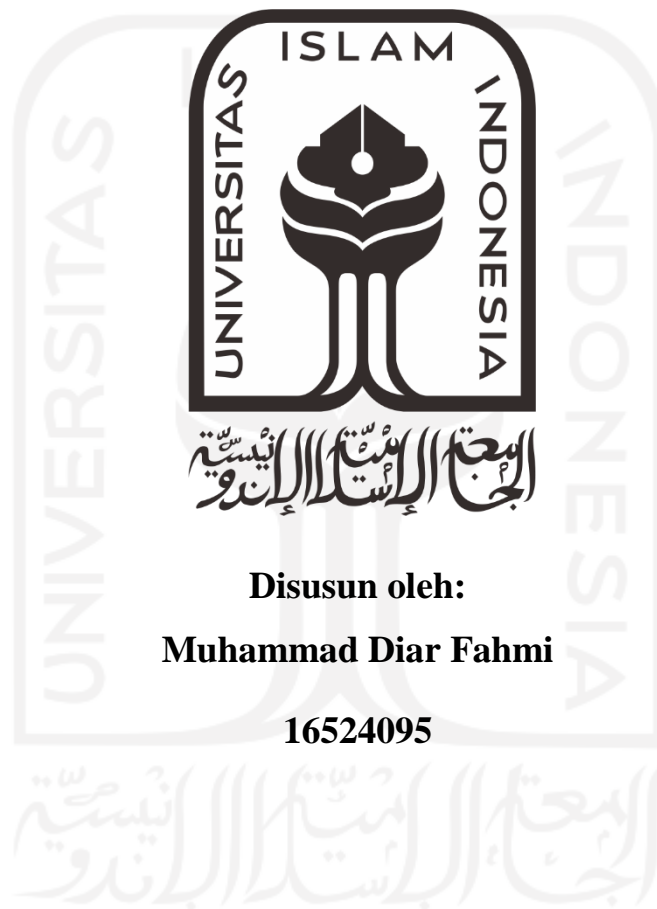


**SISTEM MONITORING DAN KENDALI PROSES SAMPEL
ROASTING MENGGUNAKAN SOFTWARE ARTISAN
ROASTER SCOPE**

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



**Disusun oleh:
Muhammad Diar Fahmi**

16524095

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia Yogyakarta

2021

LEMBAR PENGESAHAN

SISTEM MONITORING DAN KENDALI PROSES SAMPEL *ROASTING* MENGUNAKAN SOFTWARE ARTISAN *ROASTER SCOPE*

TUGAS AKHIR

ISLAM

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

Muhammad Diar Fahmi

16524095

Yogyakarta, 26 April 2021

Menyetujui,

Pembimbing 1



Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.SC., Ph.D.

025240101

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

SISTEM MONITORING DAN KENDALI PROSES SAMPEL *ROASTING* MENGUNAKAN SOFTWARE ARTISAN *ROASTER SCOPE*

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Muhammad Diar Fahmi

16524095

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

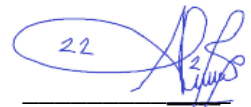
Pada tanggal: 05 Mei 2021

Susunan dewan penguji

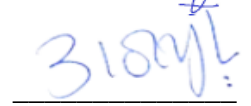
Ketua Penguji : Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.SC., Ph.D.,



Anggota Penguji 1: Almira Budiyanto, S.Si., M.Eng.,



Anggota Penguji 2: Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.,



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 05 Mei 2021

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D

045240101

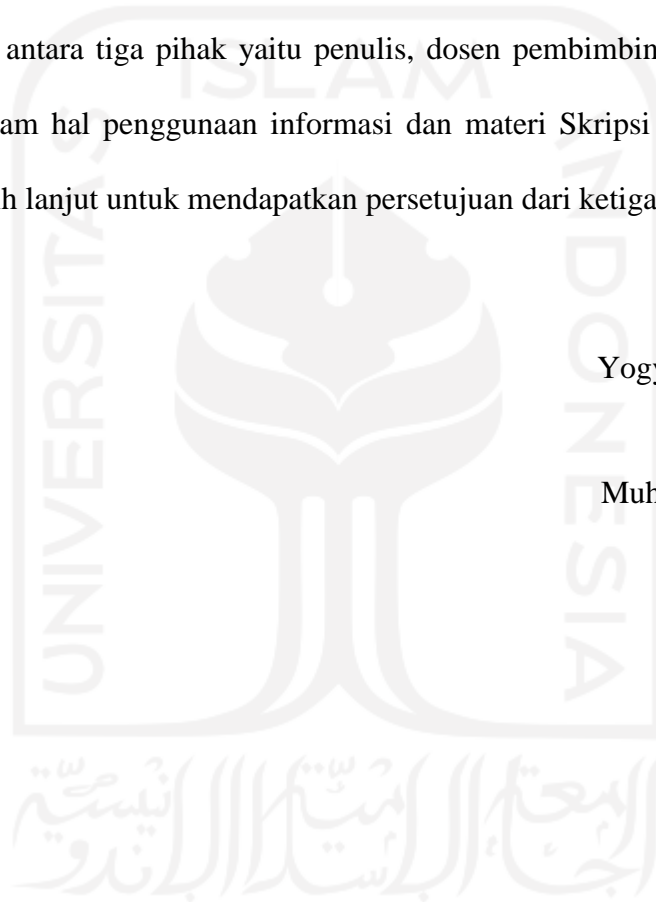
PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta,

Muhammad Diar Fahmi



KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil alamin, puji syukur kita panjatkan kepada kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta karuniya-NYA kepada setiap hambanya. Tak luput juga Shalawat serta salam kita ucapkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya sehingga skripsi dengan judul “Sistem Monitoring dan Kendali Proses *Roasting* Menggunakan *Software Artisan Roaster Scope*” untuk memenuhi tugas akhir yaitu skripsi dapat disusun dan diselesaikan dengan baik untuk memperoleh syarat dalam menyelesaikan pendidikan Program Strata 1 (S1) pada program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan skripsi ini, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga dan fikiran untuk membimbing, mendidik, dan mengarahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Segenap Staff dan Dosen Universitas Islam Indonesia khususnya Program Studi Teknik Elektro yang telah membantu dalam proses pendidikan serta membekali ilmu pengetahuan selama penulis menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
6. Kedua orang tua tercinta, Ibu Rokhmah S.Pd, dan Bapak Ir. Muhammad Arisman, yang telah rela meluangkan waktu kesibukannya untuk keberhasilan anaknya serta memberikan segala bantuan, baik itu tenaga, nasihat, motivasi, financial, semangat, dan doa yang tiada hentinya selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.

7. Keluarga besar Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia, khususnya angkatan 2016 atas doa dan dukungannya selama ini.
8. Teman-teman dari Space Coffe Roastery Yogyakarta yang telah mendukung, membantu dan memberi ilmu mengenai *roasting* kopi.
9. Grup Pohon Mangga yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam menjalankan skripsi.
10. Serta pihak-pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu-persatu yang turut mendukung ataupun membantu baik dalam masa pendidikan di Universitas Islam Indonesia ataupun membantu penyusun Skripsi ini baik dengan cara langsung ataupun tidak langsung.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan baik dalam hal penulisan maupun penelitian. Sehingga penulis menerima segala kritik dan saran yang bersifat positif untuk mengembangkan skripsi ini menjadi lebih baik. Semoga dengan skripsi ini dapat membawa berbagai manfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan, para pembaca dan semua pihak yang berkepentingan.

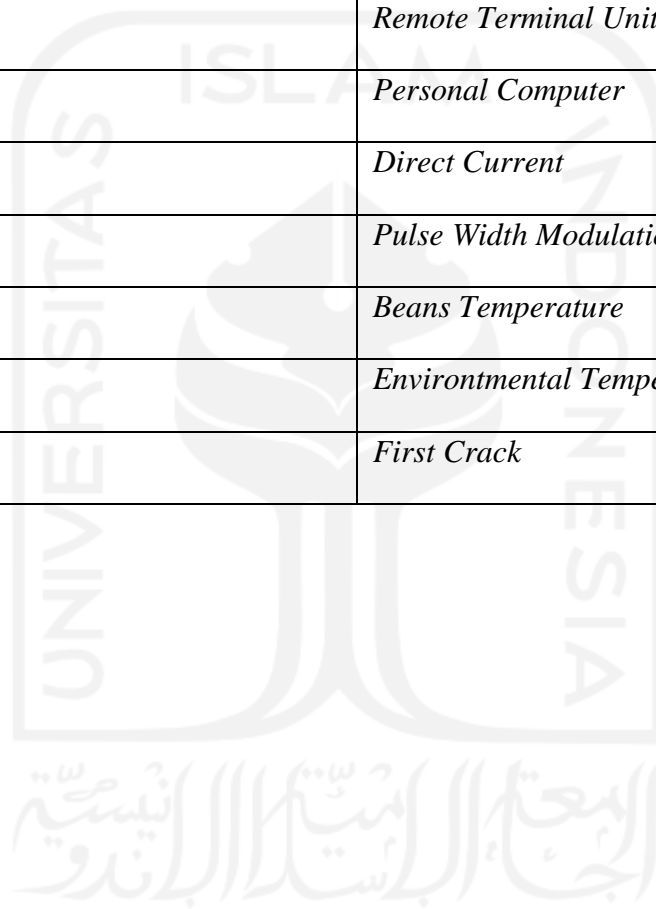
Wassalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Penulis

Muhammad Diar Fahmi

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

RPM	<i>Rotate Per Minute</i>
Kg	Kilogram
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
DC	<i>Direct Current</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
BT	<i>Beans Temperature</i>
ET	<i>Environtmental Temperature</i>
FC	<i>First Crack</i>



ABSTRAK

Pada umumnya sebuah *roastery* kopi memiliki sebuah mesin *roasting* yang berfungsi untuk memanggang biji kopi. Cara kerja mesin *roasting* menggunakan api sebagai media untuk proses *roasting*. Mesin *roasting* juga memiliki beberapa sensor diantaranya sensor temperature, sensor tekanan gas, dan sensor kecepatan. Di Space Coffee Roastery sendiri terdapat mesin *roasting* mini yang digunakan untuk *meroasting sample beans*. Mesin *sample roasting* tersebut bernama Suji Mini Roaster 100 berkapasitas 120 gram. Mesin tersebut hanya memiliki satu sensor yaitu sensor temperature yang diletakan di luar drum dan hanya mengukur temperature panas drum bukan beans, serta belum adanya integrasi dari sensor ke *software* untuk sistem monitoing dan kendali yang mengakibatkan keakuratan proses *roasting* yang dilakukan rendah dan menyulitkan seorang *roaster* dalam *meroasting sample* biji kopi. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perancangan modul untuk monitoring dan kendali proses *roasting* dengan menggunakan *software Artisan roaster scope*. Metode perancangan modul menggunakan arduino nano dengan mikrokontroler ATmega328p yang didalamnya terdapat program berisikan instruksi/perintah untuk menjalankan sistem, sensor temperature *thermocouple* type-K MAX6675, motor DC RS775 dengan encoder sebagai penggerak, *ignation controller* dengan *solenoid valve* sebagai kontrol pemantik api. Hasil kalibrasi pengukuran sensor temperature didapatkan nilai persentase *error* kurang dari 5%. Sedangkan, hasil kalibrasi pengukuran Motor DC dilakukan dengan dua cara, yaitu pengukuran kecepatan motor DC tanpa beban dan pengukuran kecepatan motor DC dengan beban. Hasil dari kalibrasi tersebut didapatkan nilai persentase *error* tertinggi untuk kecepatan motor DC tanpa beban adalah 1,83% sedangkan, nilai persentase *error* tertinggi untuk kecepatan motor DC dengan beban adalah 2,88%. Hasil pengujian modul dilakukan dengan menghubungkan modul dengan mesin *roasting* dan PC dan menggunakan *software Artisan roaster scope* untuk monitoring dan kendali proses *roasting*. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai presentase *error* dari hasil kalibrasi dan analisis terhadap pengujian modul. Penelitian yang dilakukan akan menghasilkan sebuah modul yang dapat memonitoring dan melakukan pengendalian terhadap proses *roasting*.

Keywords : *Roasting, Monitoring, Kendali, Thermocouple Type-K, Motor DC RS775 Encoder, Solenoid Valve.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Studi Literature.....	4
2.2 Tinjauan Teori	6
2.2.1 Arduino Nano dan Mikrokontroler ATmega328P.....	6
2.2.2 Artisan Roaster Scope.....	7
2.2.3 Thermocouple type-K dan MAX6675	8
2.2.4 Motor DC RS775 dengan <i>Encoder</i> dan BTS7960.....	8
2.2.5 Selenoid Valve	10
BAB 3 METODOLOGI	11
3.1 Alat dan Bahan	11
3.2 Desain Sistem	12

3.2.1 Perancangan Sistem Perangkat Keras	12
3.2.2 Perancangan Sistem Perangkat Lunak	13
3.2.3 Protokol Komunikasi Modbus RTU Pada Artisan <i>Roaster Scope</i>	14
3.2.4 Komunikasi Program Arduino dengan Artisan <i>Roaster Scope</i>	14
3.2.5 Reading Register dan Writing to Register	15
3.3 Pengujian Alat	17
3.3.1 Proses Kalibrasi.....	17
3.3.2 Analisis Kalibrasi	19
3.4 Objek Penelitian	19
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Hasil Pengujian Sensor Temperature	21
4.2 Hasil Pengukuran Kecepatan Motor.....	23
4.3 Hasil Pengujian Perancangan Alat	27
4.4 Pembahasan	30
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Kesimpulan.....	31
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	1



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Mesin Roasting	1
Gambar 2. 1 Struktur Arduino Nano [6]	6
Gambar 2. 2 Thermouple type-K dan MAX6675 [9].....	8
Gambar 2. 3 Incremental Rotary Encoder [10]	9
Gambar 2. 4 BTS 7960 dan Motor DC RS775 dengan Encoder.....	10
Gambar 2. 5 Selenoid Valve dan Kontroler	10
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras	12
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Perangkat Lunak..	13
Gambar 3. 3 <i>Reading Register</i> pada <i>Artisan Roaster Scope</i>	15
Gambar 3. 4 <i>Writing to Register</i> pada <i>Artisan Roaster Scope</i>	16
Gambar 3. 5 <i>Infrared Thermometer</i>	17
Gambar 3. 6 Perancangan Sistem	19
Gambar 4. 1 Kegiatan Pengujian Proses Kalibrasi Sensor Temperatur	21
Gambar 4. 2 Data Pengukuran Temperature	21
Gambar 4. 3 Data Selisih Temperature	22
Gambar 4. 4 Persentase <i>Error</i> Kalibrasi Sensor Temperature	22
Gambar 4. 5 Pengukuran Tegangan (V).....	23
Gambar 4. 6 Perbandingan Kecepatan Motor DC dan Tachometer Tanpa Beban.....	24
Gambar 4. 7 Selisih Pengukuran Kecepatan Motor DC dan Tachometer Tanpa Beban.....	25
Gambar 4. 8 Persentase Error (%) Kecepatan Motor DC Tanpa Beban	25
Gambar 4. 9 Perbandingan Kecepatan Motor DC dan Tachometer dengan Beban	25
Gambar 4. 10 Selisih Pengukuran Kecepatan Motor DC dengan Beban	26
Gambar 4. 11 Persentase Error (%) Kecepatan Motor DC dengan Beban.....	26
Gambar 4. 12 Modul Terhubung dengan Mesin <i>Roasting</i> dan PC.....	27
Gambar 4. 13 Tampilan Monitoring dan Kendali Pada Software	28
Gambar 4. 14 Contoh Hasil Monitoring dan Kendali Penyamplingan Roasting Biji Kopi	29

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kapasitas Mesin dan RPM Drum [3]	4
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat dan Bahan.....	11
Tabel 4. 1 Jejak Rekam Data Proses Penyampingan Roasting Biji Kopi	30

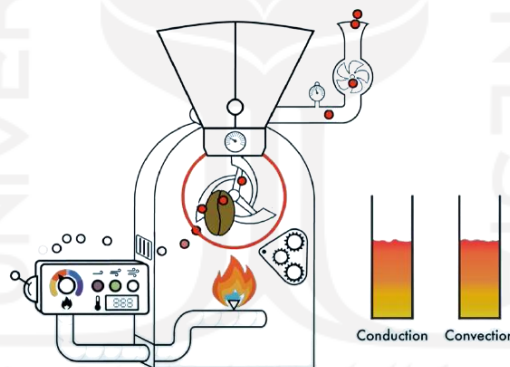


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan komoditas dari hasil perkebunan yang memiliki tingkat nilai ekonomis tertinggi di Indonesia diantaranya sebagai devisa negara, sebagai penyedia lapangan kerja, dan sebagai sumber pendapatan bagi petani kopi dan masyarakat yang berkecimpung dalam bisnis kopi [1]. Indonesia sendiri menempati urutan posisi ketiga sebagai produsen kopi dan pengeksport kopi terbesar di dunia setelah Brazil dan Vietnam. Secara umum, kopi mengalami berbagai macam proses sebelum menjadi kopi yang dapat diperdagangkan. Kopi yang diperdagangkan biasanya sudah dalam berupa biji kopi kering yang sudah terlepas dari daging dan kulitnya serta sudah berwarna coklat. Hal ini dikarenakan kopi tersebut masuk ke salah satu proses yaitu pemanggangan atau biasa dikalangan kopi disebut *roasting*. Proses *roasting* pada kopi dikebanyakan daerah masih bersifat konvensional yaitu dengan memasaknya secara langsung di atas api. Hal ini menyebabkan kopi yang di*roasting* terlalu hitam atau bisa dikatakan hangus sehingga mempengaruhi cita rasa pada kopi.



Gambar 1. 1 Mesin Roasting

Gambar 1.1 merupakan mesin *roasting* pada zaman modern yang telah menggunakan metode *airflow*, yaitu metode pemanggangan (*roasting*) yang utama dengan memanfaatkan perpindahan panas dari api yang memanaskan drum yang berputar dengan kecepatan tertentu sehingga menciptakan udara panas di dalam drum yang digunakan selama proses *roasting* kopi. Selain itu, pada mesin *roasting* modern memiliki fitur monitoring dan pengendalian terhadap proses *roasting* [2]. Mesin *roasting* yang ada di dunia komersial kopi memiliki ukuran berkapasitas 5 kg, 10 kg, dan 15 kg. Kapasitas besar mesin *roasting* membuat penggunaan bahan baku lebih banyak dan membuat faktor kegagalan pada proses *roasting* semakin besar. Sehingga, dibuat sebuah mesin *sample roasting* dengan ukuran kecil berkapasitas 100-500 gram yang bertujuan untuk meminimalisir kegagalan dan efisiensi bahan baku. Permasalahan yang terdapat pada mesin *sample roasting* belum

terdapat fitur yang dapat melakukan monitoring dan pengendalian terhadap proses *roasting* sehingga, seorang *roaster* akan merasa sulit untuk menganalisis proses *roasting* yang dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem yang dapat melakukan proses monitoring dan kendali terhadap mesin *sample roasting*. Penelitian yang dilakukan akan merancang sebuah modul untuk proses monitoring dan kendali pada proses *roasting* yang terhubung dengan mesin *roasting* dan PC yang didalamnya telah terinstal sebuah *software Artisan roaster scope*. *Software Artisan roaster scope* digunakan pada penelitian ini dikarenakan *software* memiliki sifat *open source* dan merupakan *software* yang umum digunakan pada mesin *roasting* di dunia industrial kopi. Penelitian ini menggunakan objek mesin *sample roasting* dengan kapasitas 250 gram yang digerakan dengan sebuah motor DC untuk menggerakkan drum pada mesin *roasting* yang didalamnya juga terdapat 2 sensor temperature untuk melakukan pengukuran suhu, dan sistem pengapian. Proses monitoring dan kendali yang dilakukan terdapat pada PC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dibuat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan sistem monitoring dan kendali proses *roasting* pada mesin *sample roasting* menggunakan *software Artisan roaster scope*?
2. Bagaimana pengaruh dari perancangan sistem monitoring dan kendali menggunakan *software Artisan roaster scope* yang diaplikasikan pada mesin *sample roasting* terhadap proses *roasting*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus kepada perancangan sistem monitoring dan kendali terhadap proses *roasting* menggunakan *software Artisan roaster scope*.
2. Penelitian ini belum memperhatikan secara teknis mengenai mesin *sample roasting*, seperti motor, *airflow*, dan *cooling tray*.
3. Nilai dari pembacaan sensor temperature yang dilakukan oleh *infrared thermometer* dan nilai pembacaan kecepatan motor yang dilakukan oleh tachometer dianggap sebagai nilai yang absolut.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

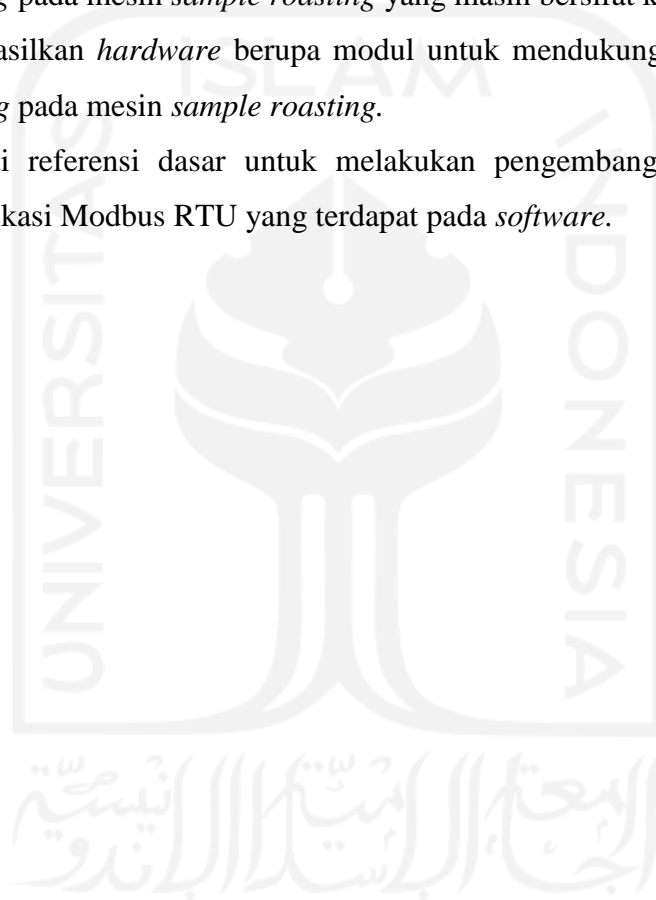
1. Perancangan suatu sistem monitoring dan kendali proses *roasting* menggunakan *software Artisan roaster scope*.

2. Sistem monitoring dan kendali dilakukan melalui protokol komunikasi modbus RTU pada *software Artisan roaster scope*.
3. Pengujian karakteristik hasil penyamplangan *roasting* biji kopi dari sistem monitoring dan kendali terhadap proses *roasting* yang dilakukan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Membangun fondasi awal mengenai sistem monitoring dan kendali untuk proses *roasting* pada mesin *sample roasting* yang masih bersifat konvensional.
2. Menghasilkan *hardware* berupa modul untuk mendukung penelitian terkait proses *roasting* pada mesin *sample roasting*.
3. Menjadi referensi dasar untuk melakukan pengembangan terhadap penggunaan komunikasi Modbus RTU yang terdapat pada *software*.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literature

Rao [3] dalam penelitiannya menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh dan saling berhubungan ketika proses *roasting* kopi terutama pada sebuah mesin *roasting* adalah suhu, waktu, kecepatan drum, pengaturan air flow, dan pelatukkan sensor dengan ukuran dan lokasi yang tepat. Temperature merupakan salah satu faktor penting dalam proses *roasting* dan berhubungan dengan faktor lainnya di mana, temperature berperan mengubah biji kopi yang belum masak (*green beans*) menjadi biji kopi yang telah masak (*roasted beans*) selama proses pemanggangan. Temperature awal atau biasa disebut *charge temperature* akan mempengaruhi hasil akhir dari proses *roasting*. *Charge temperature* ideal akan meningkatkan efektivitas dan efisiensi waktu yang digunakan selama proses *roasting*. Waktu proses *roasting* juga perlu diperhatikan, di mana saat proses *roasting* terdapat retakan pertama (*first crack*) yang terjadi ketika biji kopi mulai masak secara keseluruhan. *First crack* berhubungan dengan waktu akhir *roasting* (*final time roasting*) yang akan berpengaruh terhadap kualitas hasil *roasting* sehingga seorang *roaster* dapat menentukan sebuah persentase tingkat kematangan dan pemerataan tingkat kematangan biji kopi yang hasilnya ditunjukkan dengan sebuah persentase (*development beans*). Kecepatan drum (RPM drum) berpengaruh selama proses *roasting* dalam hal pencampuran biji kopi. Pengaturan kecepatan drum juga dapat meminimalkan perpindahan panas dari api ke drum (*conductivity thermal*) dan memastikan bahwa panas ditransfer secara merata. Kecepatan pada drum (RPM drum) bergantung pada diameter drum atau kapasitas drum dapat dilihat pada Table 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Kecepatan Drum dan Kapasitas Mesin [3]

Kecepatan Drum	Kapasitas Mesin
>70 RPM	<1 kg
70-80 RPM	1-2 kg
60-70 RPM	5-7 kg
52-56 RPM	12 kg
50-54 RPM	15 kg

Penelitian mengenai otomatisasi mesin roasting telah banyak dilakukan, salah satunya dilakukan oleh Ristiawan dan Ariyanto [4]. Mereka melakukan penelitian mengenai otomatisasi pengatur temperature dan waktu pada mesin penyangraai kopi. Perancangan sistem dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega16 yang outputnya ditampilkan pada sebuah LCD, dengan bantuan beberapa alat lain seperti *thermocouple* KMAX6675, elemen panas, dan relai. Cara kerja dari perancangan sistem ini, yaitu dengan memasukkan *set point timer* dan *set point temperature* menggunakan tombol *push button* yang selanjutnya akan diproses oleh mikrokontroler ATmega16. Elemen pemanas akan memanaskan tempat penyangraian. Relai berfungsi untuk mematikan dan menyalakan elemen pemanas ketika temperature telah mencapai *setpoint* yang telah ditentukan sebelumnya, serta berfungsi untuk mematikan seluruh proses penyangraian kopi ketika telah selesai berdasarkan *setpoint timer* yang telah ditentukan. Hasil dari sistem ini akan menghasilkan pembacaan kenaikan dan penurunan temperature yang ditampilkan pada LCD.

Pada penelitian tahun 2018 oleh Sasongko dan Rivai [5] melakukan penelitian mengenai pengendalian temperature pada mesin roasting menggunakan arduino due. Mereka memanfaatkan kompor gas *portable* sebagai alat pemanas dan menggunakan sensor suhu RTD (*Resistance Temperature Detector*) type PT100 yang akan memberikan *feedback* pada sistem kontrol dan akan menggerakkan motor servo sebagai pegatur besar kecilnya nyala api yang digunakan. Arduino due digunakan karena memiliki kecepatan akses data yang cepat, performa yang baik dan efisiensi daya dengan tegangan kerja yang kecil. Penelitian ini dapat menentukan tingkat kematangan biji kopi (*medium roast* dan *dark roast*) berdasarkan nilai temperature akhir dari biji kopi.

Pada penelitian tahun 2015 oleh Jack [6] melakukan penelitian mengenai pembuatan mesin *roasting* dengan memanfaatkan mesin oven yang telah dimodifikasi. Mesin oven tersebut dimodifikasi dengan penambahan drum yang terbuat dari jaring yang diletakan pada bagian dalam mesin oven. Pada mesin oven, dipasang sebuah motor DC disisi samping mesin oven untuk menggerakkan drum, *thermocouple* type-K MAX6675 sebagai sensor temperature, mikrokontroler ATmega328P yang didalamnya terdapat program untuk menjalankan intruksi/perintah sistem, dan elemen pemanas. Penelitian ini akan menghasilkan sebuah mesin *roasting* yang dihasilkan dari modifikasi mesin oven dengan pembacaan temperature, pembacaan kecepatan motor DC dan kendali motor DC yang ditampilkan pada sebuah LCD.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan, Basuki, dan Wulandari [7] melakukan penelitian mengenai pembuatan mesin *roasting* otomatis menggunakan arduino R3, relai, sensor temperature LM35, motor servo, dan mekanisme penggerak 2 batang hubung yang deprogram secara *swap*. Penelitian ini menghasilkan mesin *roasting* otomatis dengan automatisai saluran biji

masuk berdasarkan temperature ruang sangria dan automasi putaran sangria. Sedangkan, untuk automasi saluran keluar biji kopi berdasarkan waktu proses *roasting*. Tujuan dari pembuatan mesin ini adalah untuk proses pengurangan kadar air yang terdapat pada biji kopi.

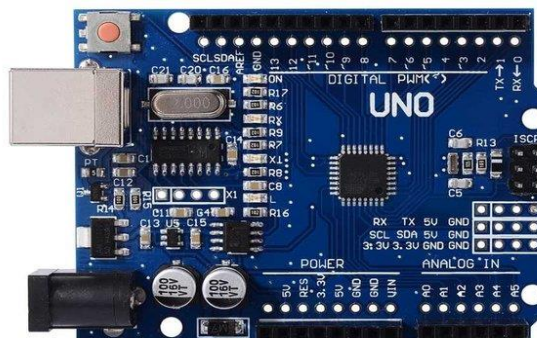
Penelitian [3], [4], [5], [6], dan [7] merupakan penelitian yang berkaitan dengan sistem yang digunakan pada mesin *roasting*. Penelitian yang dilakukan oleh kelimanya belum terdapat monitoring dan kendali terhadap proses *roasting* yang terhubung dengan *software*. Tetapi, dengan adanya penelitian yang dilakukan oleh kelimanya dapat membantu dan menunjang jalannya penelitian mengenai perancangan sistem monitoring dan kendali pada proses *roasting*. Perancangan sebuah modul dibuat berdasarkan dengan beberapa variable yang terdapat pada proses *roasting*. Semua komponen yang terdapat pada modul akan terhubung dengan mesin *roasting* dan PC yang telah terinstal *software* bernama *Artisan Roaster Scoope* yang akan melakukan monitoring dan kendali pada saat proses *roasting*. Modul tersebut nantinya akan bersifat *portable* sehingga nantinya dapat digunakan oleh mesin *roasting* lainnya.

2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 Arduino Nano dan Mikrokontroler ATmega328P

Arduino Nano merupakan *prototype physical computing* berbasis mikrokontroler yang bersifat *open source*. Spesifikasi dari Arduino Nano :

1. Menggunakan mikrokontroler ATmega328P dan ATmega168.
2. Beroperasi pada tegangan 5 Volt.
3. Tegangan Input yang direkomendasikan sebesar 7-12 Volt.
4. Memiliki pin *output* digital I/O berjumlah 14 pin.
5. Memiliki pin *input* analog 8 pin.
6. *Flash memory* yang digunakan 16 KB (ATmega168) dan 32 KB (ATmega328P) dengan 2 KB digunakan oleh *bootloader*.
7. Memori SRAM 1 KB.
8. EEPROM 512 *byte*.



Gambar 2. 1 Struktur Arduino Nano [6]

Mikrokontroler adalah sebuah sistem mikroprosesor yang terdiri dari beberapa bagian yaitu, CPU, *Read Only Memory* (ROM), *Random Access Memory* (RAM), *input-output* yang berupa PIN, *timer*, *interrupt*, dan *Clock* yang terhubung satu sama lain dalam satu *chip*. Untuk dapat menjalankan sebuah mikrokontroler dibutuhkan sebuah program yang berisikan intruksi/perintah untuk menjalankan suatu sistem. Intruksi/perintah tersebut dijalankan secara berurutan sesuai dengan urutan program yang diintruksikan [8].

Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan mikrokontroler ATmega328P yang merupakan jenis mikrokontroler yang menggunakan pemrograman bahasa C dan memiliki 28 pin. Mikrokontroler ATmega328P yang digunakan dapat terintegrasi dengan Arduino Nano, PC/laptop, dan *software Artisan Roaster Scope*.

2.2.2 Artisan Roaster Scope

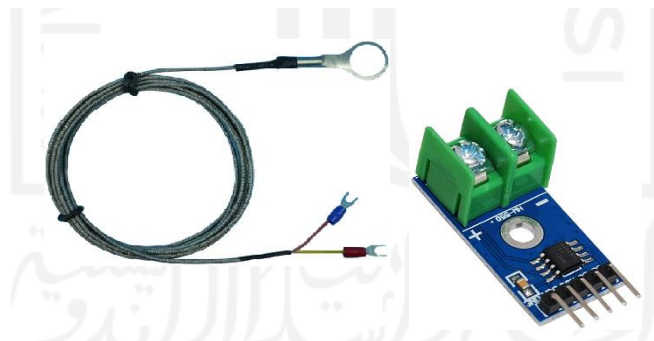
Artisan roaster scope adalah sebuah *software* yang memiliki sifat “*open-source*” yang dapat membantu dalam monitoring proses *roasting* kopi, kendali profil *roasting*, dan analisis proses *roasting*. *Artisan roaster scope* mendukung beberapa variasi kendali *device*, seperti arduino, modbus, meters, PID, Phidgets, dan websocket yang dapat dijadikan input/output dari suatu sistem monitoring dan kendali. Selain itu, *Artisan roaster scope* juga mendukung beberapa variasi modbus protokol diantaranya modbus serial ASCII, serial binary, serial RTU, serial TCP, dan serial UDP [9]. Pada penelitian ini, protokol komunikasi serial yang digunakan yaitu, modbus. Implementasi dari modbus yang digunakan adalah modbus RTU (*Remote Terminal Unit*). Penggunaan serial protokol komunikasi modbus RTU pada penelitian ini digunakan untuk komunikasi antar banyak perangkat dalam satu jaringan dan monitoring terhadap suatu sistem. Komunikasi yang terdapat pada modbus terdiri dari master dan slave. Master bertindak sebagai inisiator untuk memulai komunikasi antar perangkat, sedangkan slave sebagai penerima yang akan menerima perintah dari master. Perintah yang terdapat pada modbus RTU memiliki *register* dan tujuan tersendiri untuk setiap perangkat yang digunakan. Selain itu, perintah dasar modbus RTU dapat memerintahkan peralatan untuk mengubah nilai register, membaca dan mengendalikan input/output, dan memerintahkan perangkat yang digunakan untuk mengirimkan kembali nilai yang terdapat pada register. Pada *Artisan roaster scope* terdapat sistem kendali yang sudah disediakan dalam bentuk tombol (*buttons*) untuk membantu selama proses *roasting*. Kendali yang disediakan berupa tombol *charge*, *dry end (DE)*, *first crack (FC)*, *second crack (SC)*, *drop*, dan *cool end*. Kendali pada tombol digunakan untuk merekam beberapa peristiwa yang terjadi selama proses *roasting* sehingga dapat membantu proses analisis pada hasil *roasting* dengan pembacaan pada grafik.

2.2.3 Thermocouple type-K dan MAX6675

Thermocouple adalah sebuah sensor temperature yang digunakan untuk mengukur dan mendeteksi temperature melalui penggabungan ujung dua jenis logam konduktor berbeda sehingga akan menimbulkan efek *thermo-electric*. Efek *thermo-electric* sendiri akan menghasilkan tegangan listrik yang dihasilkan dari perbedaan panas secara gradient yang dihantarkan pada dua logam konduktor.

Dalam dunia industri kopi, saat melakukan proses *roasting* dibutuhkan temperature hingga 300 °C. Oleh karena itu, digunakan *thermocouple* dengan tipe K sebagai sensor pengukur temperature. Selain itu kelebihan dari *thermocouple* adalah respon pembacaan yang cepat, rentang temperature yang luas, dan tahan terhadap goncangan/getaran. *Thermocouple* type K bekerja pada temperature range 2 °C sampai 1024 °C [6].

MAX6675 dibentuk dari kompensasi *cold-junction* yang outputnya didigitalisasi dari sinyal *thermocouple* type-K. MAX6675 disuplai dengan tegangan antara 3 VDC sampai 5 VDC dan bekerja pada *temperature range* 2 °C sampai 1024 °C. Max6675 digunakan sebagai penguat dan pengiriman data dari analog ke digital yang selanjutnya akan dikirimkan ke arduino melalui komunikasi SPI. MAX6675 memiliki 4 Pin yang terdiri dari VCC, Ground, SCK, CS, dan CO [10].

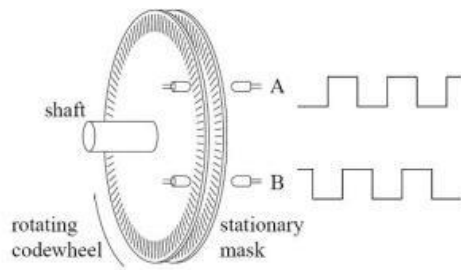


Gambar 2. 2 Thermouple type-K dan MAX6675 [9]

2.2.4 Motor DC RS775 dengan Encoder dan BTS7960

RS775 merupakan jenis motor listrik yang memerlukan tegangan dan arus DC sebagai suplai yang akan mengalir secara langsung melalui *coil* dan mengubahnya menjadi energi mekanik. RS775 25 disuplai oleh tegangan DC sebesar 12 VDC sampai 24 VDC. Pada tegangan 12 VDC kecepatan motor DC RS775 adalah 1500 RPM tanpa beban. Pada penelitian ini, RS775 berfungsi sebagai penggerak pada drum mesin *roasting* yang dikendalikan melalui program yang diupload ke arduino dan akan ditampilkan pada *software* untuk monitoring kecepatan motor (RPM).

Encoder adalah sensor gerak mekanis yang akan menghasilkan sinyal digital sebagai respon terhadap gerakan. Terdapat dua jenis *encoder*, yaitu linear dan *rotary*. Pada penelitian ini, menggunakan jenis *encoder incremental rotary encoder* untuk merespon gerakan rotasi motor. *Incremental rotary encoder* terdiri dari dua sensor yang disebut *channel A* dan *B*. Perputaran poros motor akan menghasilkan serial pulsa pada masing-masing *channel* dengan frekuensi yang sesuai dengan kecepatan motor. Perhitungan jumlah serial pulsa yang terjadi ketika motor berputar akan dapat menentukan jumlah putaran yang dihasilkan. Dengan begitu nilai kecepatan dapat ditentukan [11].



Gambar 2. 3 Incremental Rotary Encoder [10]

BTS7960 adalah sebuah motor *driver* yang memiliki rangkaian komponen utama berupa optoisolator dan *H-bridge*. Rangkaian optoisolator digunakan untuk memisahkan sumber tegangan DC dengan sumber tegangan mikrokontroler dan menghasilkan PWM. Sedangkan Rangkaian *H-bridge* digunakan untuk mengontrol gerak maju dan mundur motor. BTS7960 dapat disuplai oleh tegangan input sebesar 5.5 VDC sampai 27 VDC dengan arus yang dihasilkan dapat mencapai 43 Ampere. BTS7960 memiliki 2 output yang dapat digunakan untuk 2 motor [12].



Gambar 2. 4 BTS 7960 dan Motor DC RS775 dengan Encoder

2.2.5 Solenoid Valve

Solenoid Valve merupakan katup elektronik yang bekerja pada tegangan AC ataupun DC untuk mengontrol cairan atau gas dalam sistem fluida. Solenoid valve memiliki kumparan sebagai penggerak yang berfungsi untuk menggerakkan piston. Dalam dunia industri, solenoid valve banyak digunakan karena memiliki proses *switching* cepat, aman, keandalan tinggi, dan memiliki daya kontrol yang rendah. Prinsip kerja dari solenoid valve yaitu, dengan memberikan *supply* tegangan pada *coil* yang terdapat pada katup listrik. *Coil* tersebut akan menghasilkan medan magnet sehingga akan menggerakkan piston pada bagian dalam solenoid valve. Proses perubahan energi listrik menjadi energi gerak ini yang membuat katup dapat membuka dan menutup sehingga dapat mengendalikan aliran gas yang masuk melalui solenoid valve.



Gambar 2. 5 Solenoid Valve dan Kontroler

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan dengan merancang sebuah modul yang digunakan untuk monitoring dan kendali pada mesin *sample roasting* secara *real time* menggunakan *software Artisan roaster scope*. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Fungsi Pin	
1	Arduino NANO	Digital input (D4-D6)	Input dari pembacaan sensor <i>thermocouple</i> 1 (BT)
		Analog input (A1-A3)	Input dari pembacaan sensor <i>thermocouple</i> 2 (ET)
		Digital input (D2 dan D3)	Input encoder motor DC
		Digital input (D9 dan D13)	Input REN dan LEN modul BTS7960
		Digital input (D10 dan D11)	Input RPWM dan LPWM modul BTS7960
		Digital input (D12)	Input channel relai solenoid valve
		5V dan GND	Power supply sensor
2	Sensor <i>thermocouple type-K</i>	Kabel biru	T+ junction Max6675
		Kabel merah	T- junction Max6675
3	Modul Max6675	SCK	Serial clock input
		CS	Chip select
		SO	Serial data output
		T+ junction	Alumel lead of type K <i>thermocouple</i>
		T- junction	Chromel lead of type K <i>thermocouple</i>
		VCC dan GND	Operating voltage
4	Motor RS775 <i>encoder</i>	Kabel merah	Power supply motor +
		Kabel hitam	Power supply motor -
		Kabel biru	Tegangan 3,3 VDC dari arduino
		Kabel hijau	Ground Arduino
		Kabel putih	Encoder ke arduino
		Kabel kuning	Encoder ke arduino
5	BTS7960	B+	Positif motor <i>power supply</i> (6-27 VDC)
		B-	Negatif motor <i>power supply</i> (Ground)
		M+	Motor output +
		M-	Motor output -
		RPWM	Forward level atau sinyal PWM, <i>active high</i>
		LPWM	Reverse level atau sinyal PWM, <i>active high</i>
		REN	Forward drive enable input, <i>active high/low</i>
		LEN	Reverse drive enable input, <i>active high/low</i>
VCC dan GND	Operating voltage		
6	Relai 1 channel	CH	Digital input arduino

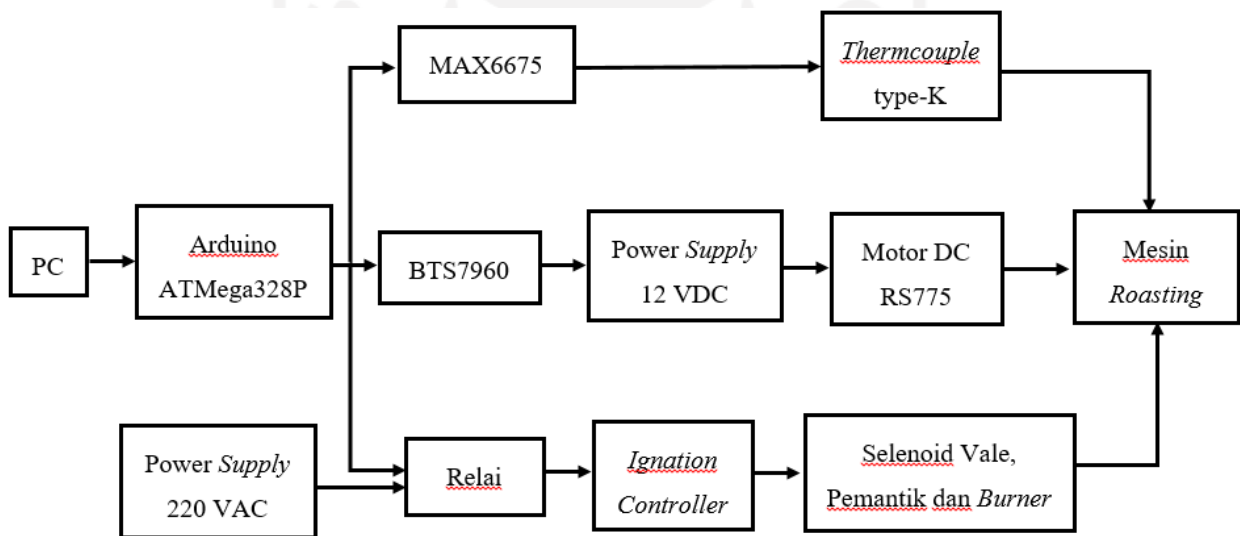
		DC +	Positif <i>power supply</i>
		DC -	Negatif <i>power supply</i>
		NC	220 VAC <i>power supply</i>
		NO	Kontroler solenoid valve
7	<i>Ignition Controller</i>	Kabel hijau	<i>Line 220 VAC dan Relai</i>
		Kabel biru	Netral 220 VAC
		Kabel orange	Solenoid valve
8	Solenoid Valve	-	-
9	Power Suplai 12 VDC	-	-
10	Pemantik dan Burner	-	-

3.2

3.2.1 Desain Sistem

3.2.1 Perancangan Sistem Perangkat Keras

Gambar 3.1 merupakan rancangan sistem perangkat keras yang akan dibuat pada penelitian ini, yaitu dengan merancang sebuah modul yang digunakan untuk monitoring dan kendali proses *roasting*. Diagram blok sistem perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.1.



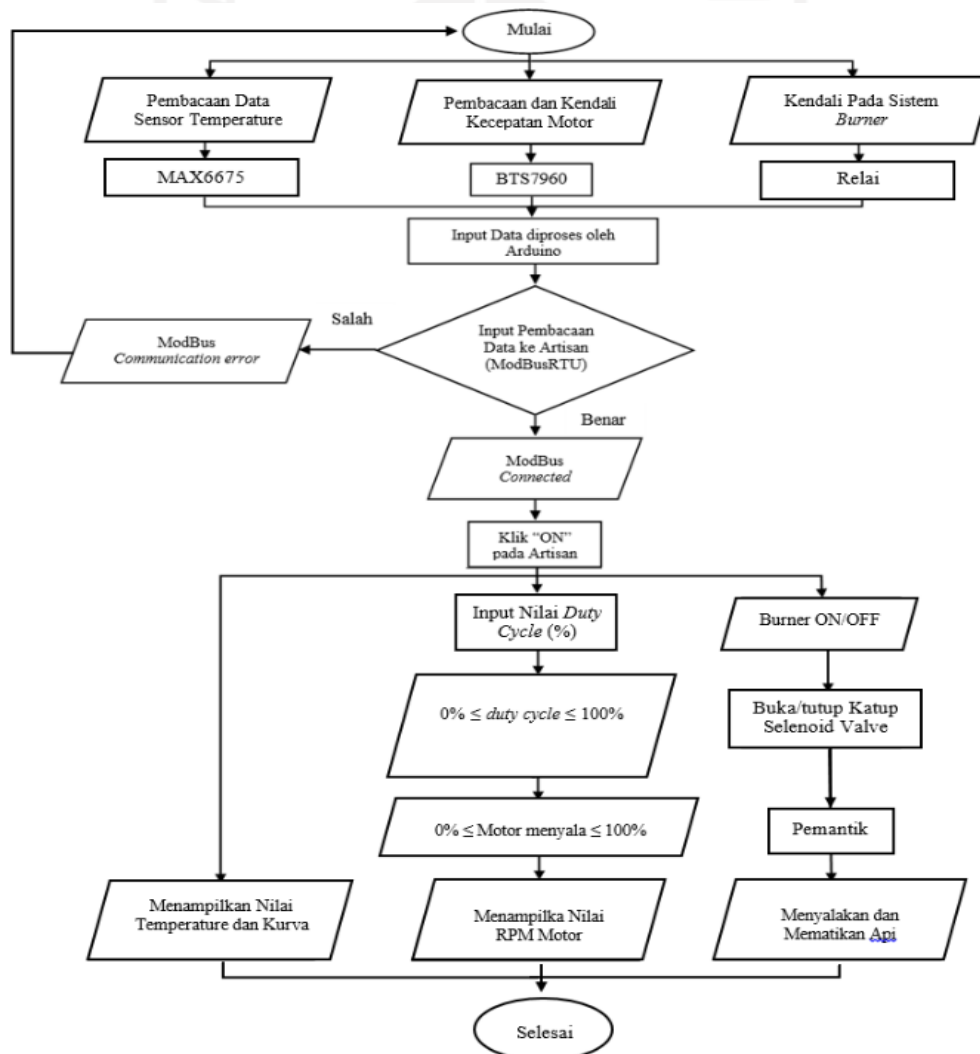
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras

Gambar 3.1 menjelaskan mengenai mekanisme alat yang digunakan pada penelitian ini. Arduino nano menggunakan mikrokontroler ATmega328P disuplai oleh tegangan yang berasal dari PC untuk pengoperasiannya. Sensor yang digunakan pada penelitian ini berupa sensor *thermocouple type-K* yang akan melakukan pembacaan data temperature dari proses *roasting*. Pembacaan data temperature meliputi pembacaan temperature biji kopi/*beans temperature* (BT) dan temperature udara/*environmental temperature* (ET). Sensor *thermocouple type-K* terhubung dengan MAX6675 yang akan mengubah data analog pembacaan temperature ke data digital dan diproses melalui program yang terdapat pada arduino. BTS7960 merupakan sebuah driver yang

digunakan untuk menghasilkan PWM dan terhubung ke motor DC untuk mengendalikan kecepatan motor DC yang digunakan. BTS7960 dan motor DC disuplai oleh tegangan yang berasal dari power suplai 12 VDC. Pembacaan data analog dari kecepatan motor yang dihasilkan akan diproses oleh BTS7960 dan program yang terdapat pada arduino nano. Relai akan terhubung ke power suplai 220 VAC dan arduino nano melalui CH yang digunakan sebagai saklar untuk *ignition controler*. *Ignition controler* akan melakukan kendali terhadap tegangan yang digunakan oleh pemantik dan solenoid valve untuk mengatur buka/tutup katup solenoid valve untuk mengalirkan gas ke sistem *burner*. Semua data akan di proses melalui program yang terdapat pada arduino. Data tersebut akan menjadi input dari *software Artisan scope roaster* untuk monitoring dan kendali pada proses *roasting*.

3.2.2 Perancangan Sistem Perangkat Lunak

Gambar 3.2 merupakan perancangan sistem perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini. Adapun diagram blok sistem perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Perangkat Lunak.

Gambar 3.2 merupakan rancangan sistem perangkat lunak yang digunakan pada penelitian monitoring dan kendali proses *roasting* menggunakan *software* Artisan *roaster scope*. Rancangan sistem dapat berjalan menggunakan program arduino. Protokol komunikasi yang digunakan untuk membaca dan mengontrol data yang berasal dari perangkat yang digunakan adalah modbus RTU. Modbus terkoneksi, jika protokol program komunikasi antara arduino dan modbus benar. “ON” pada artisan akan memulai sistem monitoring dan kendali. Nilai pembacaan temperature, kurva pembacaan temperature, dan nilai kecepatan motor DC akan ditampilkan pada *software*. Perintah kendali digunakan untuk mengatur kecepatan motor dan relai yang berfungsi sebagai saklar untuk *ignation controller* menyalakan pemantik dan buka/tutup katup solenoid valve pada sistem *burner*. Kendali terhadap kecepatan motor DC dilakukan dengan memasukkan nilai *duty cycle* (%) antara 0% sampai 100%. Keadaan motor DC berputar, jika nilai *duty cycle* (%) lebih dari 0%. Keadaan motor DC berputar maksimal, jika nilai *duty cycle* (%) kurang dari sama dengan 100%. Ketika motor DC berputar, nilai kecepatan motor DC (RPM) akan ditampilkan. Kendali terhadap sistem *burner* dilakukan dengan menekan tombol “Burner ON/OFF”. Burner On akan memerintahkan relai untuk mengalirkan tegangan ke *ignation controller* yang selanjutnya tegangan akan dikendalikan oleh *ignation controller* untuk memerintahkan solenoid valve untuk membuka katup untuk mengalirkan gas dan menyalakan pemantik pada sistem *burner*.

3.2.3 Protokol Komunikasi Modbus RTU Pada Artisan *Roaster Scope*

Pada penelitian ini digunakan sebuah *software* bernama Artisan *roaster scope* yang memiliki sifat *open source* dan merupakan *software* yang umum digunakan pada mesin *roasting* di dunia industrial kopi. *Software* Artisan *roaster scope* memiliki variasi protokol komunikasi via modbus untuk komunikasi antar perangkat elektronika. Modbus merupakan standar serial protokol komunikasi untuk menghubungkan peralatan elektronik di bidang industri. Konsep dasar komunikasi modbus RTU terdiri dari master dan *slave*. Setiap perangkat yang dihubungkan melalui *slave* memiliki *register* yang berbeda-beda. Pada penelitian ini, variasi modbus yang digunakan adalah modbus RTU (*Remote Terminal Unit*) yang berfungsi untuk melakukan *reading* (membaca data yang dikirim oleh arduino) dan *writing to register* (mengendalikan perangkat yang terhubung dengan arduino).

3.2.4 Komunikasi Program Arduino dengan Artisan *Roaster Scope*

Komunikasi program arduino dengan *software* Artisan *roaster scope* menggunakan protokol komunikasi modbus RTU. Program tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

```
#include <ModbusRtu.h> // kode program ini digunakan untuk memasukan file library dari modbus RTU.
```

```
uint16_t au16data[16] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -1 }; // kode program ini merupakan register memori yang berjumlah 16 bit yang digunakan sebagai tempat penyimpanan data. Fungsi dari program ini adalah sebagai reading (membaca data yang dikirimkan) dan writing (menulis perubahan nilai data) yang dilakukan oleh modbus.
```

```
au16data[2] = ((uint16_t) temp1);
```

```
au16data[3] = ((uint16_t) temp2);
```

```
au16data[4] = ((uint16_t) rpm);
```

```
// kode program diatas digunakan untuk komunikasi antara perangkat dengan modbus untuk melakukan pembacaan data temperature dari thermocouple type-K 1 dan thermocouple type-K 2, serta pembacaan nilai kecepatan motor DC (RPM) dengan register/alamat yang berbeda untuk setiap perangkat alat yang digunakan.
```

```
spd = map(au16data[1], 0,100, 0, 255);
```

```
long pos = myEnc.read();
```

```
if(au16data[5]>50){
```

```
    digitalWrite(13, HIGH);
```

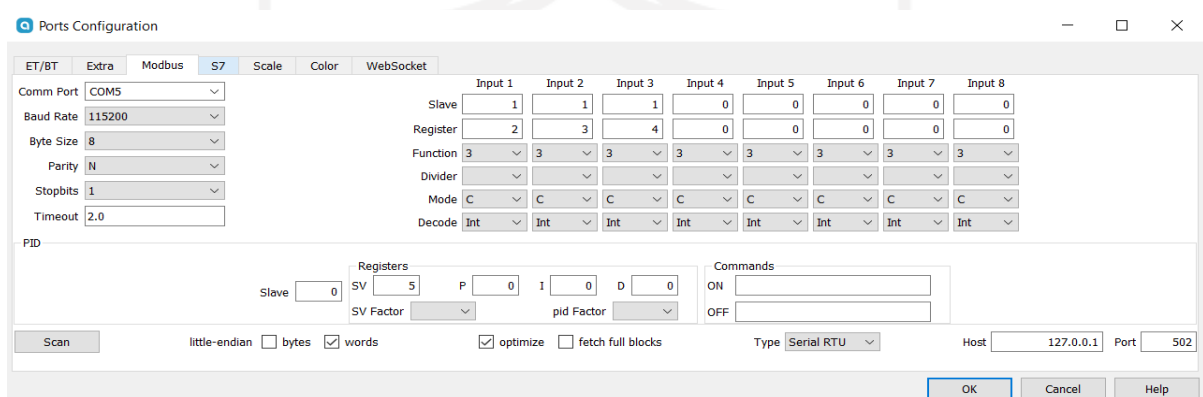
```
}
```

```
else{
```

```
    digitalWrite(13, LOW);
```

```
//kode program diatas digunakan untuk komunikasi antara perangkat dengan modbus untuk melakukan kendali terhadap kecepatan motor DC dan relai dengan memasukan nilai ke register/alamat yang berbeda untuk setiap perangkat. Kendali terhadap kecepatan motor DC dilakukan dengan membaca putaran rotary encoder yang terhubung dengan poros motor DC. Nilai 0-100 merupakan nilai duty cycle yang dikendalikan dengan nilai PWM yang dihasilkan arduino 0-255. Sedangkan, kendali untuk sistem burner dilakukan dengan memberi nilai lebih dari 50 pada relai yang berfungsi sebagai saklar untuk aktif.
```

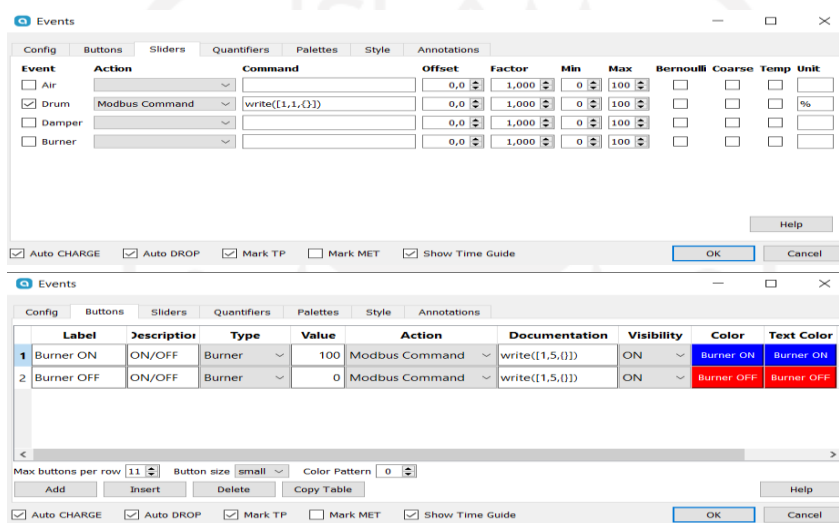
3.2.5 Reading Register dan Writing to Register



Gambar 3. 3 Reading register pada Artisan Roaster Scope.

Gambar 3.3 merupakan *reading register* pada software *Artisan roaster scope* melalui protokol komunikasi modbus yang berfungsi untuk melakukan pembacaan perubahan nilai yang muncul dari alat yang digunakan untuk ditampilkan pada *Artisan roaster scope*. Menu tersebut terdapat pada bagian *port configuration*. Pada bagian *common port*, dipilih COM5 sebagai input

dari perangkat yang digunakan, yaitu arduino. Arduino terkoneksi ke *software* Artisan roaster scope melalui USB. Pada bagian input 1, input 2, dan input 3 terdapat *slave*, *register*, dan *function* yang berfungsi sebagai input pembacaan data dari perangkat alat yang digunakan. Perangkat yang bertindak sebagai *slave* adalah arduino, sehingga pada bagian *slave* bernilai 1, karena arduino yang digunakan berjumlah satu. Pada bagian input 1 dan input 2, *register*/alamat memiliki nilai 2 dan 3 yang ditujukan untuk pembacaan *register*/alamat dari data pembacaan nilai temperature. Pada bagian input 3, *register* memiliki nilai 4 yang ditujukan untuk pembacaan *register*/alamat dari data pembacaan nilai kecepatan motor DC (RPM). *Function* yang digunakan pada protokol komunikasi modbus RTU adalah 3 yang berfungsi sebagai *holding register* yang dapat digunakan untuk melakukan *reading* (pembacaan data) dan *writing* (memasukkan nilai perubahan data) ke perangkat yang digunakan melalui modbus.



Gambar 3. 4 *Writing to register* pada Artisan Roaster Scope.

Gambar 3.4 merupakan *writing to register* pada Artisan roaster scope melalui protokol komunikasi modbus yang berfungsi sebagai input untuk menulis perubahan nilai ke dalam *register* perangkat sehingga perangkat dapat dikendalikan sesuai dengan perintah yang diinginkan melalui protokol komunikasi modbus. Sistem perubahan nilai dan kendali yang dilakukan pada Artisan roaster scope terdapat pada bagian *event*, yaitu *buttons* dan *sliders*. Penentuan nilai input untuk sistem kendali dilakukan dengan standar penulisan yang terdapat pada Artisan roaster scope bagian *command*, yaitu *write*([1,1,{ }]) yang memiliki arti *write*([*slave*,*register*,*value*]).

3.3 Pengujian Alat

3.3.1 Proses Kalibrasi

Kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran terhadap peralatan yang digunakan dengan pengukuran peralatan berstandar industri sehingga dapat diketahui besaran nilai *error* pada peralatan yang digunakan. Kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari kalibrasi sensor temperature *thermocouple type-K* dengan *driver* yang digunakan adalah MAX6675 dan kalibrasi menentukan nilai kecepatan motor. Kalibrasi sensor temperature dilakukan dengan membandingkan *thermocouple type-K* dengan *infrared thermometer* tipe 62 Max merek Fluke berstandar industri. Alat ukur berstandar tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 *Infrared Thermometer*

Proses kalibrasi sensor temperature dilakukan dengan pengukuran temperature air normal dan temperature air mendidih dengan menggunakan *thermocouple type-K* dan alat ukur temperature standar industri. Proses pengukuran dilakukan dengan mengambil 11 sampel dengan rentang temperature yang diukur dari 27° C- 80° C dengan selisih temperature yang diukur setiap kenaikan 5° C. Hasil dari kalibrasi pengukuran temperature dilakukan dengan membandingkan nilai temperature yang diukur oleh *thermocouple type-K* dan alat ukur standar industri yang selanjutnya akan ditentukan nilai persentase *error*. Perhitungan nilai persentase *error* dapat ditentukan dengan Persamaan 3.1 berikut.

$$error (\%) = \left| \frac{T_r - T_m}{T_r} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan :

T_r = hasil pengukuran temperature alat ukur standar industri.

T_m = hasil pengukuran temperature *thermocouple type-K*.

Kalibrasi kecepatan motor yang dilakukan meliputi pengaturan nilai kecepatan motor DC melalui sebuah program, sistem kendali melalui *sliders*, dan monitoring nilai kecepatan motor

(RPM). Pengaturan nilai kecepatan motor (RPM) yang dilakukan dengan menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*) yang merupakan sebuah metode untuk memanipulasi lebar sinyal digital dalam 1 periode untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Metode PWM ini dilakukan dengan merubah nilai *duty cycle* (%) untuk mendapatkan kecepatan motor DC yang diinginkan, semakin besar nilai *duty cycle*, maka semakin cepat kecepatan motor berputar, begitu juga sebaliknya. Pengaturan nilai kecepatan motor DC dilakukan dengan pembuatan program menggunakan *software* arduino yang akan mengirimkan nilai PWM ke *driver* BTS7960 dan dilanjutkan ke motor DC. Berikut program yang digunakan oleh *driver* BTS7960 ke arduino untuk pembacaan kecepatan motor DC dan kendali kecepatan motor DC.

```

int REN = 9;
int LEN = 11;
int RPWM = 10;
int LPWM = 12;
spd = map(au16data[1], 0,100, 0, 255); //
digitalWrite(12, HIGH);
digitalWrite(9,HIGH);
analogWrite(10,0);
analogWrite(11,spd);
long pos = myEnc.read();
//cek jika waktu telah berlalu sebanyak intv (times adalah waktu saat ini, earlier adalah waktu
saat
if (times - earlier >= intv){
    //hitung rpm dengan rumus: RPM =((pos - oldpos)/(nilai encoder per putaran))*(60/intv)
    intpos = pos - oldpos;
    rot = intpos/50;
    rps = rot;
    rpm = rps*60;
    earlier = times;
    oldpos = pos;
    //kirim nilai rpm melalui modbus
    au16data[4] = ((uint16_t) rpm);

```

Fungsi dari BTS7960 ini adalah mengontrol keluaran nilai PWM hasil dari program arduino yang terdapat pada mikrokontroler. Program arduino yang dibuat akan melakukan pembacaan dengan rentang PWM yang dihasilkan adalah 0-255 dengan perubahan *duty cycle* 0%-100%. Sistem kendali kecepatan motor DC dilakukan dengan mengubah nilai *duty cycle* yang akan dilakukan di *software* Artisan *roaster scope*. Selanjutnya, nilai dari kecepatan motor (RPM) akan dihasilkan dari pembacaan rotasi motor DC melalui *rotary encoder* yang digunakan dan akan

diubah menjadi kecepatan motor DC (RPM) oleh program arduino serta nilai RPM akan ditampilkan pada *software Artisan roaster scope*. Motor DC RS775 dan drum dihubungkan menggunakan kopel. Kalibrasi kecepatan motor DC meliputi kalibrasi motor DC tanpa beban dan kalibrasi motor DC dengan beban drum 3 Kg dan biji kopi 80 gram. Perhitungan nilai persentase *error* dapat ditentukan pada Persamaan 3.2.

$$\Delta V (\%) = \left| \frac{N_s - N}{N_s} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

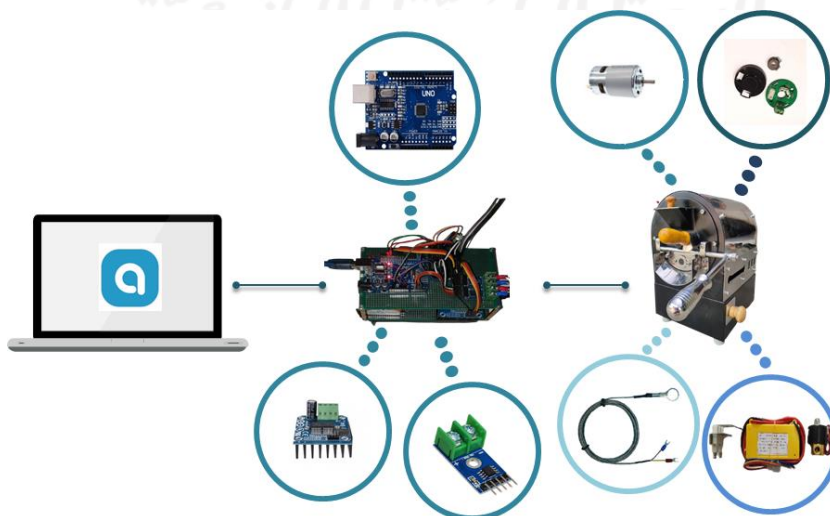
Keterangan : N_s = hasil pembacaan kecepatan motor tachometer (RPM)

N = hasil pembacaan kecepatan motor (RPM)

3.3.2 Analisis Kalibrasi

Analisis kalibrasi yang dilakukan yaitu dengan membandingkan pembacaan nilai temperature yang dilakukan *thermocouple type-K* dengan pembacaan temperature yang dilakukan oleh *infrared thermometer* sebagai alat pengukur temperature terstandarisasi. Nilai dari pembacaan *temperature infrared thermometer* dianggap sebagai nilai absolut. Analisis yang dilakukan meliputi perhitungan nilai selisih pembacaan temperature dan perhitungan persentase nilai *error* yang dihitung dari Persamaan 3.1. Analisis kalibrasi kecepatan motor dilakukan dengan membandingkan pembacaan data kecepatan motor DC dengan pembacaan kecepatan motor yang dilakukan oleh tachometer sebagai alat ukur kecepatan motor terstandarisasi. Nilai dari pembacaan kecepatan motor yang dilakukan oleh tachometer dianggap sebagai nilai absolut. Analisis yang dilakukan meliputi pengukuran tegangan yang dihasilkan oleh BTS7960 dengan kecepatan motor DC, perhitungan selisih pembacaan kecepatan motor yang ditampilkan pada PC dengan pembacaan kecepatan motor oleh tachometer, dan perhitungan nilai persentase *error* yang dihitung dari Persamaan 3.2.

3.4 Objek Penelitian



Gambar 3. 6 Perancangan Sistem

Gambar 3.6 merupakan perancangan sistem alat pada penelitian yang dilakukan. Pada PC akan terinstal *software Artisan roaster scope*. PC akan terhubung dengan modul melalui *USB port* dan sebagai sumber tegangan modul. Pada modul terdapat arduino ATmega328P, BTS7960, dan MAX6675. Modul juga akan terhubung dengan mesin *roasting* yang telah terpasang sensor temperature *thermocouple type K*, motor DC, dan sistem *burner*. Sistem monitoring yang terdapat pada *software Artisan scope roaster* akan menampilkan nilai temperature yang terukur, kurva pembacaan nilai temperature, dan nilai kecepatan motor DC (RPM). Sedangkan, sistem kendali dilakukan terhadap pengendalian kecepatan motor DC melalui *slider* dan pengendalian terhadap solenoid valve dan pemantik pada sistem *burner* melalui tombol yang terdapat pada *software Artisan roaster scope*. Penyampungan *roasting* biji kopi akan dilakukan sebanyak 11 kali, dengan menggunakan biji kopi yang memiliki karakteristik yang sama. Proses pengambilan data berlangsung selama kurang lebih 10 menit.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

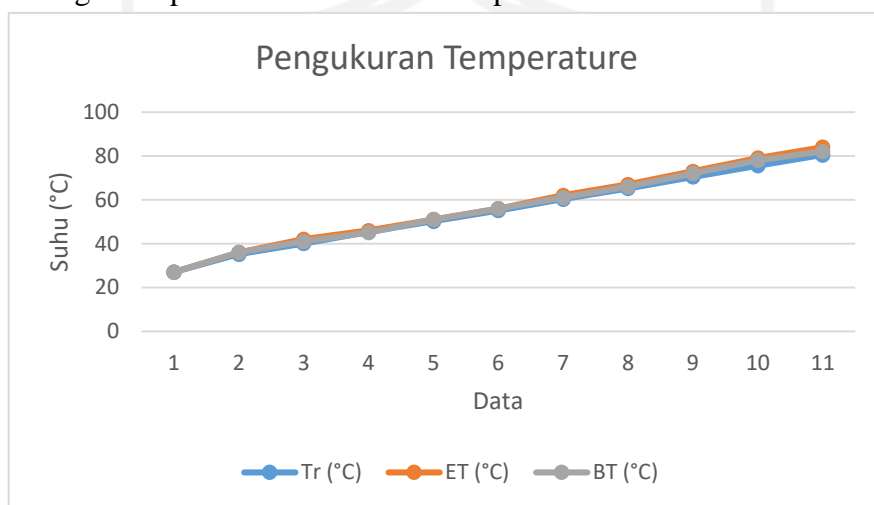
4.1 Hasil Pengujian Sensor Temperature

Berikut adalah Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4 merupakan kegiatan pengambilan data kalibrasi sensor temperature dengan membandingkan pengukuran temperature yang dilakukan oleh *thermocouple type-K* dan alat ukur temperature standar industri (*infrared thermometer*). Proses pengujian sensor temperature dapat dilihat pada Gambar 4.1.



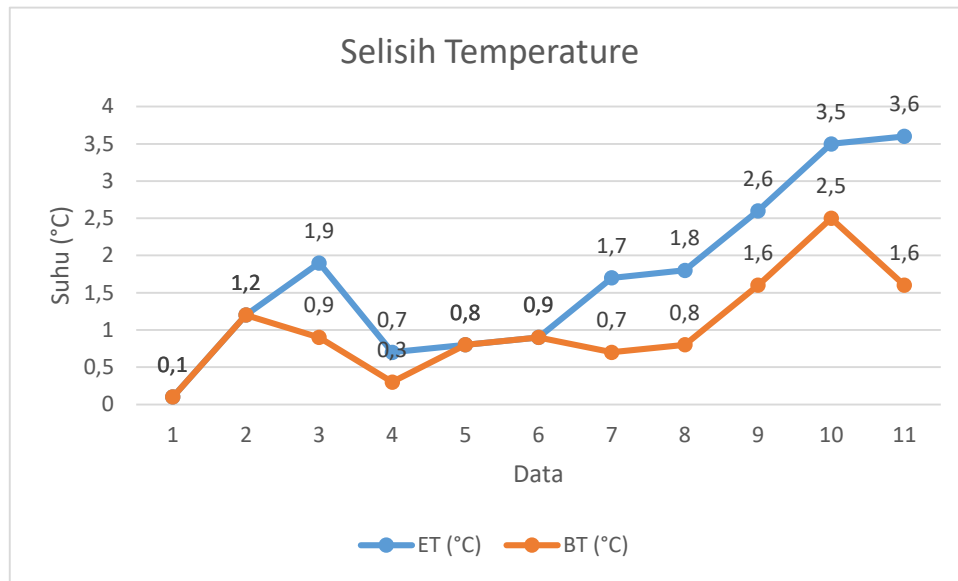
Gambar 4. 1 Kegiatan Pengujian Proses Kalibrasi Sensor Temperatur

Gambar 4.1 merupakan kegiatan yang dilakukan selama proses kalibrasi temperature, yaitu dengan melakukan pengambilan data yang berjumlah 11 data. Proses pengambilan data dilakukan dengan memanaskan air dari temperatur normal hingga temperatur mendidih, yaitu dengan rentang temperature yang diukur antara 27°C - 80°C dengan kenaikan temperature untuk setiap pengukuran adalah 5°C . Proses pengukuran temperature dengan cara memanaskan air diasumsikan sebagai pembacaan pengukuran temperature pada proses *roasting*, karena pada proses *roasting* juga mengalami pembacaan kenaikan temperature.



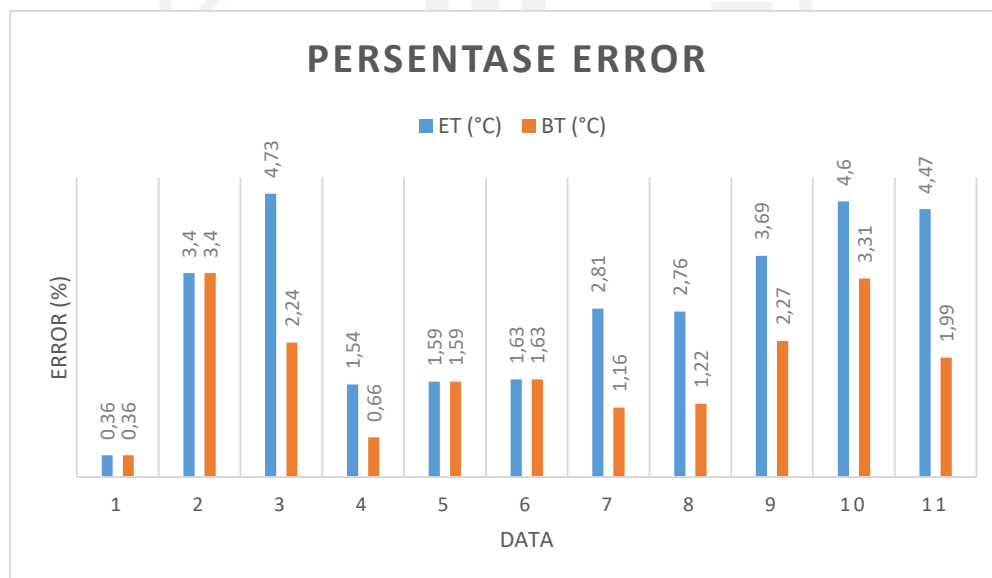
Gambar 4. 2 Data Pengukuran Temperature

Gambar 4.2 merupakan hasil kalibrasi pengukuran temperature dengan menggunakan *thermocouple type-K* yang berjumlah 2 buah (ET dan BT) dan alat ukur temperature standar industri (*infrared thermometer*) sebagai pembanding.



Gambar 4. 3 Data Selisih Temperature

Gambar 4.3 menunjukkan hasil selisih pengukuran temperature yang dilakukan oleh *thermocouple type-K* (ET dan BT) dengan *infrared thermometer*. Hasil selisih yang didapat dari pengukuran nilai temperature tersebut rata-rata memiliki nilai yang kecil. Hal ini telah membuktikan bahwa pengukuran nilai temperature yang dilakukan oleh *thermocouple type-K* memiliki akurasi nilai yang tinggi, yaitu dengan selisih rata-rata nilai pengukuran yang dilakukan kurang dari 4 ° C.

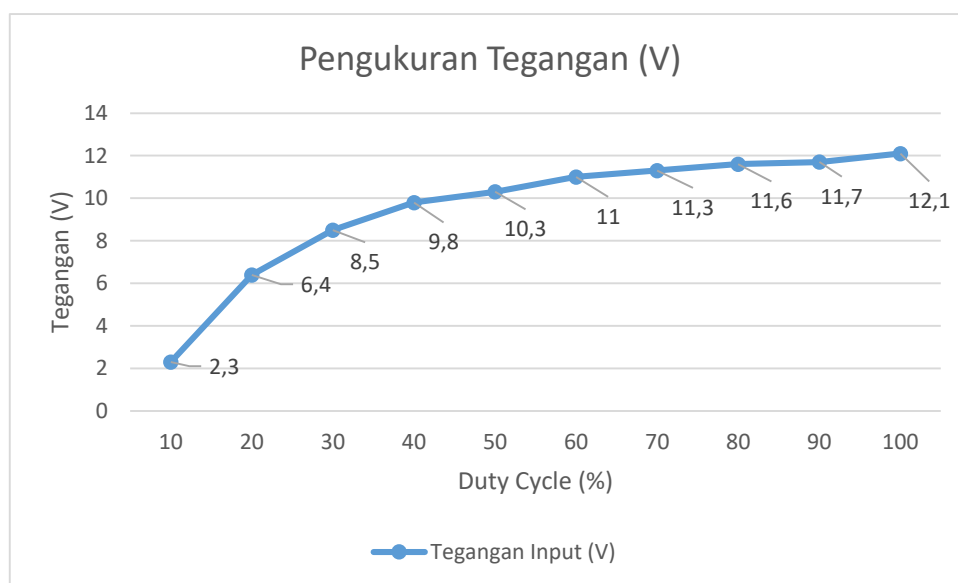


Gambar 4.4 menunjukkan hasil persentase *error* yang dihasilkan dari proses kalibrasi sensor temperature yang dilakukan oleh *thermocouple type-K* (ET dan BT) dengan *infrared thermometer* yang dihitung dari Persamaan 3.1. Hasil yang didapatkan dari proses kalibrasi temperature rata-rata memiliki nilai persentase *error* yang dihitung dari Persamaan 3.1 yaitu kurang dari 5%.

Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4 merupakan hasil kalibrasi dari sensor temperature *thermocouple type-K* dengan *infrared thermometer*. Tujuan dari kalibrasi ini adalah mendapatkan selisih nilai temperature antara *thermocouple type-K* dengan *infrared thermometer* yang selanjutnya akan dihitung nilai persentase *error* yang dihitung dari persamaan 3.1.

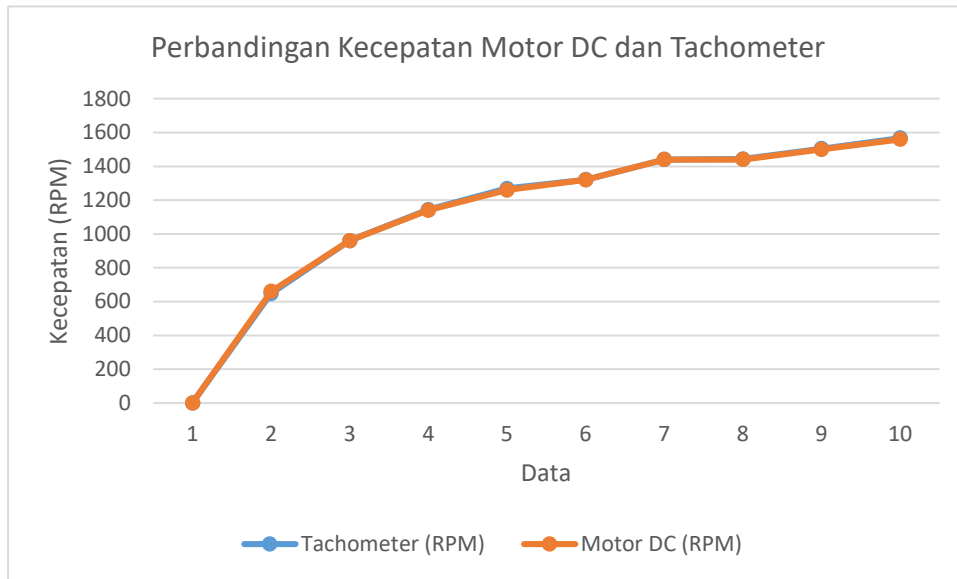
4.2 Hasil Pengukuran Kecepatan Motor

Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7 merupakan hasil pengukuran kecepatan motor DC RS775 (RPM) tanpa beban yang ditampilkan pada *software Artisan roaster scope* melalui pembacaan rotasi oleh encoder yang dibandingkan dengan pembacaan kecepatan motor DC (RPM) oleh tachometer. Hasil dari pengukuran yang didapatkan sebagai berikut :



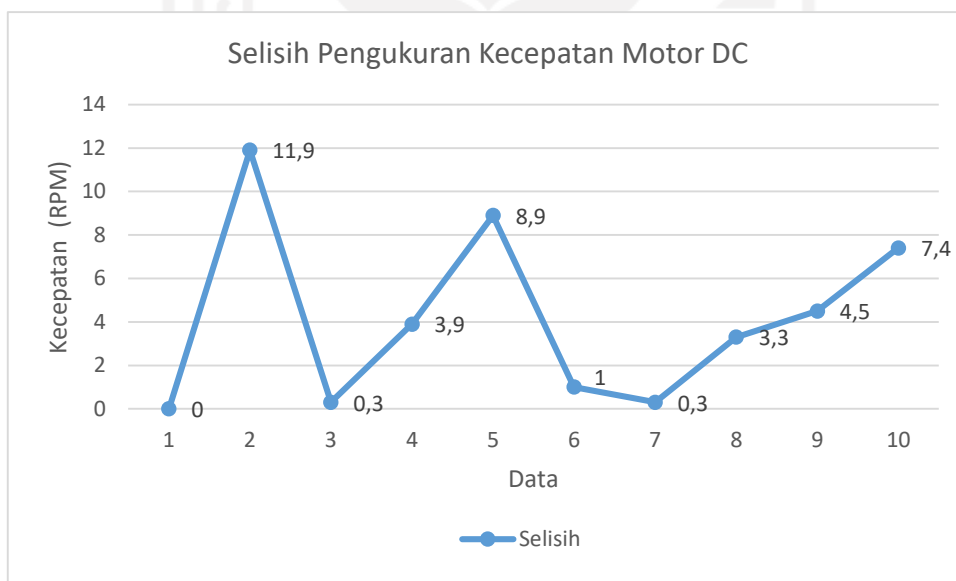
Gambar 4. 5 Pengukuran Tegangan (V)

Gambar 4.5 merupakan hasil dari pengukuran tegangan pada motor DC RS775 tanpa beban dengan nilai *duty cycle* (%) yang dikendalikan melalui *software Artisan roaster scope*. *Duty cycle* memiliki rentang 0%-100% dengan nilai PWM yang dihasilkan oleh arduino adalah 0-255. Hasil yang didapatkan dari pengukuran tegangan ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai *duty cycle*, maka semakin tinggi suplai tegangan yang diberikan ke motor DC



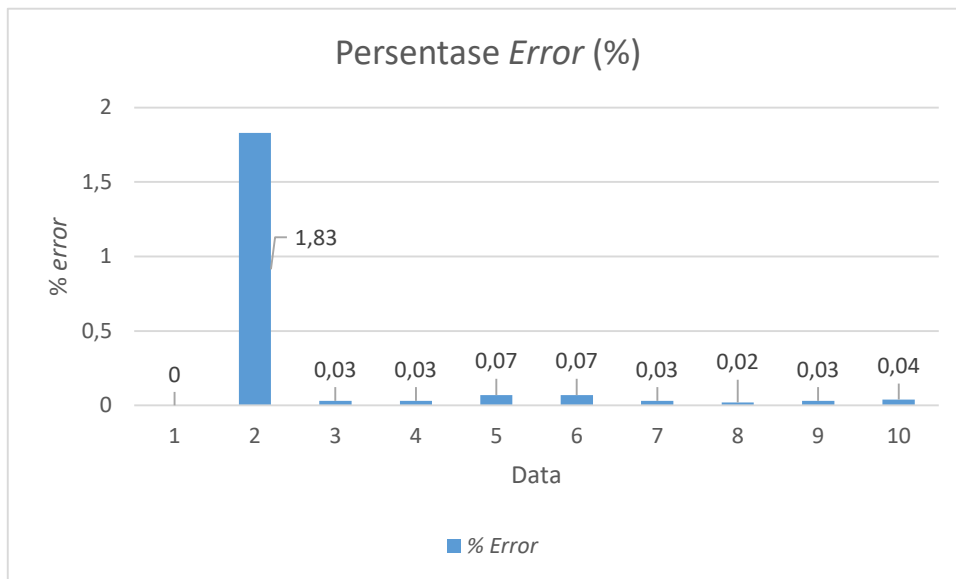
Gambar 4. 6 Perbandingan Kecepatan Motor DC dan Tachometer tanpa Beban

Gambar 4.6 merupakan hasil dari perbandingan pengukuran kecepatan motor DC RS775 tanpa beban dengan tachometer. Nilai pembacaan kecepatan motor DC yang dilakukan oleh tachometer diasumsikan sebagai nilai absolut dan dapat dilihat pada Gambar 4.6, nilai pembacaan kecepatan motor DC yang ditampilkan pada proses monitoring menunjukkan nilai yang mendekati dengan nilai pembacaan kecepatan motor DC yang dilakukan oleh tachometer, sehingga dapat disimpulkan bahwa program dari pembacaan kecepatan motor DC benar.



Gambar 4. 7 Selisih Pengukuran Kecepatan Motor DC dan Tachometer tanpa Beban

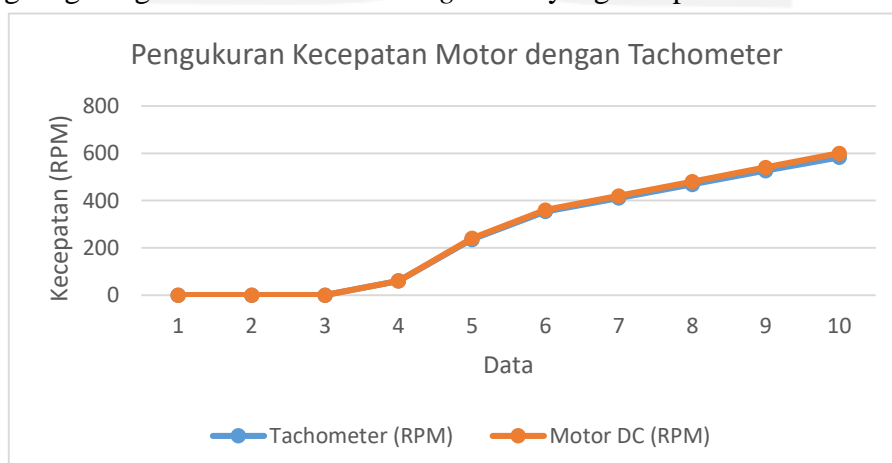
Gambar 4.7 merupakan hasil selisih dari pengukuran motor DC RS775 tanpa beban dengan tachometer. Hasil yang didapatkan dari percobaan ini terdapat nilai tertinggi, yaitu 11,9 pada nilai *duty cycle* 20% dengan tegangan yang diberikan ke motor DC 6,4 VDC. Hal ini dikarenakan tegangan yang diberikan ke motor DC meningkat secara signifikan dari 2.3 VDC ke 6,4 VDC.



Gambar 4. 8 Persentase *Error* (%) Kecepatan Motor DC Tanpa Beban

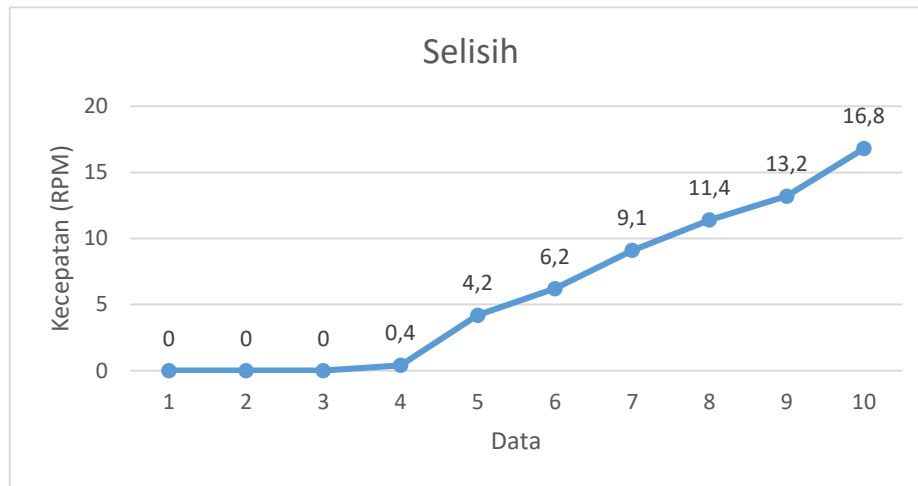
Gambar 4.8 merupakan persentase *error* (%) yang dihasilkan dari perhitungan nilai selisih pembacaan kecepatan motor DC antara program pembacaan kecepatan motor DC dengan pembacaan nilai kecepatan motor DC yang dilakukan oleh tachometer. Perhitungan nilai persentase *error* didapatkan dari rumus yang terdapat pada Persamaan 3.2. Nilai persentase *error* tertinggi ditujukan pada data ke 2, yaitu sebesar 1.83%. Hal ini dikarenakan selisih yang didapatkan memiliki nilai selisih tertinggi, yaitu 11,9 yang terjadi karena tegangan yang diberikan ke motor DC meningkat secara signifikan.

Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11 merupakan hasil perbandingan kecepatan motor DC RS775 (RPM) dengan tachometer dengan beban drum 3 Kg dan biji kopi 80 gram. Motor DC dikopel langsung dengan drum mesin *roasting*. Hasil yang didapatkan adalah



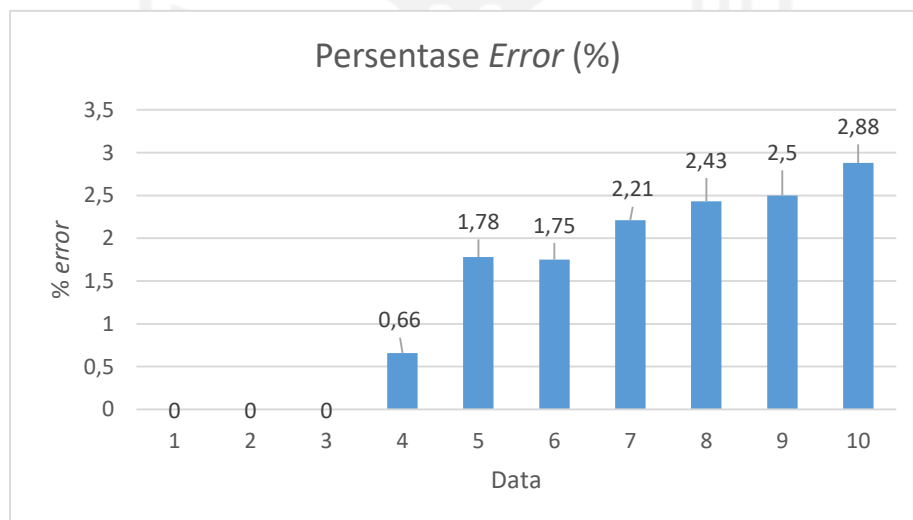
Gambar 4. 9 Perbandingan Kecepatan Motor DC dan Tachometer dengan Beban

Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan kecepatan motor DC RS775 dan tachometer dengan beban drum 3 Kg dan biji kopi 80 Gram. Hasil yang didapatkan pada percobaan ini adalah motor DC berputar ketika nilai dari *duty cycle* 40% yang menghasilkan kecepatan motor DC 60,4 RPM. Hal ini dikarenakan tegangan yang diberikan ke motor DC belum mampu untuk menghasilkan torsi yang besar untuk memutar beban.



Gambar 4. 10 Selisih Pengukuran Kecepatan Motor DC dengan Beban

Gambar 4.10 menunjukkan selisih pengukuran kecepatan Motor DC RS775 dan tachometer dengan beban drum 3 Kg dan biji kopi 80 Gram. Hasil selisih yang didapatkan dari pengukuran kecepatan motor DC dengan tachometer, memiliki rata-rata nilai yang tidak terlalu jauh, sehingga mengindikasikan bahwa kecepatan motor DC yang dihasilkan memiliki nilai akurasi tinggi.



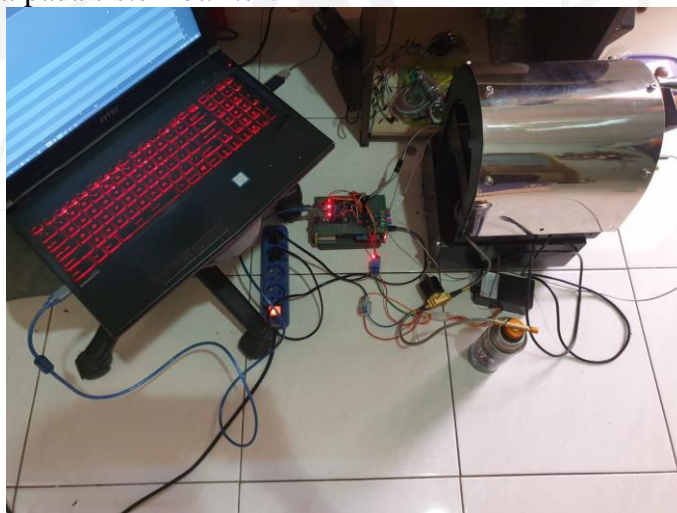
Gambar 4. 11 Persentase *Error* (%) Kecepatan Motor DC dengan Beban

Gambar 4.11 merupakan persentase *error* dari pengukuran kecepatan Motor DC dengan beban. Hasil perhitungan persentase *error* didapatkan dari perhitungan selisih pembacaan kecepatan motor DC yang dilakukan oleh program dan pembacaan kecepatan motor DC oleh tachometer yang dimasukkan ke dalam rumus Persamaan 3.2

Motor DC RS775 yang digunakan disuplai oleh tegangan 12 VDC dengan kontrol perubahan nilai *duty cycle* (%) yang dilakukan pada *software Artisan roaster scope* yang memiliki nilai rentang 0% - 100%. Tujuan dari kalibrasi pengukuran motor DC adalah mendapatkan nilai selisih kecepatan motor DC RS775 dengan tachometer. Dari hasil pengujian terhadap pengukuran kecepatan motor DC tanpa beban dan dengan beban memiliki nilai akurasi tinggi, hal ini dikarenakan nilai yang dihasilkan memiliki selisih nilai yang tidak terlalu jauh dengan tachometer.

4.3 Hasil Pengujian Perancangan Alat

Pengujian perancangan alat dilakukan seperti Gambar 4.12, dimana pengujian yang dilakukan meliputi pengujian rancangan alat dengan menghubungkan PC, modul *digital roaster scope*, dan mesin *roasting*. Pada PC akan terinstal *software Artisan roaster scope*. PC terhubung dengan arduino yang terdapat pada modul melalui USB *port* untuk melakukan komunikasi antar perangkat dan sebagai sumber tegangan untuk arduino. Pada modul *digital roaster scope* terdapat MAX6675, BTS7960, power suplai 12 VDC, power suplai 220 VAC, dan relai. Pada bagian depan mesin *roasting* terdapat 2 sensor *thermocouple type-K* yang digunakan untuk melakukan pembacaan pengukuran temperatur biji kopi dan temperatur drum. Pada bagian belakang mesin *roasting* terdapat motor DC dengan *encoder* yang digunakan untuk menggerakkan drum mesin *roasting*. Pada bagian bawah mesin *roasting* terdapat *ignation controller*, solenoid valve, dan *burner* untuk sistem pengapian. Sensor *thermocouple type-K* dihubungkan dengan MAX6675 yang terdapat pada modul, sedangkan motor DC RS775 dengan encoder dihubungkan dengan *driver* BTS7960 dan power suplai 12 VDC yang terdapat pada modul. *Ignation controller* dan solenoid valve akan terhubung dengan relai yang terdapat pada modul dan terhubung dengan pemantik yang terdapat pada sistem *burner*.



Gambar 4. 12 Modul Terhubung dengan Mesin Roasting dan PC

Setelah modul terhubung dengan mesin *roasting* dan *software Artisan roaster Scope*, monitoring dapat dilakukan dengan melihat nilai pembacaan sensor suhu, melihat grafik perubahan

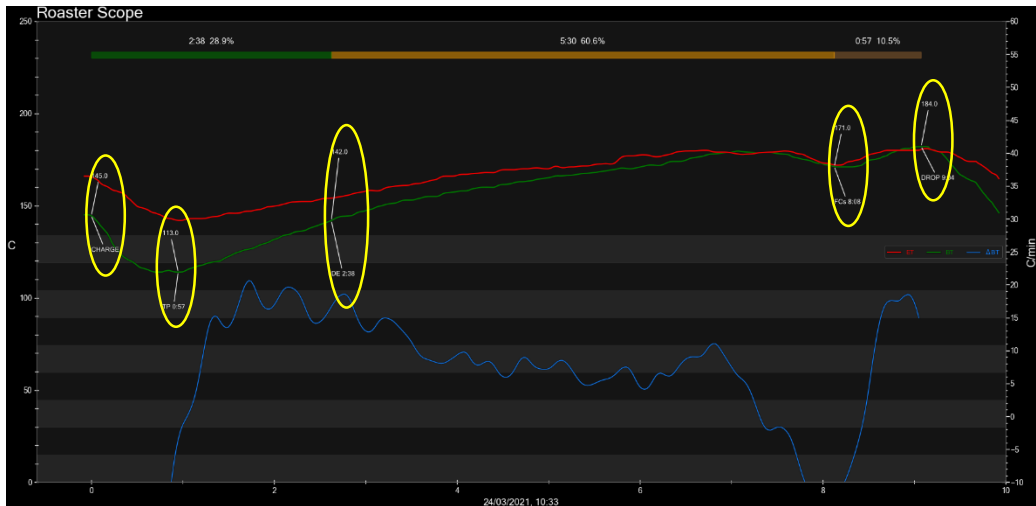
nilai suhu, dan nilai kecepatan motor DC. Kendali terhadap motor DC dilakukan dengan memberikan nilai *duty cycle* (%) untuk motor DC yang dapat dikendalikan melalui *slider* yang terdapat pada *software*, sedangkan untuk sistem pengapian dilakukan dengan menyalakan dan mematikan *buttons* ON/OFF. Contoh tampilan monitoring dan kendali terhadap pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Tampilan Monitoring dan Kendali Pada Software

Sesuai dengan diagram blok sistem perancangan yang dapat dilihat pada Gambar 3.4, modul akan terhubung ke *software* jika terdapat tulisan “Modbus *connected*” yang terletak di sudut kiri pada tampilan *software*. Klik “ON” pada *software* akan menjalankan perintah untuk melakukan monitoring terhadap pembacaan nilai suhu. Kendali terhadap kecepatan motor dilakukan ketika nilai *duty cycle* lebih dari 0%. Motor DC akan memutar drum mesin *roasting* ketika nilai dari *duty cycle* yang dikendalikan melalui *slider* lebih dari 30%. Hal ini dikarenakan, daya yang disuplai ke motor DC belum mampu untuk menggerakkan drum mesin *roasting* ketika nilai *duty cycle* dibawah 30%. Hal ini sesuai dengan Gambar 4.8 mengenai pengukuran kecepatan motor DC dengan beban. Kendali juga dilakukan terhadap sistem *burner* dengan klik “Burner ON/Burner OFF” pada bagian bawah tampilan *software* yang berfungsi untuk memberikan nilai tegangan pada solenoid valve untuk membuka katup dan *ignation controller* untuk menyalakan pemantik yang terletak pada bawah drum.

Hasil pengujian terhadap modul dilakukan dengan penyamplangan *roasting* biji kopi sebanyak 11 kali. Proses penyamplangan *roasting* biji kopi dilakukan dengan *meroasting* 3 jenis biji kopi yang berbeda asal daerahnya dengan proses pasca panen natural. Contoh hasil monitoring, kendali, dan jejak rekam *roasting* sampel biji kopi dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Tabel 4.1.



Gambar 4. 14 Contoh Hasil Monitoring dan Kendali Penyamplangan *Roasting* Biji Kopi

Gambar 4.14 merupakan contoh hasil monitoring dan kendali penyamplangan *roasting* biji kopi. Monitoring dilakukan terhadap perubahan nilai temperature yang ditampilkan dalam bentuk kurva. Kurva dengan warna merah merupakan pembacaan nilai temperature drum yang disimbolkan dalam ET (*Environmetal Temperature*) dan kurva dengan warna hijau merupakan pembacaan nilai temperature biji kopi yang disimbolkan dalam BT (*Beans Temperature*). Kurva biru merupakan ΔBT yang merupakan RoR (*Rate of Rise*) yang didapatkan dari hasil perubahan nilai BT (*Beans Temperature*) pada setiap detik selama proses *roasting*. Sedangkan untuk tanda lingkaran kuning merupakan peristiwa yang terjadi selama proses *roasting*. Peristiwa ini direkam selama proses *roasting* berlangsung dengan menekan tombol yang sesuai dengan peristiwa yang terjadi selama proses *roasting*. Tombol peristiwa ini meliputi tombol *charge*, *dry end*, *first crack*, *second crack*, dan *drop* yang merupakan tombol *default* yang telah tersedia pada *software*. Tabel 4.1 merupakan jejak rekam data yang dilakukan selama proses penyamplangan *roasting* biji kopi yang terdapat pada *software* *Artisan roaster scope*. Tujuan dari jejak rekam data ini adalah mencatat seluruh proses yang dilakukan seorang *roaster*, sehingga seorang *roaster* dapat melakukan proses analisa untuk menentukan tingkat keberhasilan atau kegagalan selama proses penyamplangan *roasting* dilakukan. Berikut tabel jejak rekam data yang dihasilkan dari proses penyampling *roasting* biji kopi.

Tabel 4. 1 Jejak Rekam Data Proses Penyamplangan Roasting Biji Kopi

Time	ET	BT	Description	Type	Value (%)
00:03	164.0C	141.0C		Drum	30
00:08	161.0C	137.0C	37%	Drum	37
01:51	147.0C	129.0C	38%	Drum	38
02:41	154.0C	144.0C	35%	Drum	35
06:29	180.0C	175.0C	38%	Drum	38
06:39	179.0C	176.0C	39%	Drum	39
06:53	179.0C	178.0C	40%	Drum	40
07:47	178.0C	175.0C	31%	Drum	31
08:54	181.0C	181.0C	37%	Drum	37
09:17	180.0C	179.0C	23%	Drum	23
09:27	177.0C	169.0C	18%	Drum	18
09:36	174.0C	164.0C	30%	Drum	30

4.4 Pembahasan

Hasil yang didapat dari penelitian ini telah membuktikan bahwa perancangan modul monitoring dan kendali terhadap proses *roasting* yang terintegrasi *hardware* dan *software* Artisan *roaster scope* melalui protokol komunikasi modbus RTU telah dapat dilakukan. Hasil monitoring dari perbandingan pembacaan temperature yang dilakukan oleh 2 sensor temperature *thermocouple type-K MAX6675* dengan pembacaan yang dilakukan oleh *infrared thermometer* memiliki rata-rata nilai presentase *error* kurang dari 5%. Hasil monitoring terhadap pembacaan perubahan nilai kecepatan motor yang dilakukan oleh pembacaan kecepatan motor DC melalui program dengan tachometer memiliki rata-rata nilai yang belum optimal terutama pada bagian ketika motor DC berputar dengan beban, karena terdapat faktor yang mempengaruhi hal tersebut, yaitu motor DC yang digunakan memiliki nilai kecepatan (RPM) tinggi, dengan daya rendah yang menyebabkan torsi yang dihasilkan terlalu rendah, perubahan yang terjadi pada drum yang memuai akibat panas menyebabkan berat pada drum bertambah, sehingga membutuhkan motor DC dengan daya dan torsi yang tinggi. Dengan adanya sistem kendali yang mengontrol nilai *duty cycle* menyebabkan motor DC dapat memutar drum sesuai dengan penelitian yang dilakukan Rao. Menurut Rao, nilai kecepatan drum yang optimal untuk proses *roasting* dengan kapasitas drum kurang dari 1 Kg, yaitu lebih dari 70 RPM. Oleh karena itu, pada penelitian ini, nilai *duty cycle* dikontrol untuk mempertahankan kecepatan motor (RPM) berputar pada kecepatan 60-120 RPM. Hasil dari kendali terhadap pemantik dan sistem pengapian pada penelitian ini telah dapat dilakukan. Fungsi relai pada penelitian ini adalah sebagai saklar yang akan memberikan tegangan ke *ignition controller* untuk kemudian menyalakan pemantik yang terdapat pada sistem pengapian. Selain itu, relai juga berfungsi untuk memberikan tegangan ke solenoid valve untuk membuka katup sehingga gas dapat mengalir ke kompor. Untuk besar kecilnya api dapat dikontrol melalui besar kecilnya gas yang digunakan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

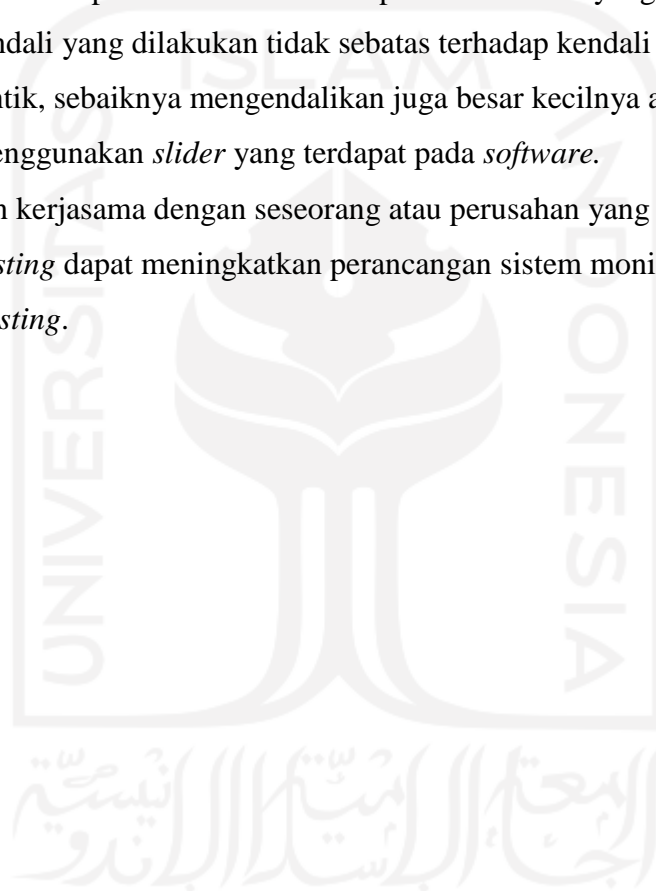
Berdasarkan studi literature yang digunakan, perancangan alat, hasil dan analisis terhadap penelitian mengenai pembuatan modul *roasting* yang terintegrasi *hardware* dan *software* dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil kalibrasi sensor temperature memiliki nilai persentase *error* yang dihitung dari Persamaan 3.1, yaitu kurang dari 5%. Sedangkan pengujian kalibrasi pengukuran kecepatan motor DC terbagi menjadi dua, yaitu pengukuran kecepatan motor DC tanpa beban dan dengan beban. Pengukuran kecepatan motor DC tanpa beban mendapatkan nilai *error* tertinggi sebesar 1,83%. Pengukuran kecepatan motor DC dengan beban mendapatkan nilai *error* tertinggi sebesar 2,88%. Hasil yang didapatkan dari pengukuran kecepatan motor DC dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai *duty cycle* yang dihasilkan, maka semakin tinggi tegangan yang diberikan, sehingga kecepatan motor DC akan bertambah.
2. Monitoring yang dilakukan meliputi nilai pembacaan temperature (ET, BT dan ΔBT), perubahan nilai temperature dalam bentuk kurva (ET, BT dan ΔBT), dan pembacaan nilai kecepatan motor DC (RPM) yang ditampilkan oleh *Software Artisan roaster scope*.
3. Kendali terhadap motor DC dilakukan dengan mengubah *slider* yang diidentifikasi sebagai nilai *duty cycle* (%) yang terdapat pada *Software Artisan roaster scope* yang akan menghasilkan nilai RPM yang berbeda-beda pada setiap perubahan nilai *duty cycle* (%) yang dilakukan. Kendali juga dilakukan terhadap relai yang berfungsi sebagai saklar untuk *ignation controller* dan solenoid valve pada sistem pengapian dengan menekan tombol "Burner ON/Burner OFF" pada tampilan *Software Artisan roaster scope*.
4. Hasil dari pengujian perancangan alat dilakukan dengan menghubungkan mesin *roasting*, modul, dan *software Artisan roaster scope* pada PC. Perancangan modul dilakukan dengan menggunakan protokol komunikasi modbus RTU untuk dapat terhubung dengan *software*. Proses pengambilan data sample *roasting* biji kopi yang dilakukan meliputi proses monitoring dan kendali pada proses *roasting*. Pengambilan data sampel biji kopi dilakukan sebanyak 11 kali dengan masing-masing waktu yang dibutuhkan untuk satu kali penyamplingan selama 10 menit.

5.2 Saran

Upaya pengembangan yang dilakukan terhadap perancangan sistem monitoring dan kendali proses sampel *roasting* menggunakan *software Artisan roaster scope* dalam penelitian selanjutnya disarankan:

1. Modul yang dirancang sebaiknya menggunakan alat ukur digital dan dapat terhubung dengan LCD, sehingga dapat meningkatkan akurasi pembacaan pengukuran yang dilakukan.
2. Motor DC yang digunakan sebaiknya memiliki nilai daya yang tinggi, sehingga dapat menghasilkan nilai torsi yang tinggi. Motor DC dengan nilai daya dan torsi yang tinggi dapat lebih mempertahankan nilai kecepatan motor DC yang digunakan
3. Sistem kendali yang dilakukan tidak sebatas terhadap kendali nilai kecepatan motor DC dan pemantik, sebaiknya mengendalikan juga besar kecilnya api yang digunakan dengan menggunakan *slider* yang terdapat pada *software*.
4. Melakukan kerjasama dengan seseorang atau perusahaan yang mengerti mengenai hal mesin *roasting* dapat meningkatkan perancangan sistem monitoring dan kendali pada proses *roasting*.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Drs. Jusmer Sihotang, “Analisis Faktor-Faktor yang Memengaruhi Ekspor Kopi Indonesia di Pasar Internasional,” *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Nommensen*, vol. 4, pp. 9–18, 2013.
- [2] D. Bottazzi, S. Farina, M. Milani, dan L. Montorsi, “A numerical approach for the analysis of the coffee roasting process,” *Journal of Food Engineering*,” vol. 112, no. 3, pp. 243–252, 2012.
- [3] Scott Rao, “*Coffee Roasting -Best Practices-*,” vol. 1, pp. 1–5, 2020.
- [4] M. Ristiawan dan E. Ariyanto, “Otomatisasi Pengatur Suhu dan Waktu Pada Penyangrai Kopi (*Roaster Coffee*) Berbasis ATmega 16 Pada Tampilan LCD (*Liquid Crystal Display*),” vol. 19, no. 1, pp. 6–8, 2016.
- [5] I. J. Sasongko dan M. Rivai, “Mesin Pemanggang Biji Kopi dengan Suhu Terkendali Menggunakan Arduino Due,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [6] S. Jack, “Programmable Coffee Roaster,” *Journal California Polytechnic State University*, vol. 1, pp. 5–21, 2015.
- [7] M. E. Ramadhan, H. A. Basuki, dan D. A. R. Wulandari, “Automatization roaster hopper coffee,” *Jurnal University of Jember*, vol. 11, pp. 39–43, 2018.
- [8] H. Susanto, R. Pramana, dan M. Mujahidin, “Perancangan Sistem Telemetri Wireless Untuk Mengukur Suhu dan Kelembaban Berbasis Arduino UNO R3 ATmega328P dan XBEE Pro,” vol. 4, no. 1, 2013.
- [9] T. Michael; Herbert, “Artisan Roaster Scope Software,” *Journal Evergreen Buzz Buzz*, vol. 1, pp 6–9. 2018.

- [10] Maxim Integrated, “MAX6675 Datasheet,” p. 8, 2014.
- [11] F. Briz, J. A. Cancelas, dan A. Diez, “Speed Measumment Using Rotary Encoders,” *Ieee*, pp. 538–542, 1994.
- [12] A. Faroqi, M. A. Ramdhani, F. Frasetyio, dan A. Fadhil, “DC Motor Speed Controller Design using Pulse Width Modulation,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 434, no. 1, 2018.



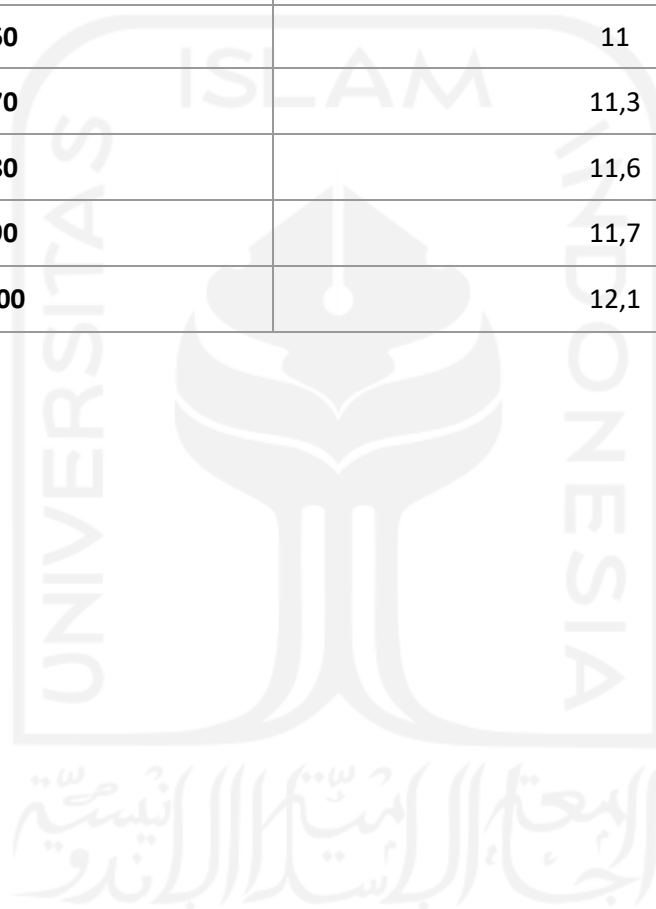
LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data Kalibrasi Sensor Temperature *Thermocouple type-K Max6675*

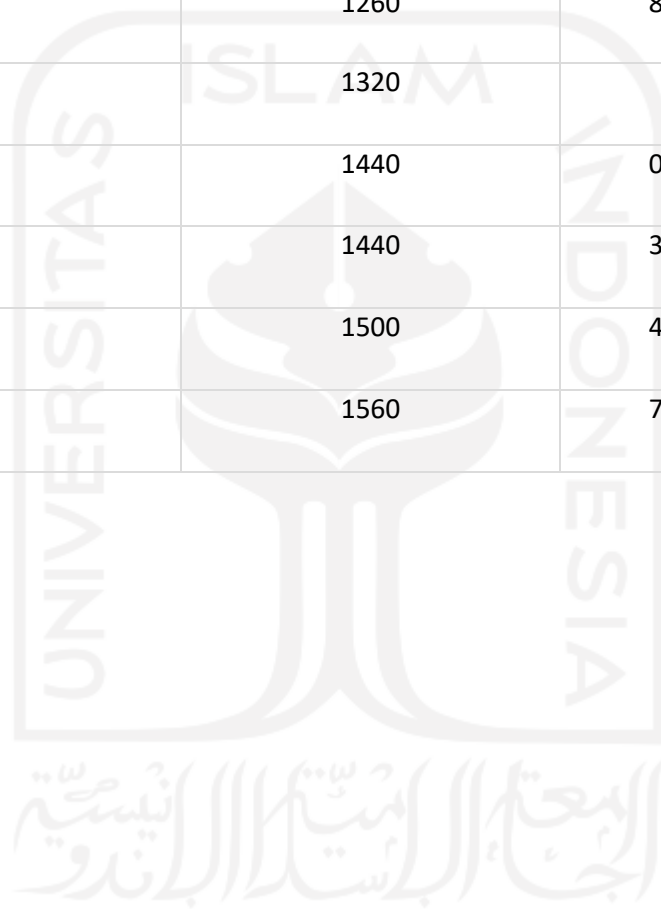
No	Tr (°C)	Tm (°C)					
		Nilai (°C)		Selisih (°C)		Error(%)	
		ET (°C)	BT (°C)	ET (°C)	BT (°C)	ET (°C)	BT (°C)
1	27,1	27	27	0,1	0,1	0,36	0,36
2	35,2	36	36	1,2	1,2	3,4	3,4
3	40,1	42	41	1,9	0,9	4,73	2,24
4	45,3	46	45	0,7	0,3	1,54	0,66
5	50,2	51	51	0,8	0,8	1,59	1,59
6	55,1	56	56	0,9	0,9	1,63	1,63
7	60,3	62	61	1,7	0,7	2,81	1,16
8	65,2	67	66	1,8	0,8	2,76	1,22
9	70,4	73	72	2,6	1,6	3,69	2,27
10	75,5	79	78	3,5	2,5	4,6	3,31
11	80,4	84	82	3,6	1,6	4,47	1,99

Lampiran 2 : Data Kalibrasi Motor DC RS775

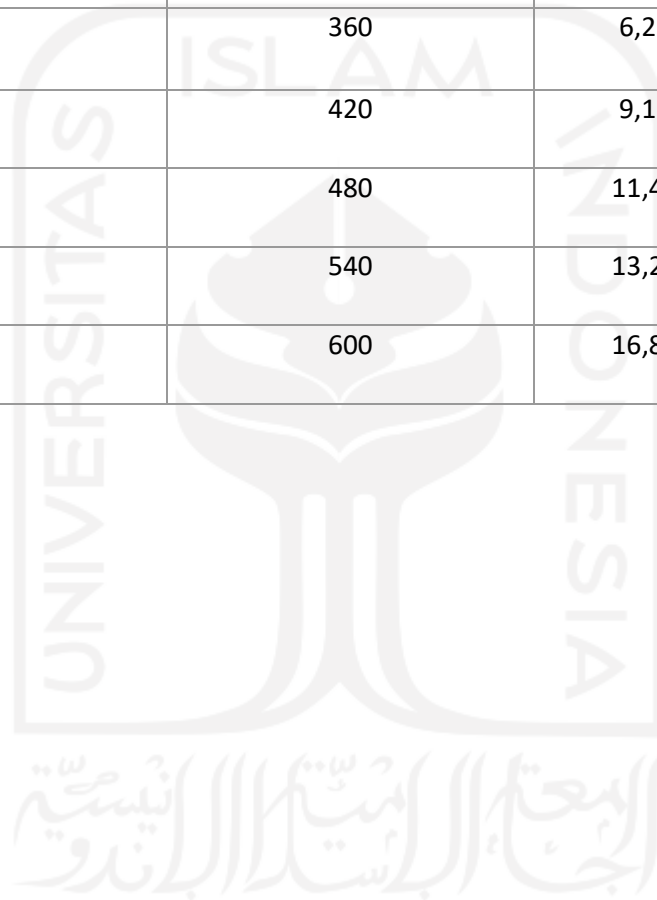
<i>Duty Cycle (%)</i>	Tegangan Input (VDC)
10	2,3
20	6,4
30	8,5
40	9,8
50	10,3
60	11
70	11,3
80	11,6
90	11,7
100	12,1



Tachometer (RPM)	Motor DC (RPM)	Selisih	% Error
0	0	0	0
648,1	660	11,9	1,83
960,3	960	0,3	0,03
1143,9	1140	3,9	0,03
1268,9	1260	8,9	0,07
1321	1320	1	0,07
1440,3	1440	0,3	0,03
1443,3	1440	3,3	0,02
1504,5	1500	4,5	0,03
1567,4	1560	7,4	0,04



Tachometer (RPM)	Motor DC (RPM)	Selisih	% Error
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
60,4	60	0,4	0,66
235,8	240	4,2	1,78
353,8	360	6,2	1,75
410,9	420	9,1	2,21
468,6	480	11,4	2,43
526,8	540	13,2	2,5
583,2	600	16,8	2,88



Lampiran 3 : Program

```
// Pemanggilan Library yang dibutuhkan
#include <ModbusRtu.h>
#include "max6675.h"
#include <Encoder.h>
```

```
// data array yang akan digunakan untuk komunikasi melalui modbus.
// jumlah array sebenarnya hanya butuh secukupnya saja, ini ada 16 sebagai contoh saja
// untuk roastermu cuma butuh 5 (ET, BT, RPM, Slider, Button)
uint16_t au16data[16] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -1 };

// membuat objek Encoder bernama "myEnc" dengan pin di 5 & 6
Encoder myEnc(5, 6);

//modbus pada arduino bertindak sebagai slave terhadap artisan di PC
Modbus slave; // this is slave @1 and RS-232 or USB-FTDI
```

```
//pemberian nama terhadap pin dan variabel yang akan digunakan
int thermoDO1 = 4;
int thermoDO2 = A3;
int thermoCS1 = 3;
int thermoCS2 = A2;
int thermoCLK1 = 2;
int thermoCLK2 = A1;
int REN = 9;
int LEN = 11;
int RPWM = 10;
int LPWM = 12;
int temp1, temp2;
int intv = 1750;
int rot, rps, rpm, times, earlier, spd;
long nn, intpos;
long oldpos = 0;
long oldPosition = -999;
```

```

//Adafruit_MAX31855 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
MAX6675 thermocouple1(thermoCLK1, thermoCS1, thermoDO1);
MAX6675 thermocouple2(thermoCLK2, thermoCS2, thermoDO2);

void setup() {
  //pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
  //pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);

  //Inisialisasi Modbus sebagai slave dengan komunikasi serial
  slave = Modbus(1,0,0);
  slave.begin( 115200 ); // 115200 baud, 8-bits, even, 1-bit stop
  delay(1000);

  //Inisialisasi Pin sebagai output
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
}

```

```

void loop() {
  //menyimpan nilai internal timernya arduino pada variabel "times" (dalam milidetik)
  times=millis();
  //cek apakah waktu yang telah berlalu habis dibagi 1000, jika iya berarti 1000 milidetik
  telah berlalu
  if((times % 1000) == 0){
    //simpan nilai suhu pada variable temp1 & temp2
    temp1= thermocouple1.readCelsius();
    temp2= thermocouple2.readCelsius();
  }
  //simpan temp1 & temp2 pada array yang akan dikirim lewat modbus.
  au16data[2] = ((uint16_t) temp1);
  au16data[3] = ((uint16_t) temp2);
}

```

```

//ambil nilai slider dari artisan dan scale dari 0-100 jadi 0-255 dan simpan pada "spd"
spd = map(au16data[1], 0,100, 0, 255);
//kirim nilai spd sebagai PWM untuk motor driver
digitalWrite(12, HIGH);
digitalWrite(9,HIGH);
analogWrite(10,0);
analogWrite(11,spd);

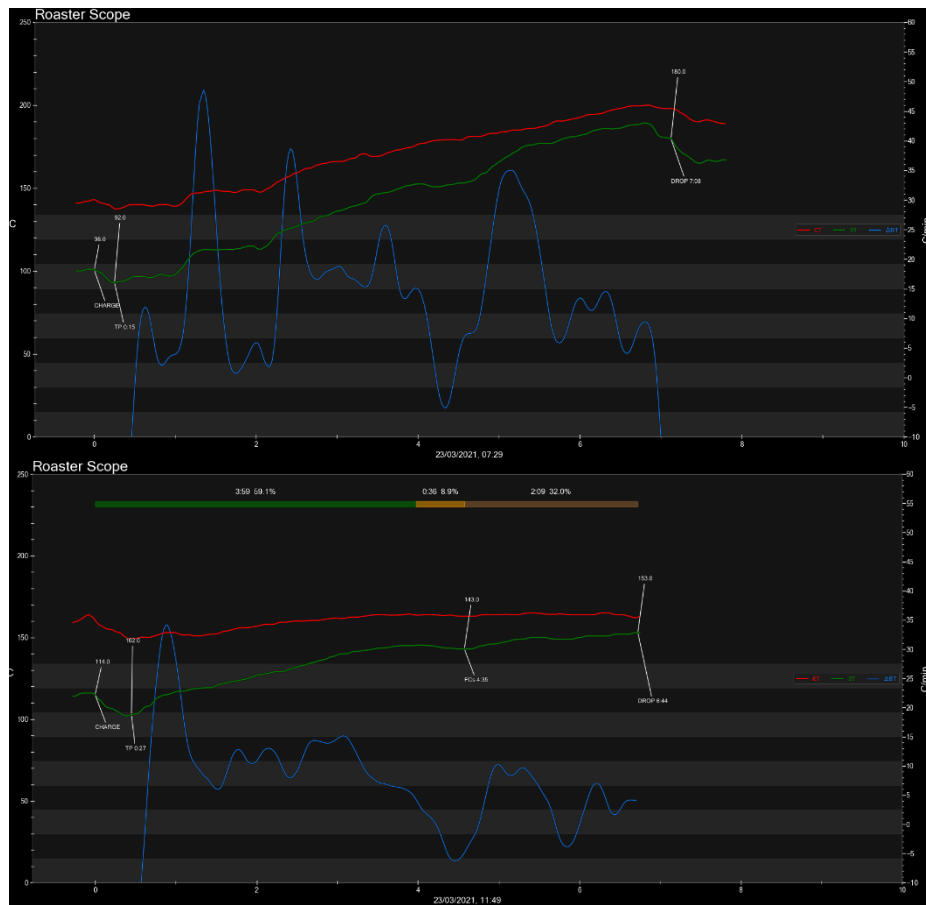
//Baca posisi encoder
long pos = myEnc.read();
//cek jika waktu telah berlalu sebanyak intv (times adalah waktu saat ini, earlier adalah waktu saat
if (times - earlier >= intv){
    //hitung rpm dengan rumus: RPM =((pos - oldpos)/(nilai encoder per putaran))*(60/intv)
    intpos = pos - oldpos;
    rot = intpos/50;
    rps = rot;
    rpm = rps*60;
    earlier = times;
    oldpos = pos;
    //kirim nilai rpm melalui modbus
    au16data[4] = ((uint16_t) rpm);
}
//baca nilai modbus yang untuk button, jika diatas 50 maka pin 13 akan jadi HIGH
if(au16data[5]>50){
    digitalWrite(13, HIGH);
}
else{
    digitalWrite(13, LOW);
}

//update data modbus
slave.poll( au16data, 16 );
}

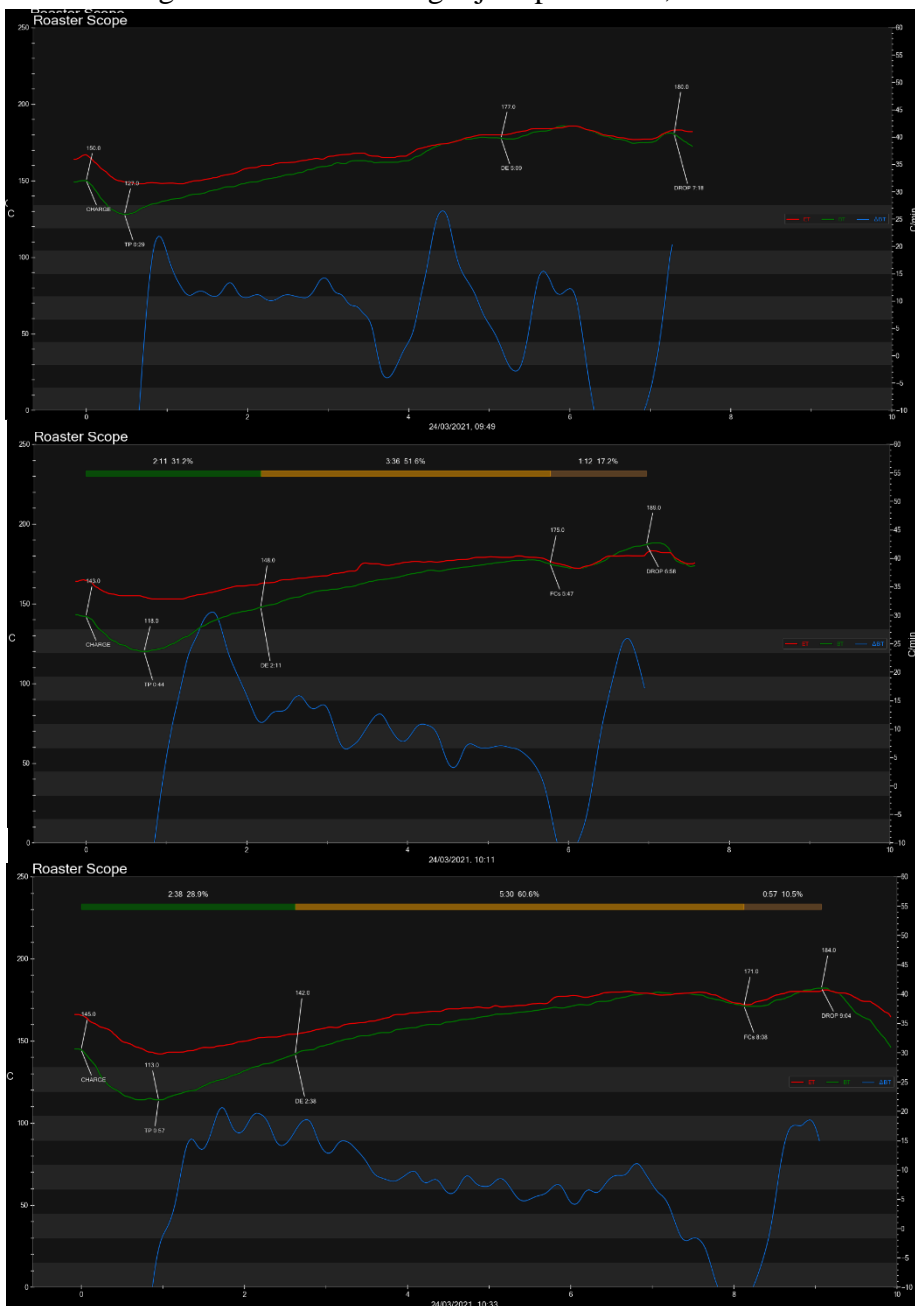
```

Lampiran 4 : Hasil Penyamplingan *Roasting*

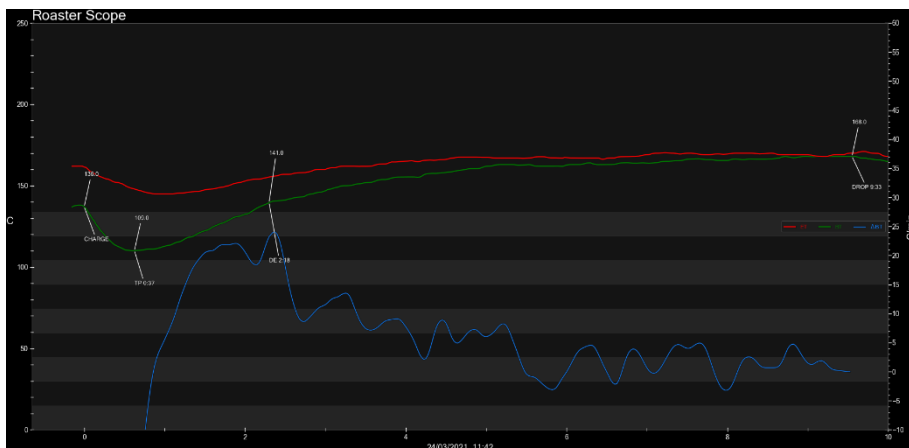
1. Hasil monitoring dan kendali *roasting* biji kopi Lintong, Sumatra Utara.

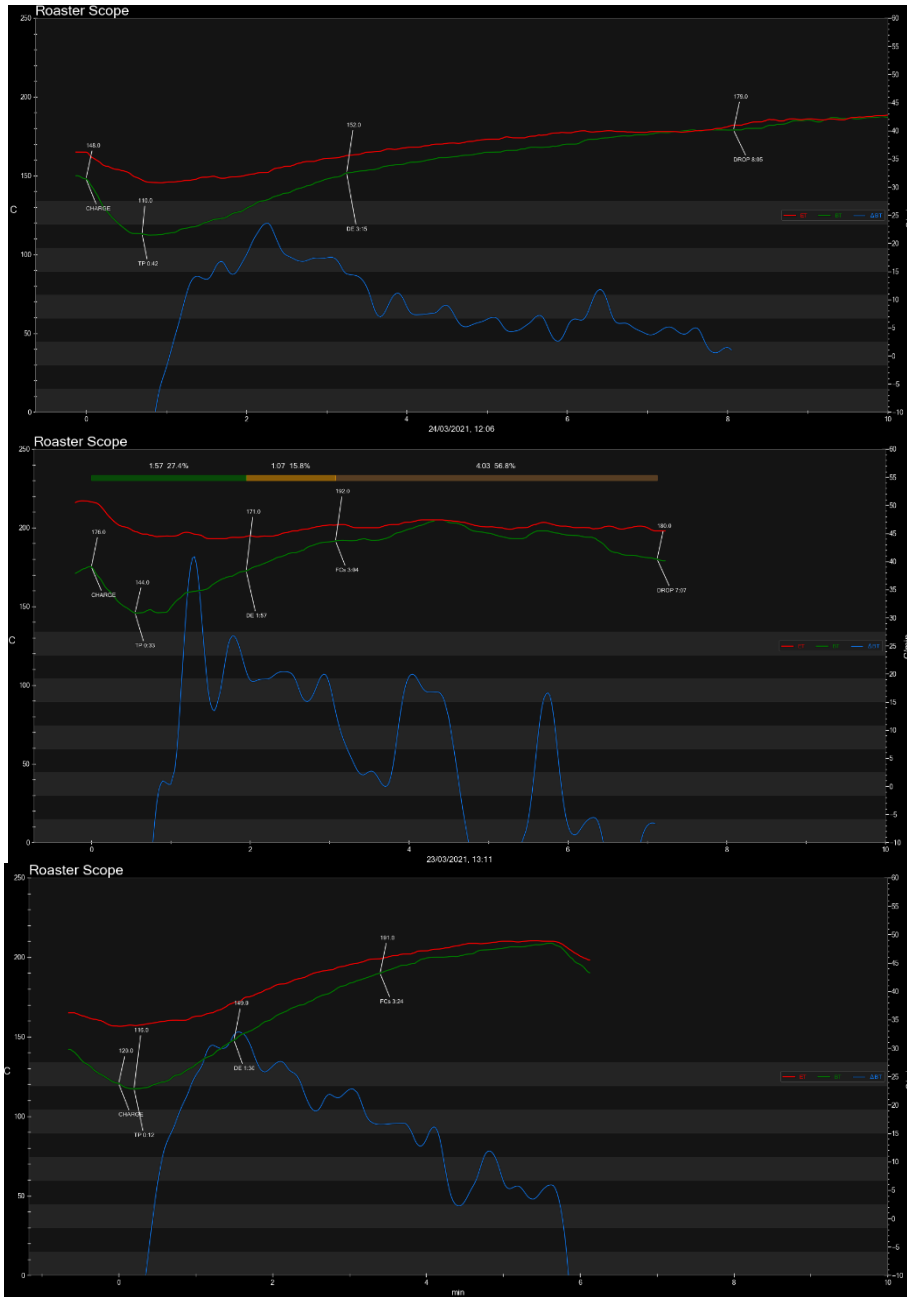


2. Hasil monitoring dan kendali *roasting* biji kopi Kerinci, Jambi.



3. Hasil monitoring dan kendali *roasting* biji kopi Argopuro, Jawa Timur.





Lampiran 5 : Biaya Penelitian

No	Rincian	Frekuensi (Kali)	Volume (Unit)	Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (3) × (4) × (5)
1	Mesin <i>Roasting</i>	1	1	Rp 3,500,000.00	Rp 3,500,000.00
2	Arduino	1	1	Rp 45,000.00	Rp 45,000.00
3	<i>Thermocouple type-K</i>	1	2	Rp 30,000.00	Rp 30,000.00
4	Max6675	1	2	Rp 40,000.00	Rp 40,000.00
5	Motor DC RS775	1	1	Rp 180,000.00	Rp 180,000.00
6	<i>Rotary encoder</i>	1	1	Rp 163,000.00	Rp 63,000.00
7	<i>Driver BTS7960</i>	1	1	Rp 100,000.00	Rp 100,000.00
8	Adaptor	1	1	Rp 70,000.00	Rp 70,000.00
9	<i>Ignation Controller, Selenoid valve, dan pemantik</i>	1	1	Rp 550,000.00	Rp 550,000.00
10	Selang Gas	1	1	Rp 88,000.00	Rp 88,000.00
Jumlah					Rp 4,836,000.00