supply
- g) Box Panel

b. Pembuatan rangkaian alat secara keseluruhan

Pembuatan rangkaian alat mesin pemanas otomatis pada mesin burner boiler memerlukan beberapa komponen diantaranya sudah sebutkan di atas. Berikut rangkaian Alat Otomatis Pada Burner Boiler Skala Industri Menggunakan Thermostat Digital Rex C100.



Gambar 3.3 Wiring Alat Pemanas Otomatis
(Sumber: Shenlin, 2022)

Berikut merupakan keterangan pengkabelan komponen yang digunakan :

- **Power Supply 220V**

Kabel Merah = Pin 1 Thermometer

Kabel Hitam = Pin 2 Thermometer

- **Thermocouple**

Kabel Tanda Biru = Pin 9 Thermometer

Kabel Tanda Merah = Pin 10 Thermometer

- **SSR-40 DA**

Pin 3 SSR = Pin 6 Thermometer

Pin 4 SSR = Pin 7 Thermometer

Pin 1 SSR = Terminal Heating Pipe

Pin 2 SSR = Terminal Power Supply 220V

- **Heating pipe**

Terminal Heating Pipe = Terminal Power Supply 220V

c. Pengoprasian Alat

Pengoprasian alat ini bisa dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Pastikan terlebih dahulu alat sudah terhubung dengan sumber tegangan 220V.
- 2) Tempelkan atau masukan Thermocouple (Sensor Suhu) di bagian mesin Burner Boiler agar sensor dapat membaca nilai suhu boiler.
- 3) Hasil dari nilai sensor akan di tampilkan di Digital REX C100
- 4) Setting target suhu pada Digital REX C100 (contoh setting target di suhu 200°C)
- 5) Dengan target yang sudah di setting ketika suhu sudah mencapai target pemanas akan otomatis mati dan ketika suhu menurun pemanas akan kembali menyala.

F. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan teknik atau metode yang digunakan untuk mengumpulkan data yang akan diteliti. Artinya, teknik pengumpulan data memerlukan langkah yang strategis dan juga sistematis untuk mendapatkan data yang valid dan juga sesuai dengan kenyataannya.

Adapun data yang diperoleh dari hasil pengujian alat kontrol otomatis Burner Boiler menggunakan Thermostat Digital REX C100 akan disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 3.1 Hasil Pengukuran Suhu Dengan Alat Ukur Standart.

No.	Pengukuran Suhu Termometer	Hasil Pembacaan Sensor (°C)	Error	Error (%)
1				
2				

3				
4				
5				

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Durasi Waktu Berdasarkan Variasi Volume Boiler

No.	Waktu (Menit)	Suhu Mesin <i>Boiler</i> (°C)	Kondisi Mesin <i>Boiler</i>
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

G. Teknik Analisa Data

Teknik analisa data yang digunakan menggunakan Metode Analisis Deskriptif. Analisis Deskriptif adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui keberadaan variabel mandiri, baik hanya pada satu variabel atau lebih (variabel yang berdiri sendiri) tanpa membuat perbandingan dan mencari hubungan variabel itu dengan variabel yang lain (Sugiyono, 2009). Dari pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa metode deskriptif analisis dengan pendekatan kuantitatif merupakan metode yang bertujuan menggambarkan secara sistematis dan faktual tentang fakta-fakta serta hubungan antar variabel yang diselidiki dengan cara mengumpulkan data, mengolah, menganalisis, dan menginterpretasi data dalam pengujian hipotesis statistik. Beberapa cara yang termasuk didalam teknik Analisis Deskriptif adalah dengan menyajikan data ke dalam bentuk:

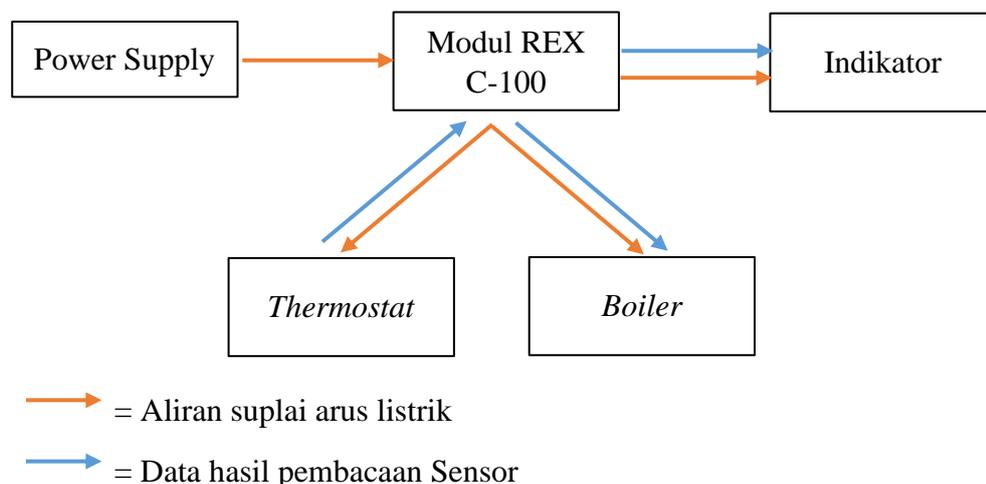
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada bab ini merupakan hasil proses perancangan dan pengujian alat yang telah dikerjakan oleh peneliti. Setelah dilakukan pengujian dapat diketahui bahwa apakah alat yang telah dirancang sesuai dengan tujuan penelitian atau masih mengalami kesalahan atau perlu diadakan perbaikan. Dalam setiap pengujian dilakukan dengan pengukuran yang nantinya akan digunakan untuk menganalisa apakah alat ini bekerja sesuai dengan yang diharapkan oleh peneliti.

A. Implementasi Sistem Produk

1. Rangkaian Alat Kontrol *Burner Boiler*

Hal pertama yang dilakukan dalam bab 4 ini adalah menjabarkan tentang rangkaian alat kontrol *burner boiler*. Adapun tujuan pada bagian ini adalah untuk menjelaskan perancangan alat yang dilakukan oleh peneliti dalam rangka mewujudkan penelitian perancangan alat kontrol pengaman terakhir pada mesin *burner boiler*. Pada alat kontrol pengaman ini menggunakan rangkaian elektronika yang dapat mengontrol panas *boiler* sehingga tidak melebihi batas dari mesin tersebut. di bawah ini merupakan gambaran blok diagram kerja alat.



Gambar 4.1 Diagram Blok Alur Kerja Alat

Sensor yang digunakan agar dapat mengetahui nilai temperatur atau suhu pada mesin *boiler* adalah *thermocouple* tipe K. *Output* dari dari sensor atau nilai suhu yang diterima oleh sensor yang ditempatkan pada mesin *boiler* akan diteruskan ke modul rex c100 lalu diolah dan ditampilkan pada *display* yang terdapat pada modul rex c100 dalam bentuk LED digital. Selanjutnya ketika suhu target atau settingan suhu sudah mencapai keinginan modul rec c100 akan mengirimkan data atau perintah ke indikator sebagai peringatan suhu mencapai ambang batas. Serta memberikan perintah pada mesin *boiler* untuk menonaktifkan agar kondisi mesin menjadi mati dan suhu tidak mingingkat.

Dari gambar keseluruhan diatas dapat diketahui bahwa rancang bangun kontrol *safety* atau kontrol pengaman terakhir menggunakan modul REX C100 dan sensor suhu mempunyai keluaran yaitu data hasil perhitungan nilai suhu mesin *boiler* dan dapat memberikan notifikasi pada lampu indikator serta mengontrol mati/hidup mesin. Sumber tegangan pada sistem ini adalah dengan tegangan 220V.

Pada dasarnya sistem suatu *boiler* itu bekerja atau mesin menyala berdasarkan dengan besaran tekanan antara 1Bar hingga 3Bar. Sehingga ketika *boiler* tersebut sudah mencapai tekanan 3Bar maka *boiler* akan berhenti bekerja dan sebaliknya ketika tekanan turun di angka 1Bar mesin kembali menyala. Akan tetapi dalam rangkain suatu permesinan setiap komponen memiliki usia atau suatu saat akan terjadi kerusakan sehingga peneliti merancang alat tersebut yaitu sistem kontrol *safety* sebagai pengaman ketika *control valve* pada tekanan tidak berfungsi, *boiler* akan tetap menyala dan *boiler* bekerja secara terus menerus membuat suhu akan semakin meningkat. Untuk mencegah hal tersebut sistem kontrol ini bekerja berdasarkan suhu sehingga ketika suhu *boiler* mencapai 200°C otomatis *boiler* akan berhenti bekerja dan mematikan keseluruhan sistem.

2. Modul REX C-100

Modul REX C-100 pada perancangan alat sistem kontrol ini merupakan sebuah pusat dari sistem kendali masukan sensor suhu dan keluaran berupa indikator lampu dan kontrol on/off mesin *boiler* yang terhubung ke modul.



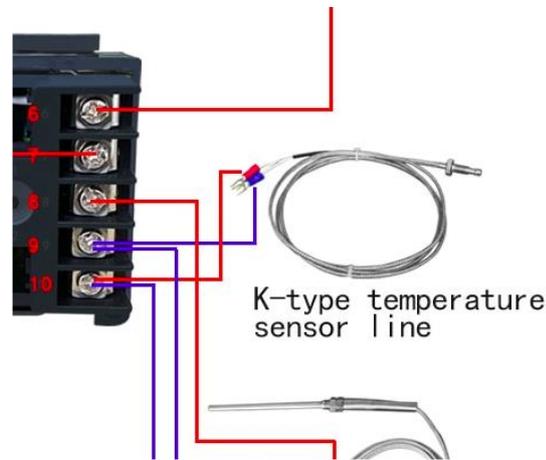
Gambar 4.2 Modul REX C-100

Pada gambar diatas terlihat bahwa pada modul terdapat *display* untuk menampilkan nilai suhu dan target dari suhu yang akan dicapai serta tombol untuk mengatur target suhu sesuai dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Pada bagian belakang modul memiliki beberapa terminal atau pin sebagai fungsi untuk menghubungkan komponen-komponen pendukung lainnya. Dan pada terminal atau pin terdapat kabel penghubung antara Modul dan komponen lainnya. Untuk pin 9 dan 10 pada modul terhubung dari masukan sensor yaitu kabel biru dan merah. Untuk pin 1 dan 6 untuk keluaran ke indikator lampu dan pin 4 dan 5 terhubung ke SSR atau relay yang terhubung ke mesin *boiler* yang akan mengontrol kondisi mesin.

3. Rangkaian Thermostat

Rangkaian Termostat adalah rangkaian elektronika yang bisa mengatur suhu dalam sebuah ruangan. Termostat ini merupakan alat untuk mengatur suhu secara otomatis yang bekerja karena adanya perubahan suhu. Termostat berfungsi sebagai pengatur suhu agar temperatur dalam sebuah ruangan selalu konstan/stabil sesuai kebutuhan. Pada rangkaian sensor suhu terdapat 2 warna

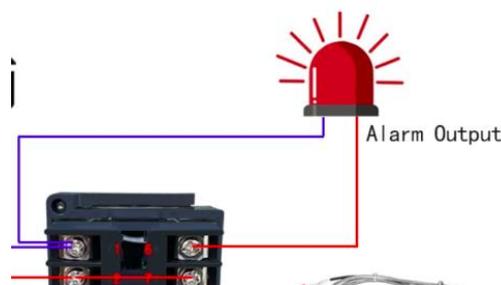
pada ujung kabel yaitu merah yang terhubung ke 10 pada modul dan biru yang terhubung ke pin 9.



Gambar 4.3 Rangkaian Thermostat

4. Rangkaian Lampu Indikator

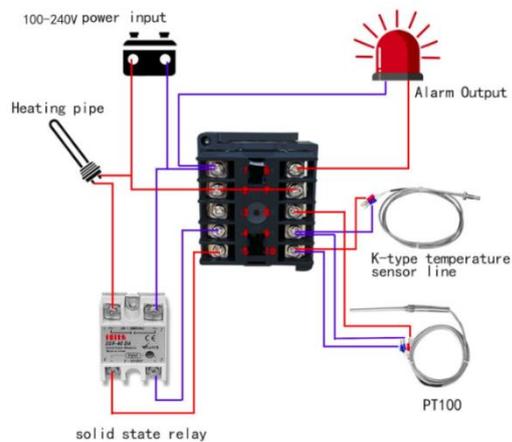
Lampu-lampu indikator merupakan komponen yang digunakan sebagai lampu tanda. Lampu-lampu tersebut digunakan untuk berbagai keperluan misalnya untuk lampu indikator pada panel. Selain itu juga lampu indikator digunakan sebagai indikasi bekerjanya suatu sistem kontrol misalnya lampu indikator merah menyala motor bekerja dan lampu indikator hijau menyala motor berhenti. Pada fungsi ini lampu indikator berfungsi sebagai indikator ketika suhu mesin boiler mencapai target. Rangkaian lampu indikaotor terdapat dua terminal yaitu pin pada lampu indikator masuk ke pin 1 dan pin 6 pada modul rex c100.



Gambar 4.4 Rangkaian Lampu Indikator

5. Rancangan Keseluruhan Kontrol *Burner Boiler*

Rancangan keseluruhan alat merupakan gambaran secara utuh tentang alat yang akan dibuat. Adapun rancangan dari keseluruhan mesin sebagai berikut:



Gambar 4.5 Rangkaian Keseluruhan Kontrol *Boiler*

B. Hasil Penelitian

Hasil penelitian ialah proses pengaturan dan pengelompokan baik tentang informasi suatu kegiatan berdasarkan fakta melalui usaha pikiran peneliti dalam mengolah dan menganalisa objek atau topik penelitian secara sistematis dan objektif untuk memecahkan suatu persoalan atau menguji suatu hipotesis sehingga terbentuk sebuah prinsip-prinsip umum atau teori. Adapun isi pada tahap ini adalah pengujian hasil sebuah komponen maupun sistem alat.

Pengujian komponen maupun sistem merupakan sebuah tahapan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah kinerja setiap komponen penyusun sistem telah sesuai dengan perancangan yang diharapkan. Pengujian ini terdiri dari lima bagian, yaitu yang pertama pengujian sumber tegangan pada rangkaian elektrikal yang bertujuan untuk mengetahui rangkaian elektrikal dapat hidup atau bekerja. Kedua pengujian *Display* yang bertujuan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor maupun perintah penampilan karakter oleh pusat data. Ketiga pengujian aktifasi sensor yang bertujuan untuk mengetahui apakah sensor dapat membaca perubahan nilai suhu. Keempat

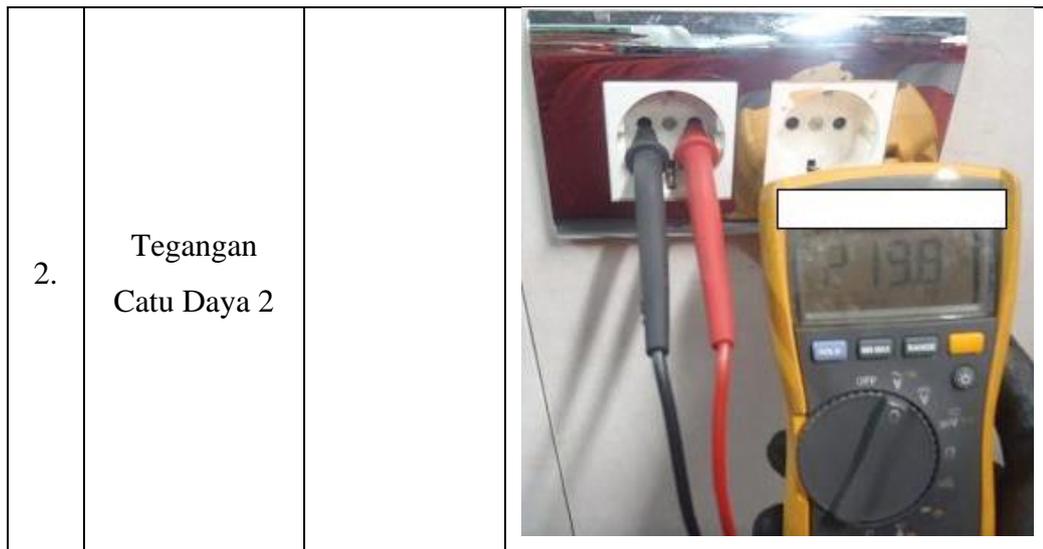
pengujian akurasi sensor yang bertujuan untuk membandingkan dengan alat uji yang berstandar untuk melihat selisih. Dan terakhir adalah pengujian sistem keseluruhan yaitu komponen pada rangkaian kontrol sistem *safety* pada mesin *burner boiler* dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan tujuan penelitian.

1. Pengujian Catu Daya

Pengujian catu daya bertujuan untuk mengetahui bahwa catu daya memberikan *supply* dengan baik atau sesuai kepada sistem alat agar alat tersebut bekerja dengan baik. Sumber tegangan yang digunakan pada alat ini adalah sumber tegangan dengan daya 220V. Tabel hasil pengujian catu daya ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Catu Daya

No.	Bagian yang diukur	Kriteria Pengujian	Hasil Pengukuran
1.	Tegangan Catu Daya 1	220V	



2. Pengujian LCD (*Display*)

Pengujian LCD (*Display*) bertujuan untuk mengetahui apakah LCD dapat menampilkan data-data program yang nantinya akan tampil di layar LCD. Berikut gambar tampilan pengujian LCD.



Gambar 4.6 Tampilan LCD (*Display*)

3. Pengujian Aktifasi Sensor

Pengujian aktifasi sensor bertujuan untuk mengetahui bahwa sensor suhu dapat melakukan pengukuran suhu dengan baik. Sebelum melakukan pengukuran suhu, diperlukan kalibrasi terlebih dahulu agar suhu yang terukur ketika suhu yang diterima oleh sensor dan menunjukkan nilai yang sesuai dan

dapat mengirimkan data tersebut ke LCD pada modul rex c100. Adapun proses pengujian sensor suhu ini dapat diperlihatkan pada Gambar 4.7 dan tabel hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.



Gambar 4.7 Proses Pengujian Sensor

4. Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi sensor bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dan error dari data hasil pengukuran sensor suhu. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan termogun dan sensor Thermocouple tipe K dengan perlakuan yang sama. Pengukuran dilakukan didalam ruangan agar tidak terpengaruh oleh suhu dari luar. sensor suhu dan termogun diletakan pada suatu tempat dengan pengaruh suhu berupa lampu pijar dan korek api sebagai sumber pemanas. Pengamatan suhu dengan sensor akan tertampil pada layar LCD. Hasil pembacaan sensor suhu dicatat pada tabel. Pengujian sensor bertujuan menghitung tingkat error atau kesalahan.

Ragam ralat dari pengukuran atau pengamatan dibagi menjadi 3 macam, yaitu: ralat sistematis (systematic error), ralat rambang (random error), dan ralat kekeliruan tindakan. Ralat sistematis adalah ralat pengukuran yang akan memberikan efek tetap terhadap hasil ukur (Panduan Praktikum Fisika Dasar, 2016). Rumus perhitungan nilai error:

$$Error = X - X_i$$

$$\%Error = \frac{X - X_i}{X_i} \times 100\%$$

Keterangan:

X = Data Sebenarnya

X_i = Data Terukur

% Error = Ralat Systematic

Selanjutnya dapat dijabarkan untuk mencari error dan menghitung % error yaitu:

Error = suhu sebenarnya – suhu terukur

$$\% \text{ error} = \frac{\text{suhu sebenarnya} - \text{suhu terukur}}{\text{suhu sebenarnya}} \times 100\%$$

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor

No.	Pengukuran Suhu Termometer	Hasil Pembacaan Sensor (°C)	Error	Error (%)
1.	30	30	0	0
2.	50	50	0	0
3.	100	100	0	0
4.	150	151	1	0,00667
5.	200	202	2	0,01
6.	250	251	1	0,004
7.	300	303	3	0,01
8.	350	352	2	0,00571
9.	400	403	3	0,0075

5. Pengujian Kelayakan Sistem

Pengujian kelayakan sistem adalah pengujian tahap akhir yang bertujuan untuk mengetahui bahwa alat kontrol *safety* pada mesin *burner boiler* berdasarkan dengan variasi suhu yang dihasilkan oleh *boiler* dan dibaca oleh sensor suhu dapat berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan *troubleshooting* atau pemberian suhu berlebih dan dengan pengujian pengoprasian mesin *boiler* dengan waktu tertentu apakah sistem yang akan dilakukan dengan tiga kali percobaan. Ketiga percobaan tersebut akan menjadi sampel data yang akan di analisis. Data yang diambil

pada setiap percobaan adalah suhu alat yang ditunjukkan pada LCD dan kondisi mesin *boiler*. Pada analisis data penelitian akan dicatat dan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sistem Pertama Kapasitas 50Kg

No.	Waktu (Menit)	Suhu Mesin <i>Boiler</i> (°C)	Kondisi Mesin <i>Boiler</i>
1.	5	52	Hidup
2.	10	77	Hidup
3.	15	69	Hidup
4.	20	72	Hidup
5.	25	65	Hidup
6.	30	58	Hidup
7.	35	69	Hidup
8.	40	95	Hidup
9.	45	79	Hidup
10.	50	79	Hidup
11.	55	75	Hidup
12.	60	69	Hidup
13.	<i>Troubleshooting (200°C)</i>		Mati

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sistem Pertama Kapasitas 100Kg

No.	Waktu (Menit)	Suhu Mesin <i>Boiler</i> (°C)	Kondisi Mesin <i>Boiler</i>
1.	5	51	Hidup
2.	10	75	Hidup
3.	15	68	Hidup
4.	20	73	Hidup
5.	25	68	Hidup
6.	30	62	Hidup

7.	35	68	Hidup
8.	40	80	Hidup
9.	45	76	Hidup
10.	50	79	Hidup
11.	55	70	Hidup
12.	60	68	Hidup
13.	<i>Troubleshooting (200°C)</i>		Mati

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sistem Kedua Kapasitas 50Kg

No.	Waktu (Menit)	Suhu Mesin <i>Boiler</i> (°C)	Kondisi Mesin <i>Boiler</i>
1.	5	53	Hidup
2.	10	77	Hidup
3.	15	72	Hidup
4.	20	73	Hidup
5.	25	68	Hidup
6.	30	56	Hidup
7.	35	72	Hidup
8.	40	80	Hidup
9.	45	82	Hidup
10.	50	79	Hidup
11.	55	76	Hidup
12.	60	68	Hidup
13.	<i>Troubleshooting (200°C)</i>		Mati

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Sistem Kedua Kapasitas 100Kg

No.	Waktu (Menit)	Suhu Mesin <i>Boiler</i> (°C)	Kondisi Mesin <i>Boiler</i>
1.	5	51	Hidup
2.	10	71	Hidup

3.	15	67	Hidup
4.	20	73	Hidup
5.	25	67	Hidup
6.	30	63	Hidup
7.	35	67	Hidup
8.	40	79	Hidup
9.	45	78	Hidup
10.	50	79	Hidup
11.	55	72	Hidup
12.	60	72	Hidup
13.	<i>Troubleshooting (200°C)</i>		Mati

C. Pembahasan

Dari hasil pengujian komponen sistem yang telah dilaksanakan dari mulai pengujian catu daya hingga pengujian kelayakan sistem didapat, pada pengujian pertama yaitu pengujian catu daya. Dapat dilihat pada tabel 4.1 pengujian sumber tegangan yang bertujuan untuk mengetahui bahwa catu daya memberikan *supply* yang baik atau sesuai dengan sistem alat yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik. Adapun hasil dari pengujian ini yaitu sebesar 221,5V dan 219,8V. Pengujian ini menggunakan multimeter yang berbeda walaupun memiliki selisih hal ini tidak menjadikan masalah atau efek terhadap rangkaian elektrikal dan dapat dijadikan toleransi.

Pada pengujian kedua pengujian LCD atau tampilan yang terdapat pada alat sistem kontrol keamanan terakhir pada mesin *boiler*. Dapat dilihat pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil pengujian telah memenuhi kriteria pengujian yakni dapat menampilkan nilai daripada sensor suhu. Pada pengujian ketiga merupakan pengujian aktifasi sensor hal ini agar ketika kontrol suhu pada mesin *boiler* sesuai dengan suhu semestinya. Berdasarkan hasil yang dilaksanakan dapat dilihat pada gambar 4.6 hasil pengujian aktifasi sensor dapat membaca nilai suhu dengan menampilkan pada LCD (*Display*).

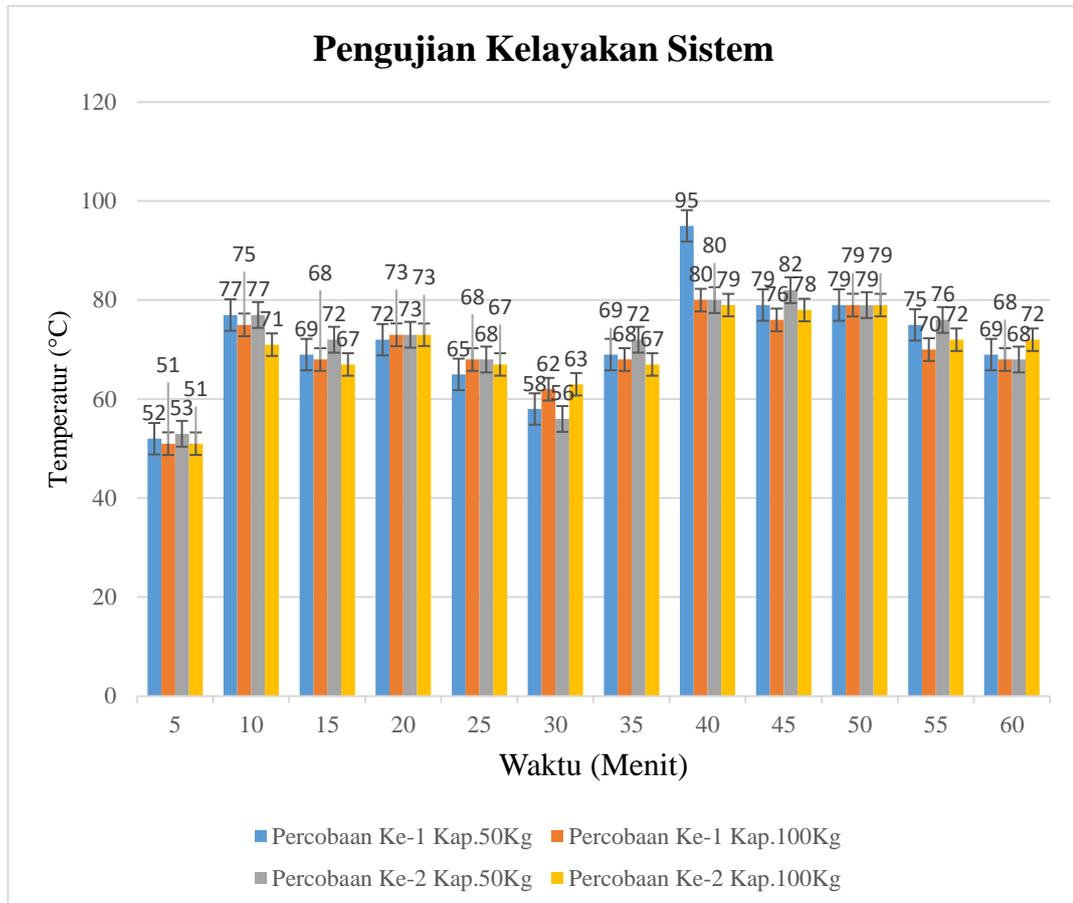
Berdasarkan tabel 4.2 dengan pengujian akurasi sensor menyatakan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik. Adapun pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor suhu yang ditampilkan pada LCD dengan alat berstandar SNI atau termogun dapat dilihat dengan variasi pengujian 30° hingga 400°C memiliki rata-rata *error* 0.01%. *Error* menurut Moore, D. S. and McCabe G. P. *Introduction to the Practice of Statistics. Margin of Error* atau ambang batas kesalahan yaitu suatu statistik yang menunjukkan besarnya galat atau "kesalahan" yang dapat diterima atas suatu nilai-duga (*estimate*) sebagai konsekuensi dari ukuran cuplikan (*sample*) acak yang diambil dalam suatu survei. Batas kesalahan dapat pula dikatakan sebagai "jari-jari" (radius) suatu nilai duga. Sehingga nilai besaran *error* yang didapatkan masih dapat dijadikan toleransi pada sistem kontrol ini.

Tabel 4.5 *Margin of Error*

No.	Survey Sample Size	Margin of Error Percent
1.	2000	2
2.	1500	3
3.	1000	3
4.	900	3
5.	800	3
6.	700	4
7.	600	4
8.	500	4
9.	400	5
10.	300	6

Pada pengujian yang terakhir yaitu pengujian kelayakan sistem yang bertujuan untuk mengetahui bahwa alat kontrol *safety* pada mesin *burner boiler* dapat bekerja dengan baik. adapun proses pengujian ini dilakukan dengan cara menyalakan mesin *burner boiler* dengan kapasitas 50Kg dan 100Kg dengan rentan waktu 5menit hingga 60menit. Pengujian dilakukan dua kali hal ini dilakukan karena dalam proses pengambilan data diperlukan pembanding

dengan melakukan beberapa percobaan. Serta mengetahui kondisi mesin apakah dalam kondisi menyala atau mati.



Gambar 4.8 Grafik Pengujian Kelayakan Sistem

Pada pembahasan pengujian kelayakan suhu awal pada pengujian adalah 30°C atau kondisi mesin mati. Pada percobaan pertama dengan kapasitas 50Kg didapatkan pada menit ke 5 suhu mencapai 52°C, pada menit ke 10 suhu mencapai 72°C, pada menit ke 15 suhu mencapai 69°C, pada menit ke 20 suhu mencapai 72°C, pada menit ke 25 suhu mencapai 65°C, pada menit ke 30 suhu mencapai 58°C, pada menit ke 35 suhu mencapai 69°C, pada menit ke 40 suhu mencapai 95°C, pada menit ke 45 suhu mencapai 79°C, pada menit ke 50 suhu mencapai 79°C, pada menit ke 55 suhu mencapai 75°C, dan pada menit ke 60 suhu mencapai 69°C.

Pada pengujian selanjutnya yaitu percobaan kedua dengan kapasitas 50Kg didapatkan pada menit ke 5 suhu mencapai 51°C, pada menit ke 10 suhu mencapai 75°C, pada menit ke 15 suhu mencapai 68°C, pada menit ke 20 suhu mencapai 73°C, pada menit ke 25 suhu mencapai 68°C, pada menit ke 30 suhu mencapai 62°C, pada menit ke 35 suhu mencapai 68°C, pada menit ke 40 suhu mencapai 80°C, pada menit ke 45 suhu mencapai 76°C, pada menit ke 50 suhu mencapai 79°C, pada menit ke 55 suhu mencapai 70°C, dan pada menit ke 60 suhu mencapai 68°C.

Pada pengujian selanjutnya yaitu percobaan pertama dengan kapasitas 100Kg didapatkan pada menit ke 5 suhu mencapai 53°C, pada menit ke 10 suhu mencapai 77°C, pada menit ke 15 suhu mencapai 72°C, pada menit ke 20 suhu mencapai 73°C, pada menit ke 25 suhu mencapai 68°C, pada menit ke 30 suhu mencapai 56°C, pada menit ke 35 suhu mencapai 72°C, pada menit ke 40 suhu mencapai 80°C, pada menit ke 45 suhu mencapai 82°C, pada menit ke 50 suhu mencapai 79°C, pada menit ke 55 suhu mencapai 70°C, dan pada menit ke 60 suhu mencapai 68°C.

Pada pengujian selanjutnya yaitu percobaan kedua dengan kapasitas 100Kg didapatkan pada menit ke 5 suhu mencapai 51°C, pada menit ke 10 suhu mencapai 71°C, pada menit ke 15 suhu mencapai 67°C, pada menit ke 20 suhu mencapai 73°C, pada menit ke 25 suhu mencapai 67°C, pada menit ke 30 suhu mencapai 63°C, pada menit ke 35 suhu mencapai 67°C, pada menit ke 40 suhu mencapai 79°C, pada menit ke 45 suhu mencapai 78°C, pada menit ke 50 suhu mencapai 79°C, pada menit ke 55 suhu mencapai 72°C, dan pada menit ke 60 suhu mencapai 72°C.

Pada tabel 4.3 hingga 4.6 pengujian kelayakan sistem terdapat keterangan *Troubleshooting* hal ini merupakan kesengajaan oleh peneliti agar sensor suhu membaca nilai hingga 200°C yang bertujuan untuk mengetahui bahwa ketika suhu mencapai target kondisi mesin *burner boiler* akan dalam kondisi mati atau tidak menyala dan sebaliknya ketika suhu dibawah 200°C maka mesin akan beroperasi secara normal. Hal ini menandakan bahwa alat sistem kontrol *safety* pada mesin *burner boiler* dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan tujuan

penelitian yaitu dapat mengontrol suhu serta menjaga keamanan pada mesin agar tidak terjadi gangguan khususnya pada temperatur atau suhu.

BAB V

PENUTUP

Pada bagian akhir dari skripsi ini, peneliti akan mengemukakan beberapa kesimpulan dan saran yang didasarkan pada temuan hasil penelitian dan uraian pada bab-bab sebelumnya mengenai masalah yang diteliti, yaitu merancang suatu sistem kontrol *safety* pada *burner boiler* sebagai pencegahan keamanan pada skala industri menggunakan thermostat digital REX C100.

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data, peneliti menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat kontrol *safety* pada mesin *boiler* dapat menggunakan modul REX C100 dikarenakan modul REX C100 memiliki akurasi pembacaan suhu dengan *error* tidak lebih dari 1% (0,001%). Suhu terendah yang dibaca oleh sensor adalah 52°C dan suhu tertinggi yang dibaca oleh sensor adalah 200°C.
2. Penggunaan perangkat komponen modul REX C100 dapat mengontrol pengoprasian mesin *boiler* secara otomatis ketika suhu melebihi ambang batas sebesar 200°C *boiler* akan berhenti bekerja.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperlukan dari data-data lapangan, pada dasarnya peneliti ini berjalan baik. Namun bukan suatu kekeliruan apabila peneliti ingin mengemukakan beberapa saran yang mudah-mudahan bermanfaat bagi kemajuan pendidikan pada umumnya. Adapun saran peneliti ajukan adalah sebagai berikut:

1. Pada alat sistem kontrol agar tidak hanya mengontrol suhu *boiler* tetapi dapat mengontrol tekanan *boiler* sesuai dengan kebutuhan kinerja *boiler*.
2. Pemberian peringatan bisa ditambahkan berupa sirine suara agar ketika dalam pabrik atau ruangan yang terdapat tempat yang berisik dapat terderdengar jika suhu *boiler* melebihi ambang batas.

3. Dapat menambahkan dengan berbasis online sehingga kontrol dan monitoring dapat dilakukan melalui smartphone.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, D. N. (2007). *Penelitian Kerusakan Pada Sebuah Pipa Ketel Uap*. 9(2), 63–70.
- Agung. (n.d.). *Pengertian SSR (Solid State Relay)*. Serviceacjogja.Pro. <https://serviceacjogja.pro/pengertian-ssr-solid-state-relay/>
- Anonim. (2022). *10 Persoalan Boiler Yang Lumrah*. Mesin.Uma.Ac.Id. <https://mesin.uma.ac.id/2022/03/15/10-persoalan-boiler-yang-lumrah/>
- Aswan, A., Susilowati, E., & Juriwon. (2007). *ANALISIS ENERGI BOILER PIPA AIR MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR*.
- Buchori, L. (2011). *Buku Ajar Perpindahan Panas*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- Daya, A. T. (2020). *Mengetahui Kegunaan Boiler untuk Industri*. Adikatirtadaya.Co.Id. <https://adikatirtadaya.co.id/mengetahui-kegunaan-boiler-untuk-industri/>
- Einstein, D., Worrell, E., & Khrushch, M. (2001). *Steam Systems in Industry: Energy Use and Energy Efficiency Improvement Potentials*. *University of California*.
- Holman, J. P. (1981). *Heat Transfer*. MCGRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY, New York.
- Ibnu. (2021). *Pengertian Perencanaan: Karakteristik, Tujuan, dan Jenis-jenisnya*. Accurate. <https://accurate.id/marketing-manajemen/pengertian-perencanaan/>
- Kho, D. (2020a). *Pengertian Solid State Relay (SSR) dan Cara Kerjanya*. Teknikelektronika.Com2. <https://teknikelektronika.com/pengertian-solid-state-relay-ssr-cara-kerja-ssr/>
- Kho, D. (2020b). *Pengertian Termokopel (Thermocouple) dan Prinsip Kerjanya*. Teknik Elektro. <https://teknikelektronika.com/pengertian-termokopel-thermocouple-dan-prinsip-kerjanya/>
- M. Usemahu Taher. (2018). *Optimalisasi Pengoperasian Boiler dalam Memproduksi Uap untuk Menunjang Pengoperasian Kapal MV*. *Sinar Kutai*. 11(2), 16–21.

- Mawardi Silaban. (2007). *Boiler, Penghematan Energi dan Perhitungan Sederhana Menaksir Efisiensi*.
- Priyanto, & Wilastari, S. (2022). *Faktor-faktor penyebab menurunnya kinerja boiler di pt. papertech indonesia 12*. 24(1), 60–66.
- prof. dr. sugiyono. (2011). prof. dr. sugiyono, metode penelitian kuantitatif kualitatif dan r&d. intro (PDFDrive).pdf. In *Bandung Alf* (p. 143).
- Ryan, A. (2022). *Perancangan Pipa Api Pada Ketel Uap Pipa Api atau Fire Tube Boiler*. Www.Anakteknik.Co.Id.
<https://www.anakteknik.co.id/yaakovarvin/articles/perancangan-pipa-api-pada-ketel-uap-pipa-api-atau-fire-tube-boiler>
- Setyawan, H., & Nugroho, A. B. (2020). *Perancangan Prototype Mesin Boiler Otomatis Pengering Jagung Berbasis PLC (Programmable Logic Control)*. 1814, 122–133.
- Shenlin, X. (2022). *Rex-C100 Temperature Controller*. Www.Omch.Co.
<https://www.omch.co/rex-c100-temperature-controller/>
- Suprianto. (2015). *PENGERTIAN BOILER (KETEL UAP)*. Unnes.Ac.Id.
<http://blog.unnes.ac.id/antosupri/pengertian-boiler-ketel-uap/>
- Wiratama, C. (2022). *Water Tuber Boiler*. Www.Aeroengineering.Co.Id.
<https://www.aeroengineering.co.id/2022/10/water-tube-boiler/>
<https://www.insinyoer.com/wp-content/uploads/2015/04/boiler-water-tube-349x400.jpg>

LAMPIRAN

















