

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL DAN INSTRUMENTASI PADA *VERTICAL FIRETUBE BOILER* SKALA KECIL DENGAN MENGGUNAKAN KOMPOR GAS LPG SEBAGAI ALAT EDUKASI

1st Kartama Aji Sawaludin

Fakultas Teknik Elektro

Telkom University

Bandung, Indonesia

kartama@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T.,

M.Eng.,Ph.D

Fakultas Teknik Elektro

Telkom University

Bandung, Indonesia

triayodha@telkomuniversity.ac.id

3rd Nurwulan Fitriyanti, S.Pd., M.Si.

Fakultas Teknik Elektro

Telkom University

Bandung, Indonesia

nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Sistem kontrol dan instrumentasi pada boiler dibuat agar dapat memudahkan pengguna pada saat pengoperasian alat. Sistem kontrol ditambahkan pada desain untuk secara otomatis menambahkan air ke boiler. Sistem kontrol dapat difungsikan secara manual atau otomatis dengan mengubah mode operasi untuk pompa. Sistem instrumentasi memungkinkan pengguna dapat lebih mudah untuk mengetahui hasil pengukuran temperature, tekanan, dan ketinggian air. Berdasarkan hasil kalibrasi sensor diperoleh hasil kalibrasi sensor DS18B20 sudah linear dengan nilai korelasi $R^2=0,9999361$, nilai error rata-rata $0,4^{\circ}\text{C}$, persentase error 0,8% dan nilai akurasi 99,2%. Kemudian untuk sensor temperatur MAX6675 thermocouple tipe K diperoleh nilai korelasi $R^2=0,9998777$, nilai error rata-rata $1,7^{\circ}\text{C}$, persentase error 1,3% dan nilai akurasi 98,7%. Hasil kalibrasi gelas penduga memiliki nilai error 0,39mm. Water level pada boiler berfungsi sebagai pendeteksi ketinggian air didalam boiler. Hasil proses pemasangan water level diperoleh kapasitas L1 dan L2 adalah 7,5 Liter dan 6,4 liter.

Kata kunci— Boiler, Temperatur, Sistem Kontrol, Sistem Instrumentasi

I. PENDAHULUAN

Siklus Rankine banyak diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini karena siklus Rankine merupakan siklus yang ideal untuk penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Siklus ini memanfaatkan perubahan kalor menjadi kerja. Pada prinsipnya, siklus ini melibatkan proses: kompresi isentropik pada pompa, penambahan kalor isobarik pada boiler, ekspansi isentropik pada turbin, dan pelepasan kalor isobarik pada kondensor [1].

Laporan Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Negara (PLN) pada 2022 mencapai 73.343,76 Megawatt. Sumber pembangkit listrik tersebut didominasi oleh PLTU yang angkanya mencapai 37.203 Megawatt. Dengan kata lain, 50,72% dari total kapasitas terpasang pembangkit listrik Indonesia berasal dari PLTU [2]. Boiler merupakan salah satu komponen utama PLTU, selain pompa, turbin dan kondensor. Fungsi utama boiler adalah mengkonversi energi yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi kalor melalui

proses pembakaran dan menghasilkan uap pada tekanan di atas atmosfer melalui penyerapan kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar [3].

Kebutuhan akan sarana dan prasarana untuk menyokong pemahaman dan pengetahuan menjadi peran penting di dalam bidang pendidikan. Peran penting alat edukasi tertuang di dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional, yaitu setiap satuan pendidikan formal dan non formal menyediakan sarana dan prasarana yang memenuhi keperluan pendidikan sesuai dengan pertumbuhan dan perkembangan potensi fisik, kecerdasan intelektual, sosial, emosional, dan kewajiban peserta didik [4].

Alat edukasi berupa alat praktikum siklus Rankine memiliki relevansi yang penting dalam konteks pemahaman dan penerapan hukum termodinamika. Hal ini karena siklus Rankine merupakan prinsip fundamental yang digunakan dalam PLTU. Perancangan alat praktikum mengenai siklus Rankine menjadi penting mengingat PLTU mendominasi sebagian besar infrastruktur pembangkit listrik di Indonesia [5].

Pemahaman yang kuat tentang konsep siklus Rankine adalah kunci dalam keberlangsungan peningkatan sumberdaya manusia yang berkualitas dan paham terkait konsep hukum termodinamika dan teknik konversi energi guna menjaga keberlangsungan energi untuk kebutuhan hidup yang berkelanjutan.

II. KAJIAN TEORI

Dalam proses pengembangan sistem kendali dan instrumentasi untuk penggunaan pada boiler, dilakukan kajian pustaka terhadap penelitian sebelumnya dan beberapa sumber lain yang terkait dengan komponen sistem kendali dan instrumentasi yang akan digunakan. Sistem kontrol ditambahkan pada desain untuk secara otomatis menambahkan air ke boiler. Oleh karena itu, alat ini dapat digunakan sebagai alat pengajaran yang praktis. Selain itu, penambahan air secara otomatis juga berkontribusi pada produksi uap yang berkelanjutan. Sistem instrumentasi ditambahkan dengan tujuan untuk dapat mengukur nilai suhu dan tekanan yang beroperasi di dalamnya. Di sisi lain, mereka juga dapat digunakan sebagai objek observasi dan bahan ajar.

Batasan pada perancangan alat ini hanya difokuskan pada perancangan *boiler* skala kecil dengan kapasitas dibawah 10kg/jam, tekanan perancangan maksimal 5 bar, keluaran uap berjenis *superheated* dengan temperature minimal sebesar 200°C.

Berikut beberapa komponen yang hendak digunakan sebagai sistem kontrol dan instrumentasi *boiler*.

A. *Sensor Temperatur*

Sensor temperatur digunakan untuk mengukur suhu pada tangki air dan uap keluar yang dihasilkan oleh *boiler*. Terdapat dua jenis *sensor* temperatur yang digunakan diantaranya DS18B20 dan MAX6675 *Temperature Thermocouple Type K*.

Sensor suhu DS18B20 merupakan *sensor* suhu yang memiliki keluaran sinyal digital. Pemasangan *sensor* pada *boiler* terletak pada tangki air, *sensor* ini digunakan untuk mengukur suhu awal air sebelum masuk ke *boiler*. Penggunaan *sensor* untuk pengukuran suhu dikarenakan kemampuan *sensor* yang tahan terhadap air.

Tabel 2. 1 Spesifikasi *sensor Temperatur DS18B20*

Type	DS18B20 <i>Waterproof</i>
Tegangan Kerja	3-5 VDC
Range Pengukuran	-55°C sampai 125°C
Akurasi	0,5°C
Terminal <i>sensor</i> (kabel)	Merah (VCC), Hitam (GND), Kuning (Data/Sinyal)

Termokopel merupakan *sensor* suhu yang terdiri atas sepasang penghantar yang berbeda disambung las atau dileburkan bersama pada satu sisi membentuk penghantar “*hot junction*” atau sambungan pengukuran yang ada ujung-ujung bebasnya untuk menghubungkan dengan penghantar “*cold junction*” atau sambungan referensi. MAX6675 adalah salah satu modul yang kompatibel dengan Arduino dan dapat berperan sebagai kompensasi *cold junction* termokopel tipe K. MAX6675 memiliki range pengukurannya yang besar yaitu dapat mengukur suhu pada *hot junction* 0°C sampai 1024°C [6].

Sensor ini digunakan untuk mengukur suhu keluaran uap pada pipa *superheater* sehingga pemasangan *sensor* terletak pada bagian keluaran pipa *superheater*. Penggunaan *sensor* sebagai alat ukur suhu dikarenakan kemampuan pengukuran bisa sampai 800°C sementara suhu keluaran uap yaitu 250°C.

Tabel 2. 2 Spesifikasi *Max6675 Temperature Thermocouple Type K*

Type	MAX6675 Module +Type K <i>Thermocouple Sensor</i>
MAX6675	

Tegangan Kerja	5VDC
Arus Kerja	50mA
Range Pengukuran	0°C -1024°C
Type K <i>Thermocouple Sensor</i>	
Range Pengukuran	0°C -800°C
Akurasi	1,5°C
Resolusi	0.25°C

B. *Water Level*

Water level adalah suatu komponen yang digunakan untuk pengukuran ketinggian air. *sensor* ini digunakan pada *boiler* untuk mendeteksi volume air dengan mendeteksi ketinggian air. terdapat beberapa jenis *water level*. *water float switch*, ultrasonik, konduktif.



Gambar 2. 1 *Water float switch*

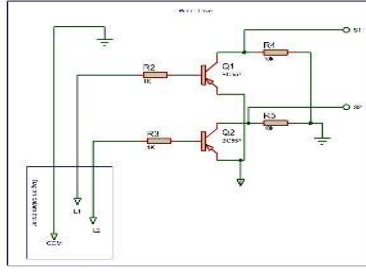
Water float switch merupakan jenis *sensor* yang mendeteksi ketinggian air dengan menggunakan pelampung untuk mengoperasikan saklar. saklar yang awalnya berada dalam kondisi *LOW* ketika ada perubahan ketinggian air pelampung pada *sensor* akan naik seiring naiknya ketinggian air, naiknya pelampung mengakibatkan kondisi saklar yang awalnya *LOW* berubah menjadi *HIGH*. *sensor* jenis ini cocok untuk diaplikasikan pada *boiler* karena sifatnya yang tahan temperatur tinggi dan tekanan namun, terdapat kekurangan yaitu sulitnya untuk melakukan perawatan dan penggantian *sensor* jika terjadi kerusakan karena posisi *sensor* yang ditempatkan di bagian dalam *boiler* sedangkan *boiler* dirancang tertutup [7].



Gambar 2. 2 *Ultrasonik water level*

Ultrasonik *water level* adalah *sensor* ketinggian air dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mengukur ketinggian air. *Sensor* ini memantulkan gelombang ultrasonik ke permukaan air kemudian pantulan gelombang tersebut diterima oleh *sensor* dan diolah sehingga dapat diketahui jarak dari ketinggian air [8].

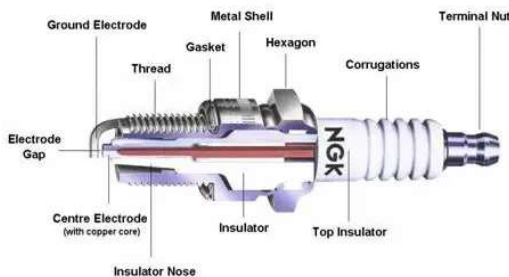
Sensor ini memiliki kekurangan jika dipasangkan pada *boiler* salah satunya tidak tahan air dan suhu tinggi.



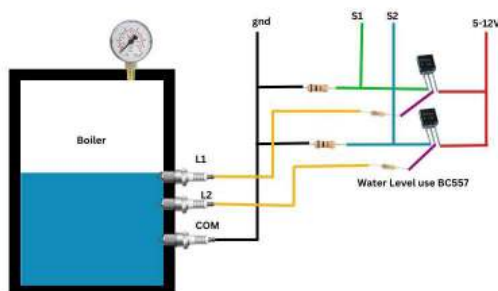
Gambar 2. 3 *Sensor level air konduktif*

Sensor level air konduktif bekerja dengan memanfaatkan prinsip konduktivitas Listrik [9]. *Sensor* ini memanfaatkan sifat konduktivitas air sebagai sinyal untuk pemicu perubahan kondisi ketinggian air. *Sensor* ini terdiri dari beberapa *probe* atau elektroda yang ditempatkan pada berbagai ketinggian *level* air di dalam tangki. *Sensor* ini memiliki kekurangan ketika dipasangkan pada *boiler* yaitu *probe* atau elektroda yang ditempatkan tidak tahan tekanan dan bersifat konduktif karena material *boiler* terbuat dari besi. Namun penggunaan *sensor level* air konduktif memiliki kelebihan diantaranya memudahkan perawatan dan penggantian *sensor* ketika terjadi kerusakan.

Sensor level air konduktif menjadi pilihan untuk digunakan pada *boiler* dengan adanya modifikasi *probe* atau elektroda. Dengan pertimbangan *probe* yang tahan tekanan dan bersifat isolator. Busi mesin kendaraan dijadikan pilihan sebagai *probe* atau elektroda karena memiliki material yang tahan tekanan dan suhu tinggi serta memiliki material yang bersifat isolator.



Gambar 2. 4 *Busi*



Gambar 2. 5 *Pemasangan water level konduktif pada boiler*

Pemasangan *sensor* pada *boiler* ditunjukkan gambar 2.5, L1 adalah batas maksimum *volume* air *boiler* (7,95liter). L2 adalah batas minimum *volume* air *boiler* (6,95 liter). COM adalah tegangan negatif dari sumber listrik.

Sensor memiliki tiga kaki yang akan ditempatkan pada *boiler* dengan ketinggian berbeda. Kaki COM *sensor* diletakkan pada kondisi paling bawah sehingga kaki tersebut dapat tersentuh air. Kemudian untuk penempatan kaki L1 dan L2 dapat ditentukan dengan menggunakan rumus *volume* tabung

$$V = V_{\text{boiler}} - V_{\text{firetube}} \quad (1)$$

$$V_{\text{firetube}} = \pi r^2 t n \quad (2)$$

$$V_{\text{boiler}} = \pi r^2 t \quad (3)$$

Keterangan:

V = Volume (cm³)

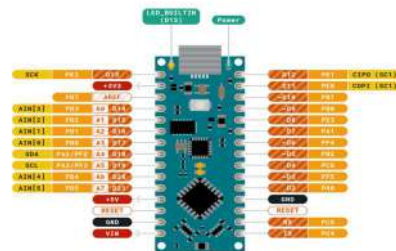
r = Jari-jari (cm)

t = Tinggi (cm)

n = Banyak *firetube*

C. Arduino Nano

Arduino adalah salah satu *microcontroller* yang dapat digunakan untuk mengontrol berbagai macam perangkat atau sistem sesuai dengan kebutuhan pengembangnya. Arduino juga dapat digunakan untuk melakukan pengolahan data. Dalam pengerjaan *Capstone Design*, Arduino digunakan untuk melakukan pengolahan data dari *sensor* dan melakukan kontrol *volume* air dalam *boiler*. Arduino yang digunakan berjenis Arduino Nano.



Gambar 2. 6 *Arduino Nano V3*

D. Relay

Relay adalah saklar elektronik yang dioperasikan menggunakan sinyal listrik. *Relay* terdiri dari dua komponen yaitu saklar dan coil. *Relay* bekerja dengan menggunakan prinsip elektromagnet untuk menggerakkan saklar. *Relay* dapat menghantarkan listrik yang lebih tinggi dengan menggunakan arus listrik yang kecil.

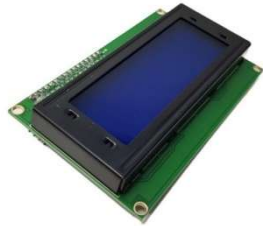


Gambar 2. 7 *Modul relay*

E. LCD 20X4 I2C

Liquid Crystal Display (LCD) adalah perangkat elektronik yang dapat menampilkan karakter. Pada LCD 20X4 berarti LCD tersebut terdiri dari 20 kolom dan 4 baris. Sedangkan modul I2C merupakan alat komunikasi serial dua arah dengan menggunakan dua saluran yang

dirancang untuk dapat mengirim atau menerima data dua saluran tersebut adalah SDA (*Serial Data Line*) dan SCL (*Serial Clock Line*). modul I2C digunakan untuk meneruskan data yang dikirim dari *controller* menuju ke LCD agar data tersebut dapat ditampilkan.



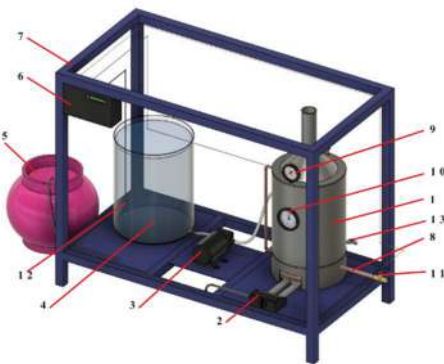
Gambar 2. 8 LCD 20X4 I2C

III. METODE

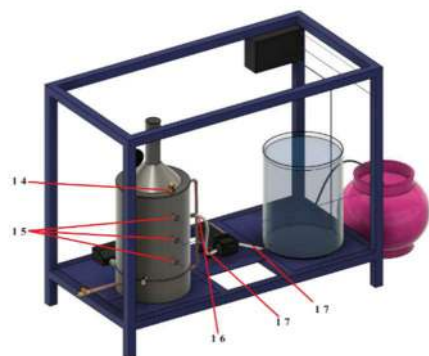
Memberikan gambaran rancangan penelitian yang meliputi prosedur atau langkah-langkah penelitian, waktu penelitian, sumber data, cara perolehan data dan menjelaskan metode yang akan digunakan dalam penelitian [10 pts].

A. Desain Keseluruhan Sistem

Berikut ini adalah desain terpilih perancangan *vertical firetube boiler* skala kecil.



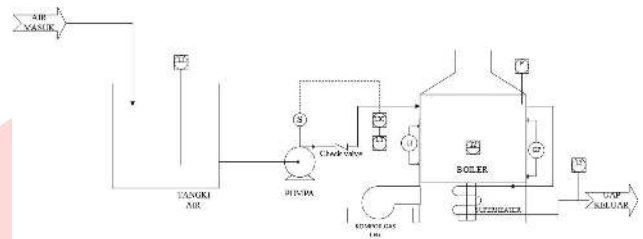
Gambar 3. 1 Desain keseluruhan sistem tampak depan samping



Gambar 3. 2 Desain keseluruhan sistem tampak belakang

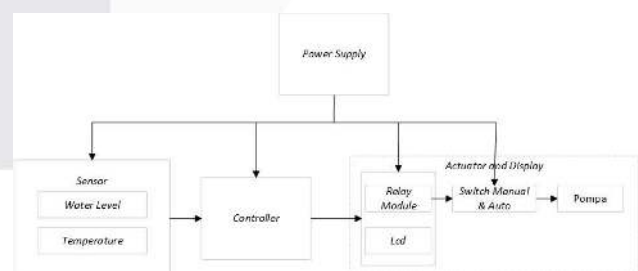
Gambar di atas menunjukkan desain keseluruhan sistem boiler yang akan dibuat. Terdapat beberapa komponen diantaranya yaitu:

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1) <i>Vertical firetube boiler</i> | 11) <i>Sensor</i> suhu MAX6675+Thermometer type K |
| 2) Kompor | 12) <i>Sensor</i> suhu DS18B20 |
| 3) Pompa | 13) Kran pembuangan air boiler |
| 4) Tangki air | 14) <i>Safety valve</i> |
| 5) Gas LPG 3 kg | 15) <i>Sensor level</i> air |
| 6) Kotak Sistem kontrol | 16) <i>Check valve</i> |
| 7) Rangka utama | 17) Selang tahan panas |
| 8) Pipa <i>superheater</i> | |
| 9) <i>Pressure gauge</i> | |
| 10) <i>Termometer boiler</i> | |



Gambar 3. 3 *Process and Instrumentation Diagram (P&ID) Boiler*

Gambar 3.3 menunjukkan *Process and Instrumentation Diagram (P&ID)* yang menggambarkan alur aliran fluida, titik-titik penempatan pengukuran, sistem kontrol dan peralatan yang digunakan. Terdapat beberapa alat pengukuran dan kontrol yang terpasang pada boiler diantaranya Temperatur1 (T1), Temperatur2 (T2), Temperatur3 (T3), *Preassure* (P), Gelas Penduga (GP), *Level Indicator* (LI), *Level Transmitter* (LT), *Level Indicator Control* (LIC), *Signal* (S). T1 digunakan untuk mengukur temperatur air di tangki, T2 untuk mengetahui temperatur air didalam boiler sedangkan T3 digunakan untuk mengetahui temperatur uap yang dihasilkan. Tipe dari alat pengukuran yang digunakan berbeda-beda. T1 menggunakan *sensor* DS18B20 T2 menggunakan *thermometer bimetal* Sedangkan untuk T3 menggunakan *sensor* temperature tipe MAX6675 *thermocouple* tipe. Untuk mengetahui kapasitas air didalam tabung boiler digunakan Gelas Penduga (GP) sementara *Preassure gauge* (P) digunakan untuk mengukur tekanan didalam boiler. Selain dari itu terdapat sistem kontrol yang digunakan untuk mempertahankan kapasitas air didalam boiler.

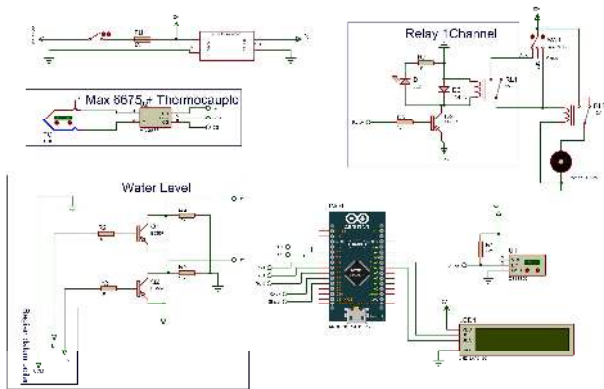


Gambar 3. 4 *Diagram blok sistem kontrol dan instrumentasi*

Gambar 3.4 mengilustrasikan keseluruhan sistem kontrol dan instrumentasi yang akan dibuat. Diagram blok dibagi menjadi empat bagian: catu daya, sensor, pengontrol, aktuator, dan tampilan. Suhu uap dan volume air dalam boiler merupakan parameter yang diukur oleh sensor. Pengukuran sensor dikirim ke pengontrol untuk pemrosesan data. Data diproses oleh pengontrol dan kemudian ditampilkan di layar, dan pengontrol menjaga volume air dalam boiler sesuai dengan pengaturan yang diinginkan. Parameter yang

ditampilkan pada LCD meliputi suhu dan volume air, serta pompa hidup atau mati.

B. Skematik Sistem



Gambar 3. 5 Skematik sistem kontrol

Berdasarkan gambar 3.5, skematik sistem menunjukkan koneksi antar komponen sehingga menjadi satu kesatuan sistem kontrol dan instrumentasi. Beberapa komponen membutuhkan sumber tegangan listrik 12V dan 5V. Sumber energi listrik menggunakan tegangan 220V AC sehingga untuk dapat menggunakan tegangan 12V dibutuhkan *Power Supply*. *Power Supply* digunakan untuk mengkonversi tegangan 220V AC menjadi tegangan 12V DC. Tegangan 12V terhubung ke pompa dan Buck Converter. Sedangkan untuk komponen yang membutuhkan tegangan 5V seperti Arduino Nano, relay 1 channel, LCD 20x4 I2C, *water level*, modul MAX6675+Thermocouple, DS18B20 dibutuhkan Buck Converter. Buck Converter berfungsi untuk mengubah tegangan DC to DC dalam hal ini berarti tegangan 12V menjadi tegangan 5V.

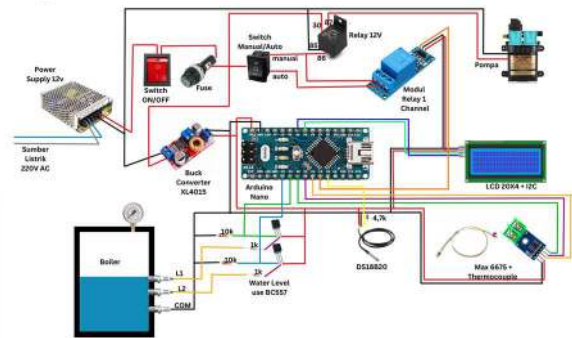
Selain dari koneksi sumber energi listrik antar komponen adapun koneksi dari jalur sinyal data antara komponen input, controller dan output. Jalur sinyal data digunakan untuk menerima atau mengirim informasi. Data dikirim dari *sensor* suhu MAX6675+Thermocouple, DS18B20 dan *Water Level sensor* menuju Arduino Nano sebagai controller untuk dilakukan pengolahan data. Data hasil pengolahan dikirim oleh Arduino Nano menuju LCD 20x4 I2C dan relay 1 channel. Data yang ditampilkan pada LCD 20x4 I2C berupa parameter suhu dan kapasitas air di dalam *boiler* serta status dari pompa apakah sedang menyala atau tidak. Sebagian data hasil pengolahan oleh Arduino Nano digunakan sebagai parameter untuk melakukan kontrol kapasitas air di dalam *boiler*, data tersebut dikirim Arduino Nano menuju relay 1 channel sebagai sinyal kontrol untuk menghidupkan dan mematikan pompa melalui relay. Untuk system kontrol yang digunakan menghidupkan dan mematikan pompa terdapat *switch* manual/otomatis untuk mengkondisikan pompa jika ingin dinyalakan secara manual ataupun otomatis.

Tabel 3. 1 Konfigurasi pin tiap komponen

Komponen	Arduino nano
<i>Water Level</i>	S1 = D2 S2 = D3
MAX6675+Thermocouple	SO = D4 CS = D5 SCK = D6

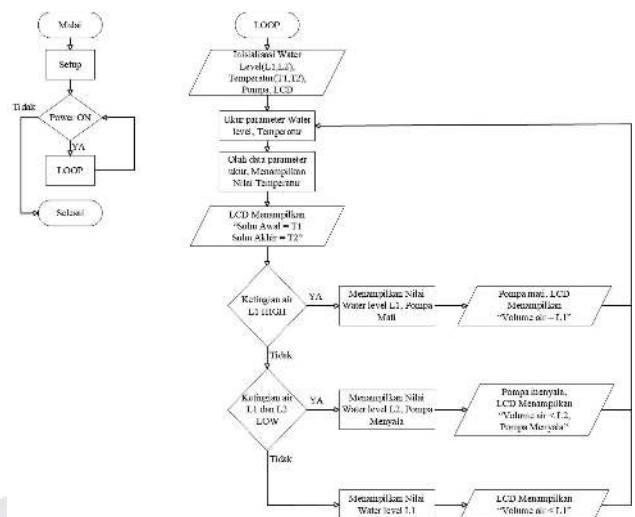
DS18B20	Data/sinyal = D8
LCD 20x4 I2C	SCL = A5 SDA = A4
Relay 1 Channel	IN = D7

Berikut ini adalah tampilan skematik dari sistem kontrol dan instrumentasi dengan tampilan *hardware* tiap komponen.



Gambar 3. 6 Skematik sistem kontrol tampilan hardware antar komponen

C. Flowchart Sistem



Gambar 3. 7 Proses alur sistem kontrol

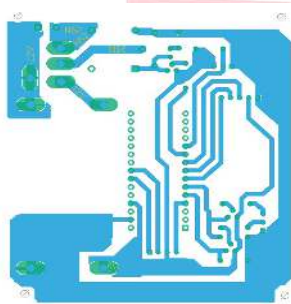
Proses kerja sistem kontrol dimulai dari ketika sistem dinyalakan. Pada awal proses ini arduino nano mulai menginisialisasi *water level* (L1, L2), MAX6675+Thermocouple (T2) dan DS18B20 (T1) sebagai input serta pompa dan LCD sebagai output. Arduino nano melakukan pengukuran parameter input serta pengolahan data. Data hasil pengolahan berupa parameter suhu ditampilkan pada LCD dengan tampilan "Suhu awal = T1, Suhu akhir = T2" sedangkan, parameter *water level* dijadikan parameter kontrol volume air *boiler*. Parameter kontrol diklasifikasikan menjadi tiga kondisi. Pertama ketika arduino nano mendeteksi perubahan L1 menjadi HIGH pompa akan dimatikan dan pada LCD menampilkan "volume Air = L1, Pompa mati". Kondisi kedua ketika arduino nano mendeteksi perubahan L1 dan L2 menjadi LOW pompa akan menyala, LCD menampilkan "Volume air < L2, Pompa menyala". Kondisi ketiga ketika arduino nano tidak mendeteksi kondisi pertama dan kedua maka pada LCD menampilkan "volume air < L1".

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini meliputi beberapa proses yang terkait dalam pembuatan sistem kontrol dan instrumentasi pada *boiler*. Diantaranya meliputi pembuatan sistem kontrol dan instrumentasi, kalibrasi *sensor*, dan integrtasi pada *boiler*.

A. Pembuatan Sistem Kontrol dan Instrumentasi

Tahapan pembuatan sistem kontrol dan instrumen dimulai dari proses pembuatan desain *Printed Circuit Board* (PCB) dengan menggunakan *software Eagle PCB* dengan berdasarkan pada skema rangkaian yang telah dibuat pada gambar 4.1. Tujuannya dibuat PCB adalah untuk mengurangi penggunaan kabel dan mengoptimalkan ruang yang digunakan.



Gambar 4. 1 Desain layout PCB

Hasil desain PCB yang telah dibuat selanjutnya dilakukan proses pembuatan PCB Melalui beberapa tahapan. Tahapan pertama mencetak layout PCB, Tahapan kedua mentransfer layout PCB ke papan PCB polos tembaga, tahap ketiga melakukan *etching* PCB dengan menggunakan cairan feri klorida, tahapan keempat melakukan proses pengeboran untuk melubangi setiap kaki komponen yang nantinya akan ditempatkan pada papan PCB, tahap kelima melakukan proses pemasangan komponen dan penyolderan.



Gambar 4. 2 Box sistem kontrol dan instrumen

Pada gambar 4.2 memperlihatkan sistem kontrol dan instrumen yang telah selesai dibuat. Sambungan yang menghubungkan antara *water level*, *thermocouple*, DS18B20 dan LCD dihubungkan dengan menggunakan soket sementara untuk sambungan menuju ke pompa dihubungkan konektor. Sambungan utama menuju sumber arus listrik dihubungkan dengan menggunakan *Jack DC 12 volt*. Pada gak bagian samping box sistem kontrol instrumentasi terdapat Fuse, saklar on off untuk menghidupkan mematikan sistem dan saklar manual otomatis untuk menghidupkan mematikan pompa secara manual atau otomatis.



Gambar 4. 3 Tampilan box sistem kontrol dan instrumen

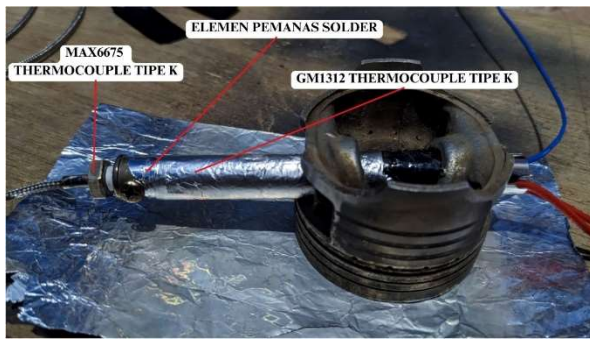
B. Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan nilai ukur yang akurat antara alat ukur yang dibuat dengan alat ukur standar yang sudah ada. Kalibrasi *sensor* temperatur dilakukan dengan membandingkan antara nilai pembacaan *sensor* temperatur standar yang sudah ada dengan nilai pembacaan *sensor* yang dibuat. Setelah nilai temperatur dari *sensor* diperoleh hasilnya akan diolah menggunakan *google spreadsheet* untuk mengetahui nilai *error*, persentase *error* dan akurasi. Semakin kecil nilai *error* yang diperoleh maka akurasi akan semakin akurat. *Sensor* standar yang digunakan adalah tipe GM1312 sementara untuk *sensor* temperatur yang hendak dikalibrasi adalah DS18B20 dan MAX6675 *thermocouple* tipe K.

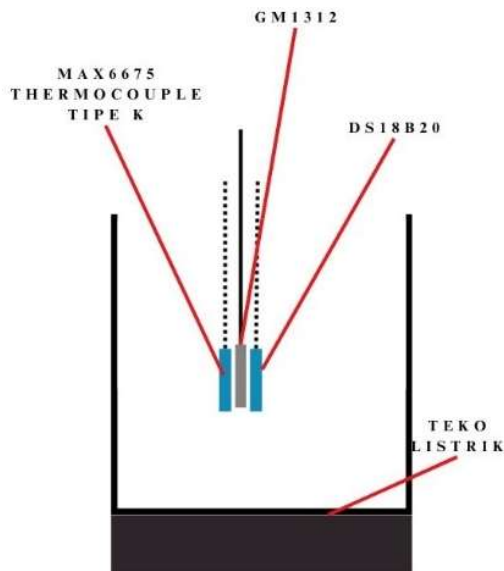


Gambar 4. 4 Thermometer GM1312

Kalibrasi *sensor* temperatur tipe DS18B20 dilakukan sampai mencapai suhu 120°C. *Sensor* temperatur tipe DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu air sebelum masuk ke dalam *boiler*. Kalibrasi *sensor* dilakukan sampai mencapai suhu 120°C sudah mencukupi untuk mengukur rentang temperatur air sebelum masuk ke dalam *boiler* karena pada proses pengujian awal suhu air di dalam *boiler* ketika beroperasi bisa mencapai 115°C sementara untuk output suhu yang dihasilkan *boiler* dengan menggunakan superheater temperaturnya mencapai 500°C - 570°C. Oleh sebab itu untuk *sensor* temperatur tipe Max6675 *thermocouple* type K dilakukan pengkalibrasian suhu sampai mencapai temperatur 580°C.



Gambar 4. 5 Proses kalibrasi dengan elemen solder



Gambar 4. 6 Letak sensor saat kalibrasi [10]



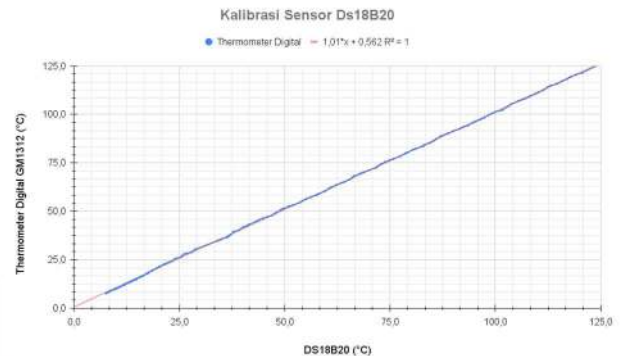
Gambar 4. 7 Proses kalibrasi



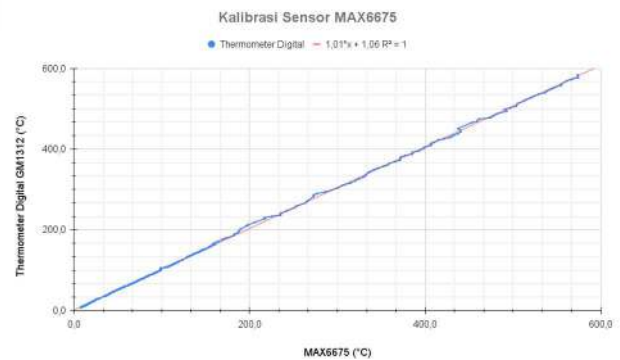
Gambar 4. 8 Proses kalibrasi

Sumber temperatur panas yang digunakan dalam proses kalibrasi adalah teko listrik, elemen pemanas solder dan *heat gun*. Sedangkan untuk sumber temperatur dingin menggunakan air es. Teko listrik digunakan untuk memanaskan minyak goreng sampai mencapai titik didih minyak dimana titik didih minyak mencapai temperatur

dias 200°C-230°C [11]. Untuk sumber pemanas di atas 200°C menggunakan elemen pemanas solder. Elemen pemanas solder mampu mencapai suhu sampai 350°C-400°C [12] namun untuk bisa mencapai temperatur 350°C digunakan tambahan pemanas menggunakan *heat gun*. Proses Kalibrasi ditunjukkan oleh gambar 4.5 sampai gambar 4.8.



Gambar 4. 9 Grafik kalibrasi sensor DS18B20 dan Termometer Digital GM1312

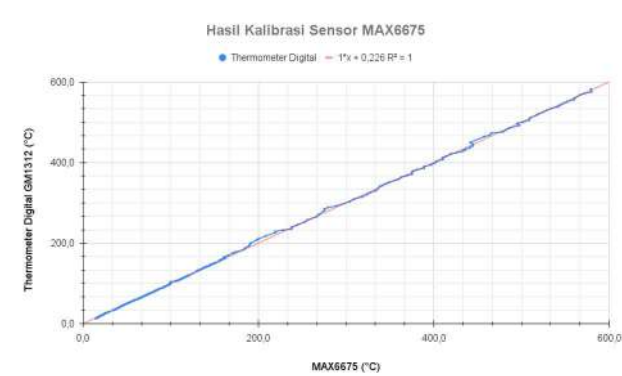


Gambar 4. 10 Grafik kalibrasi sensor MAX6675 dan Termometer Digital GM1312

Gambar 4.9 menunjukkan data kalibrasi antara *sensor* temperatur DS18B20 dengan termometer digital GM1312 dimana dari data kalibrasi kedua *sensor* tersebut diperoleh nilai regresi linear $y=1,01x + 0,562$ untuk mengoreksi nilai error dari *sensor* DS18B20. Sementara untuk data kalibrasi antara *sensor* temperatur Max6675 thermocouple tipe K dengan termometer digital GM1312 ditunjukkan oleh gambar 4.10 diperoleh nilai regresi linear $y=1,01x + 1,06$ untuk mengoreksi nilai error dari *sensor* temperatur Max6675 thermocouple tipe K.



Gambar 4. 11 Grafik hasil kalibrasi sensor DS18B20 dan Termometer Digital GM1312



Gambar 4. 12 Grafik hasil kalibrasi sensor MAX6675 dan Termometer Digital GM1312

Tabel 4. 1 Kalibrasi dan Validasi sensor

Sensor	Rata Rata			Korelasi R
	Nilai Error (°C)	Persentase Error %	Akurasi %	
Sebelum Dikalibrasi				
DS18B20	1,0	2,0	98,0	0,9999288
MAX6675	3,1	2,2	97,8	0,9999289
Setelah Dikalibrasi				
DS18B20	0,4	0,8	99,2	0,9999361
MAX6675	1,7	1,3	98,7	0,9998777

Berdasarkan grafik hasil kalibrasi atau validasi ulang dengan menggunakan metode yang sama yaitu dengan membandingkan *sensor* yang hendak dikalibrasi dengan termometer standar yang telah terkalibrasi pada gambar 4.21 diperoleh hasil kalibrasi *sensor* DS18B20 sudah linear dengan nilai korelasi $R^2=0,9999361$, nilai *error* rata-rata 0,4°C, persentase *error* 0,8% dan nilai akurasi 99,2%. Kemudian untuk *sensor* temperatur MAX6675 thermocouple tipe K diperoleh nilai korelasi $R^2=0,9998777$, nilai *error* rata-rata 1,7°C, persentase *error* 1,3% dan nilai akurasi 98,7%. Tabel 4.1 menunjukkan data rata-rata pengukuran *sensor* sebelum dikalibrasi dan sesudah di kalibrasi.

Kalibrasi gelas penduga dilakukan untuk mendapatkan nilai garis skala ukur untuk gelas penduga. Proses kalibrasi gelas penduga dilakukan dengan cara memasukan air kedalam *boiler* persatu liter air dengan menggunakan gelas ukur. Untuk mendapat nilai yang tepat persatu liter air, setiap satu liter air akan di timbang menggunakan timbangan digital sebelum dimasukan ke dalam *boiler*. Nilai satu liter air berikut gelas ukur seberat 1,140kg, berat gelas ukur sebesar 0,173 sehingga berat air tanpa gelas 0,967kg. Setiap memasukan satu liter air ketika pada gelas penduga telah terlihat garis permukaan air maka pada titik itu akan ditandai. Proses awal pemberian tanda garis skala ukur dilakukan menggunakan penggaris namun, padak akhir implementasi menggunakan stiker yang dibuat khusus mengikuti nilai garis skala yang telah terkalibrasi. Stiker yang dibuat akan di tempel pada gelas penduga untuk menjadi acuan dari nilai skala ukur ketinggian air di *boiler*.



Gambar 4. 13 Proses kalibrasi gelas penduga

Tabel 4. 2 Kalibrasi Gelas penduga

Pre-validasi		validasi		Selisih (mm)	Stiker (mm)
Ketinggian air di pengggatis (mm)	Kapasias air (Liter)	Ketinggian air di pengggatis (mm)	Kapasias air (Liter)		
0.0	2	0	2	0.0	0
10.3	2.5	10.25	2.5	0.0	10.3
20.0	3	20.5	3	0.5	20.3
30.3	3.5	30.75	3.5	0.5	30.5
40.5	4	41	4	0.5	40.8
51.8	4.5	51.75	4.5	0.0	51.8
61.5	5	62.5	5	1.0	62.0
72.8	5.5	73.25	5.5	0.5	73.0
84.0	6	84	6	0.0	84.0
91.3	6.5	92.25	6.5	1.0	91.8
100.0	7	100.5	7	0.5	100.3
112.5	7.5	113.5	7.5	1.0	113.0
125.5	8	126.5	8	1.0	126.0
136.5	8.5	137	8.5	0.5	136.8
147.5	9	147.5	9	0.0	147.5
158.0	9.5	158	9.5	0.0	158.0
167.5	10	168.5	10	1.0	168.0
179.3	10.5	179.25	10.5	0.0	179.3
189.5	11	190	11	0.5	189.8
Rata-rata error				0.39	

Untuk memastikan garis skala ukur yang telah dibuat sudah benar maka air yang sebelumnya dimasukan kedalam *boiler* akan di buang dan dikosongkan selanjutnya dilakukan pengisian ulang untuk proses validasi. Validasi dilakukan dengan cara yang sama yaitu dengan memasukan setiap satu liter air kedalam *boiler* sambil melihat kenaikan garis permukaan air apakah sudah sesuai dengan garis skala ukur yang telah dibuat.

C. Integrasi pada Boiler

Sensor DS18B20 diletakkan dengan cara dicelup langsung pada tangka. Gambar 4.14 menunjukan letak *sensor*. Sedangkan untuk MAX6675 diletakkan pada bagian output dari pipa superheater, letak *sensor* MAX6675 ditunjukkan oleh gambar 4.15.



Gambar 4. 14 Letak sensor DS18B20



Gambar 4. 15 Letak sensor MAX6675

Gambar 4.16 menunjukkan letak *sensor water level* yang terpasang langsung pada *boiler*. Untuk bagian *probe* com dari *water level* terletak pada bagian busi paling bawah. *Probe* L1 terletak pada bagian busi paling atas dengan ketinggian busi dari dasar *tubesheet boiler* 16,6 cm dengan kapasitas *volume* air yang dapat ditampung didalam *boiler* adalah 7,95 Liter. Sedangkan *probe* L2 terletak pada bagian busi kedua dari bawah dengan ketinggian *probe* L2 dengan tube seed *boiler* pada bagian bawah 14,5 cm dengan kapasitas *volume* air yang dapat ditampung di dalam *boiler* adalah 7 liter. Namun, setelah dilakukan kalibrasi dengan menggunakan gelas ukur dengan cara memasukkan air ke dalam *boiler* tiap 1liter pengukuran dari gelas ukur untuk *volume* air yang dapat ditampung dari L1 dan L2 adalah 7,5 Liter dan 6,4 liter. Hal ini dikarenakan dalam proses pembuatan pengeboran berat untuk lubang busi yang digunakan terjadi ketidakpresisian pengeboran yang mengakibatkan hasil dari perancangan awal untuk kapasitas *volume* dalam *boiler* menjadi kurang tepat.



Gambar 4. 16 Letak water level

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kalibrasi *sensor* diperoleh hasil kalibrasi *sensor* DS18B20 sudah linear dengan nilai korelasi $R^2=0,9999361$, nilai *error* rata-rata $0,4^{\circ}\text{C}$, persentase *error* 0,8% dan nilai akurasi 99,2%. Kemudian untuk *sensor* temperatur MAX6675 thermocouple tipe K diperoleh nilai korelasi $R^2=0,9998777$, nilai *error* rata-rata $1,7^{\circ}\text{C}$, persentase *error* 1,3% dan nilai akurasi 98,7%. Hasil kalibrasi gelas penduga memiliki nilai *error* 0,39mm. Sistem kontrol *boiler* dapat berfungsi secara manual atau otomatis dengan cara mengubah mode saklar. *Water level* pada *boiler* berfungsi sebagai pendeteksi ketinggian air didalam *boiler*. Hasil proses pemasangan *water level* diperoleh kapasitas L1 dan L2 adalah 7,5 Liter dan 6,4 liter.

REFERENSI

- [1] Yunus A. Çengel dan Michael A. Boles, "Thermodynamics: An Engineering Approach," in *book*, New York: McGraw-Hill HIGHER Education, 2006, ch. 5th. [Online]. Available: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5464110/mod_book/chapter/23393/Thermody%0Anamics an Engineering Approach.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5464110/mod_book/chapter/23393/Thermody%0Anamics%20an%20Engineering%20Approach.pdf)
- [2] Badan Pusat Statistik, "Kapasitas Terpasang PLN menurut Jenis Pembangkit Listrik (MW)," Badan Pusat Statistik. Accessed: Mar. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzIxIzI=/kapasitas-terpasang-pln-menurut-jenis-pembangkit-listrik.html>
- [3] T. Woodruff, Everett; Lammers, Herbert; Lammers, "Steam Plant Operation, Ninth Edition," 10th ed., New York: McGraw Hill Education, 2011, p. 736.
- [4] Direktorat Jenderal Peraturan Perundang-undangan, "Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 Tentang Sistem Pendidikan Nasional," <https://peraturan.go.id/>. Accessed: Mar. 10, 2024. [Online]. Available: <https://peraturan.go.id/id/uu-no-20-tahun-2003>
- [5] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 15 Tahun 2019 Tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal.," BPK RI. Accessed: Mar. 25, 2024. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/286526/permen-lhk-no-15-tahun-2019>
- [6] R. Septiana, I. Roihan, and J. Karnadi, "Calibration of K-Type Thermocouple and MAX6675 Module With Reference DS18B20 Thermistor Based on Arduino DAQ," *Univ. Indones.*, pp. 9–10, 2019, [Online]. Available: <https://prosiding.bkstm.org/prosiding/2019/PTM01.pdf>
- [7] I. I. Part, "Float Level Switch : Pengertian dan Cara Kerja." Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available: <https://inaparts.com/measurement/level-measurement/float-level-switch/#:~:text=Float Level Switch adalah sensor,saklar untuk membuka atau menutup.>
- [8] A. Alawiah and A. Rafi Al Tahtawi, "Sistem Kendali

- dan Pemantauan Ketinggian Air pada Tangki Berbasis *Sensor* Ultrasonik,” *KOPERTIP J. Ilm. Manaj. Inform. dan Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–30, 2017, doi: 10.32485/kopertip.v1i1.7.
- [9] T. Gatkai, P. Shingne, A. Raut, P. Kamle, and M. Tibdewal, “Design and Implementation of Smart *Water Level* Indicator and Valve Controller,” *J. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 161–165, 2003, [Online]. Available: <https://ssgmjournal.in/index.php/ssgm/article/view/54/31>
- [10] A. Riantono, B. Teguh, and A. Koestoer, “Kalibrasi *Sensor* Temperatur Termokopel Tipe K dan DS18B20 Pada Temperatur Es Mencair dan Air Mendidih Sistem Dengan Akuisisi Data (DAQ) Berbasis Arduino,” *Pros. SNTTM XVII*, vol. 9, no. 10, pp. 1–7, 2022, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/363053101%0D>
- [11] Huazheng, “Berapa titik didih dan titik beku minyak dalam derajat celcius?” Accessed: Dec. 20, 2024. [Online]. Available: <https://id.electric-test.com/info/what-are-theboiling-and-freezing-points-of-oi-95146248.html%0D>
- [12] Aixun, “What is that average temperature of a heated electric electric soldering iron?” Accessed: Dec. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.aixuntech.com/newsinfo/what-is-that-average-temperature-of-a-heated-electric-electric-soldering-iron/>