

**SISTEM PENGENDALIAN SUHU PADA PROSES DISTILASI AIR LAUT
TENAGA *HYBRID* UNTUK MENGHASILKAN AIR TAWAR
MENGUNAKAN ARDUINO**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

TEUKU MUHAMMAD FAIKAR FIRAZ

NIM. 105060305111005

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

**SISTEM PENGENDALIAN SUHU PADA PROSES DISTILASI AIR LAUT
TENAGA *HYBRID* UNTUK MENGHASILKAN AIR TAWAR
MENGUNAKAN ARDUINO**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

TEUKU MUHAMMAD FAIKAR FIRAZ

NIM. 105060305111005

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing 1

Pembimbing 2

M. Aziz M., ST., MT., Ph.D
NIP. 197412032000121001

Goegoes Dwi N. ST., MT.
NIP. 197110132006041001

PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya dan Nabi Muhammad sebagai junjungan seluruh umat Islam, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Pengendalian Suhu Pada Proses Distilasi Air Laut Tenaga *Hybrid* Untuk Menghasilkan Air Tawar Menggunakan Arduino”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

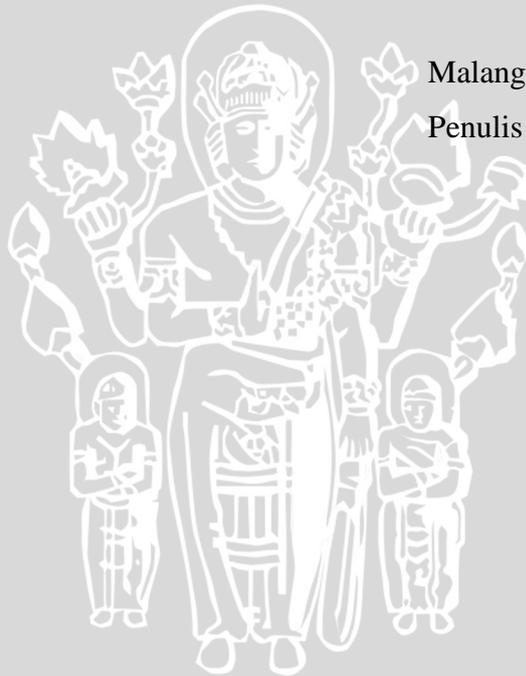
- Allah SWT yang selalu tahu kapan waktu yang terbaik untuk hambaNya dan Rasulullah Muhammad SAW, semoga shalawat serta salam selalu tercurah kepada beliau.
- Kedua orang tua terbaik, Bapak Suhatsyah dan Ibu Mutia Ramli yang senantiasa mendoakan, memberi motivasi, atas pengertian dan nasihat yang telah diberikan, serta saudara kandung Teuku Faiz sebagai pemicu semangat dan meluruskan.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya sekaligus sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
- Bapak Goegoes Dwi N. ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, arahan, serta saran yang telah diberikan.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Teknik Kontrol.
- Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningsy, MT. sebagai Kepala Laboratorium Sistem Kontrol atas izin penggunaan laboratorium Sistem Kontrol dan saran yang telah diberikan.
- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staf recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.

- Sahabat Brassia's, Adit, Eldi, Candi, Dimas, Jody, Rian atas kerelaannya berbagi semangat, cerita, pertemanan, atas waktu menyenangkan selama ini dan di masa mendatang.
- Teman yang selalu rela menjulurkan tangannya untuk memberi pertolongan, Fitra, Hamu, Dayat.
- Sahabat, teman, serta keluarga hangat DKP48
- Teristimewa teman-teman MAGNET'10, yang memberikan doa, semangat serta dukungan kepada penulis.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Namun penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Januari 2015

Penulis



DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR TABEL | viii |
| ABSTRAK | ix |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan | 3 |
| 1.5 Sistematika Pembahasan | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Teknologi Desalinasi | 5 |
| 2.2 Distilasi | 5 |
| 2.3 Air Laut | 6 |
| 2.4 Energi Matahari | 7 |
| 2.5 Perpindahan Panas | 8 |
| 2.5.1 Konduksi | 8 |
| 2.5.2 Konveksi | 8 |
| 2.5.3 Radiasi | 9 |
| 2.6 Suhu | 10 |
| 2.7 Solar Cell | 10 |
| 2.8 Sensor Suhu | 12 |
| 2.9 Elemen Pemanas | 13 |
| 2.10 Kontroler | 14 |
| 2.10.1 Kontroler Proporsional | 15 |
| 2.10.2 Kontroler Integral | 16 |
| 2.10.3 Kontroler Diferensial | 17 |
| 2.10.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) | 17 |



| | |
|--------------------------------------|----|
| 2.11 Arduino Uno | 18 |
| 2.11.1 Daya..... | 19 |
| 2.11.2 Pemrograman | 19 |
| 2.11.3 <i>Memory</i> | 20 |
| 2.11.4 <i>Input dan Output</i> | 20 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | |
|--|----|
| 3.1 Studi Literatur | 21 |
| 3.2 Perancangan Blok Diagram Sistem | 21 |
| 3.3 Prinsip Kerja | 21 |
| 3.4 Perancangan Perangkat Keras | 22 |
| 3.5 Perancangan Perangkat Lunak | 22 |
| 3.6 Pengujian dan Analisis Sistem | 23 |
| 3.7 Pengambilan Kesimpulan dan Saran | 23 |

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

| | |
|---|----|
| 4.1 Perancangan Sistem | 24 |
| 4.2 Diagram Blok Sistem | 24 |
| 4.3 Spesifikasi Alat | 25 |
| 4.4 Prinsip Kerja Sistem | 26 |
| 4.5 Perancangan Perangkat Keras | 27 |
| 4.5.1 Perancangan Rangkaian Pemanas | 27 |
| 4.5.1.1 Perancangan rangkaian inverter | 27 |
| 4.5.1.2 Perancangan kontroler proporsional | 28 |
| 4.5.2 Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100 | 28 |
| 4.5.2.1 Rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu PT100 | 28 |
| 4.5.3 Perancangan Sistem Microcontroller | 32 |
| 4.5.4 Perancangan Rumah Evaporator | 32 |
| 4.5.5 Karakteristik Alat Distilasi Air Laut | 33 |
| 4.5.6 Perancangan Kontroler | 34 |
| 4.6 Perancangan Perangkat Lunak | 38 |
| 4.6.1 Flowchart Sistem Keseluruhan | 38 |
| 4.6.2 Flowchart Pembacaan Sensor Suhu | 39 |



4.6.3 Flowchart Perhitungan Parameter PID 40

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

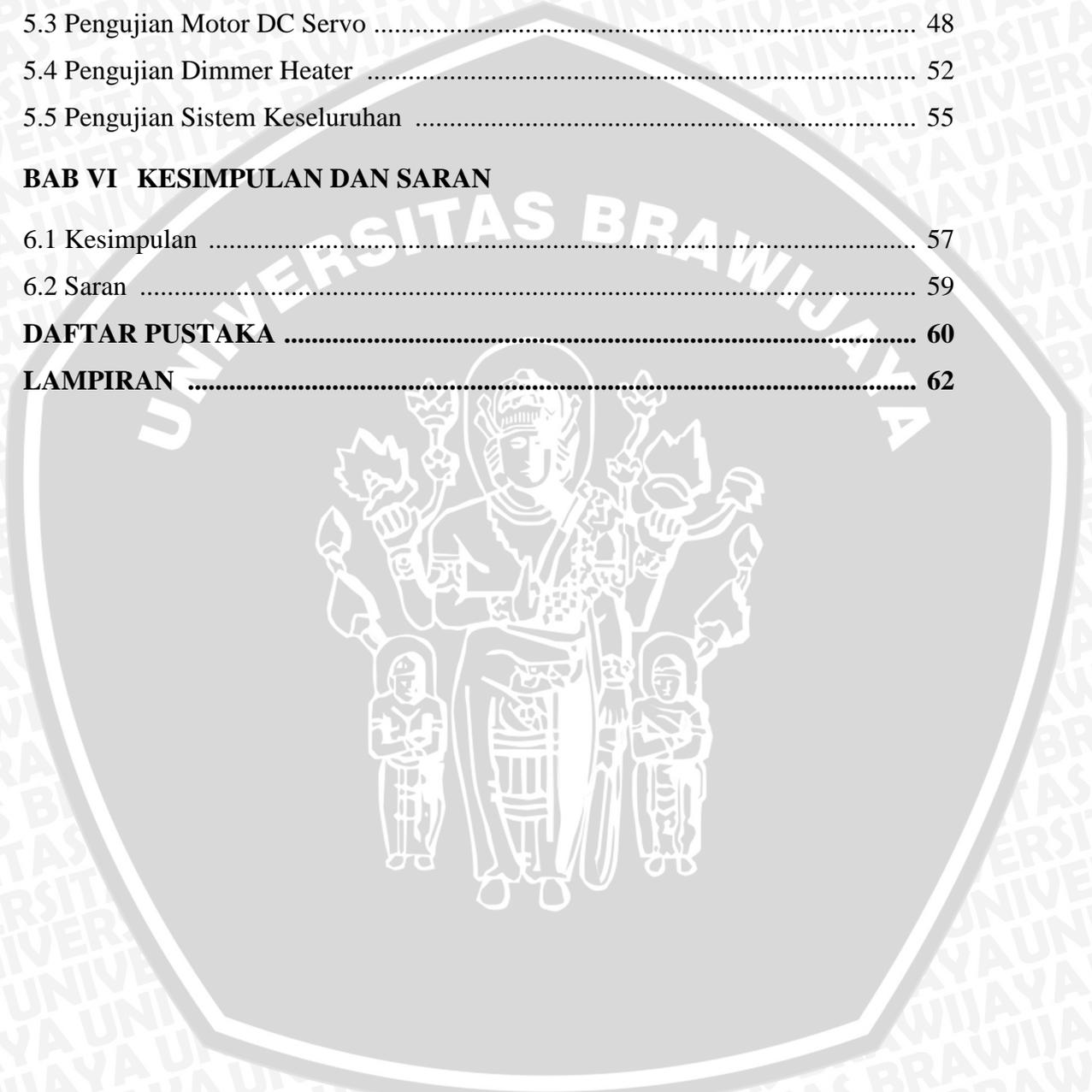
5.1 Pengujian Sensor PT100 41
 5.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100 43
 5.3 Pengujian Motor DC Servo 48
 5.4 Pengujian Dimmer Heater 52
 5.5 Pengujian Sistem Keseluruhan 55

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan 57
 6.2 Saran 59

DAFTAR PUSTAKA 60

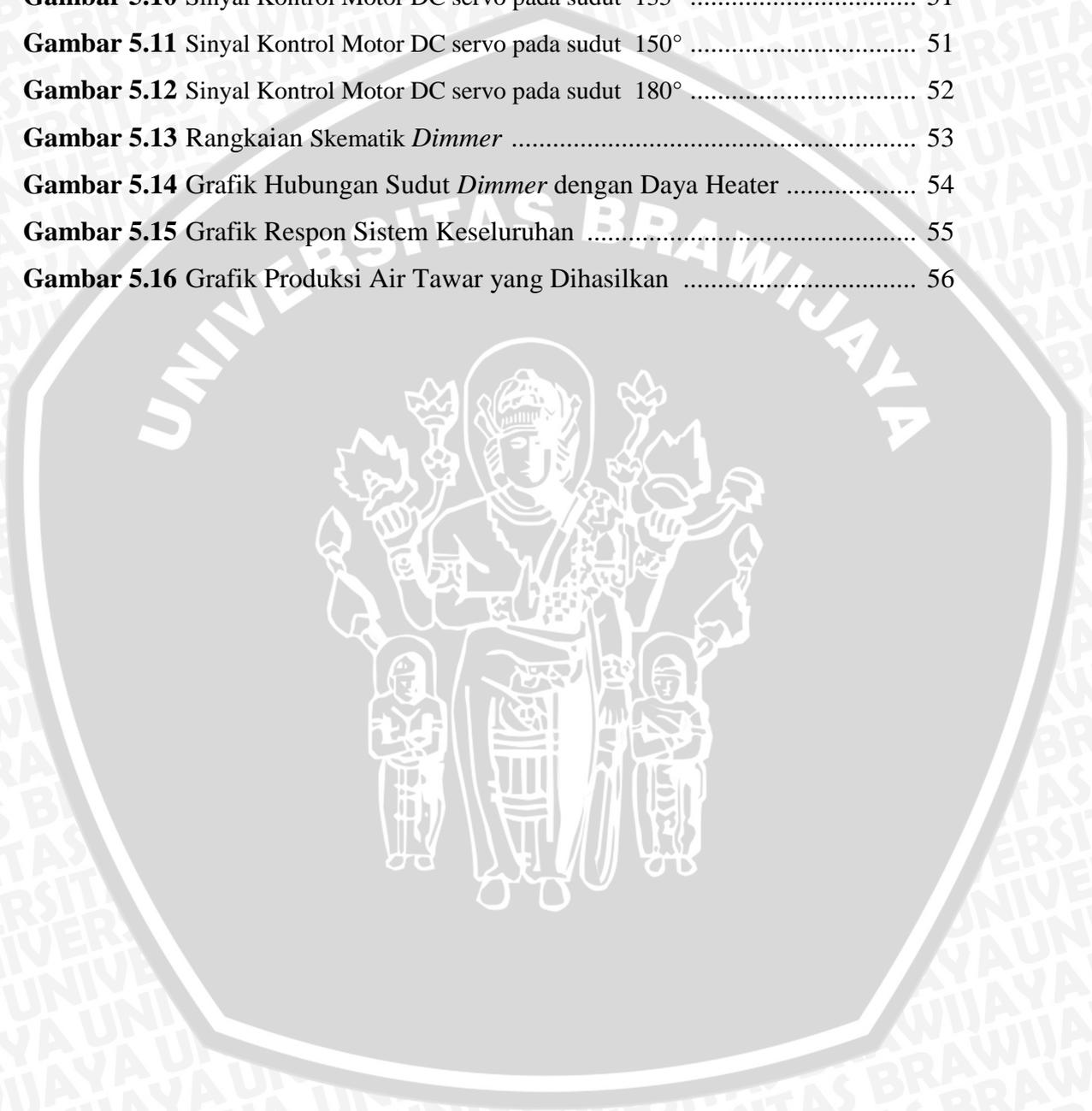
LAMPIRAN 62



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Solar cell, module, array | 11 |
| Gambar 2.2 | Kurva I-V Solar Cell | 12 |
| Gambar 2.3 | PT 100 | 13 |
| Gambar 2.4 | Elemen pemanas listrik bentuk dasar | 14 |
| Gambar 2.5 | Elemen pemanas listrik bentuk lanjut | 14 |
| Gambar 2.6 | Diagram Blok Kontroler Proporsional | 16 |
| Gambar 2.7 | Diagram Blok Kontroler Integral | 16 |
| Gambar 2.8 | Diagram Blok Kontroler Diferensial | 17 |
| Gambar 2.9 | Diagram Blok Kontroler PID | 18 |
| Gambar 2.10 | Tampak depan Arduino Mega | 18 |
| Gambar 3.1 | Blok Diagram sistem pengendalian loop tertutup | 21 |
| Gambar 3.2 | Sistem Distilasi Air Laut | 22 |
| Gambar 4.1 | Diagram Balok Sistem Pengendalian Suhu (Perancangan) | 24 |
| Gambar 4.2 | Skema Keseluruhan Sistem (Perancangan) | 26 |
| Gambar 4.3 | Grafik Karakteristik Sensor PT100 (Datasheet) | 28 |
| Gambar 4.4 | Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 | 30 |
| Gambar 4.5 | Skema input dan output rangkaian pengondisi sinyal (Perancangan)..... | 31 |
| Gambar 4.6 | Gambar perancangan rumah evaporator | 33 |
| Gambar 4.7 | Grafik Karakteristik Alat Distilasi Air Laut | 34 |
| Gambar 4.8 | Tuning dengan Metode 1 Ziegler-Nichols | 35 |
| Gambar 4.9 | Grafik Respon Sistem dengan $K_p=7,9$ | 36 |
| Gambar 4.10 | Flowchart Keseluruhan Sistem | 37 |
| Gambar 4.11 | Flowchart Pembacaan Sensor Suhu | 38 |
| Gambar 4.12 | Flowchart Perhitungan Parameter PID (Perancangan) | 39 |
| Gambar 5.1 | Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu | 43 |
| Gambar 5.2 | Rangkaian Pengujian RPS PT100 (Perancangan) | 44 |
| Gambar 5.3 | Grafik Perbandingan Suhu Hasil Pembacaan Termometer Acuan dengan <i>Serial monitor</i> | 46 |
| Gambar 5.4 | Grafik Perbandingan Suhu Hasil Pembacaan Termometer Acuan dengan <i>Serial monitor</i> setelah kalibrasi | 47 |
| Gambar 5.5 | Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 0° | 49 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 5.6 | Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 30° | 50 |
| Gambar 5.7 | Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 45° | 50 |
| Gambar 5.8 | Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 60° | 50 |
| Gambar 5.9 | Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 90° | 51 |
| Gambar 5.10 | Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 135° | 51 |
| Gambar 5.11 | Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 150° | 51 |
| Gambar 5.12 | Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 180° | 52 |
| Gambar 5.13 | Rangkaian Skematik <i>Dimmer</i> | 53 |
| Gambar 5.14 | Grafik Hubungan Sudut <i>Dimmer</i> dengan Daya Heater | 54 |
| Gambar 5.15 | Grafik Respon Sistem Keseluruhan | 55 |
| Gambar 5.16 | Grafik Produksi Air Tawar yang Dihasilkan | 56 |



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Aturan *Tuning* Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K.) 35

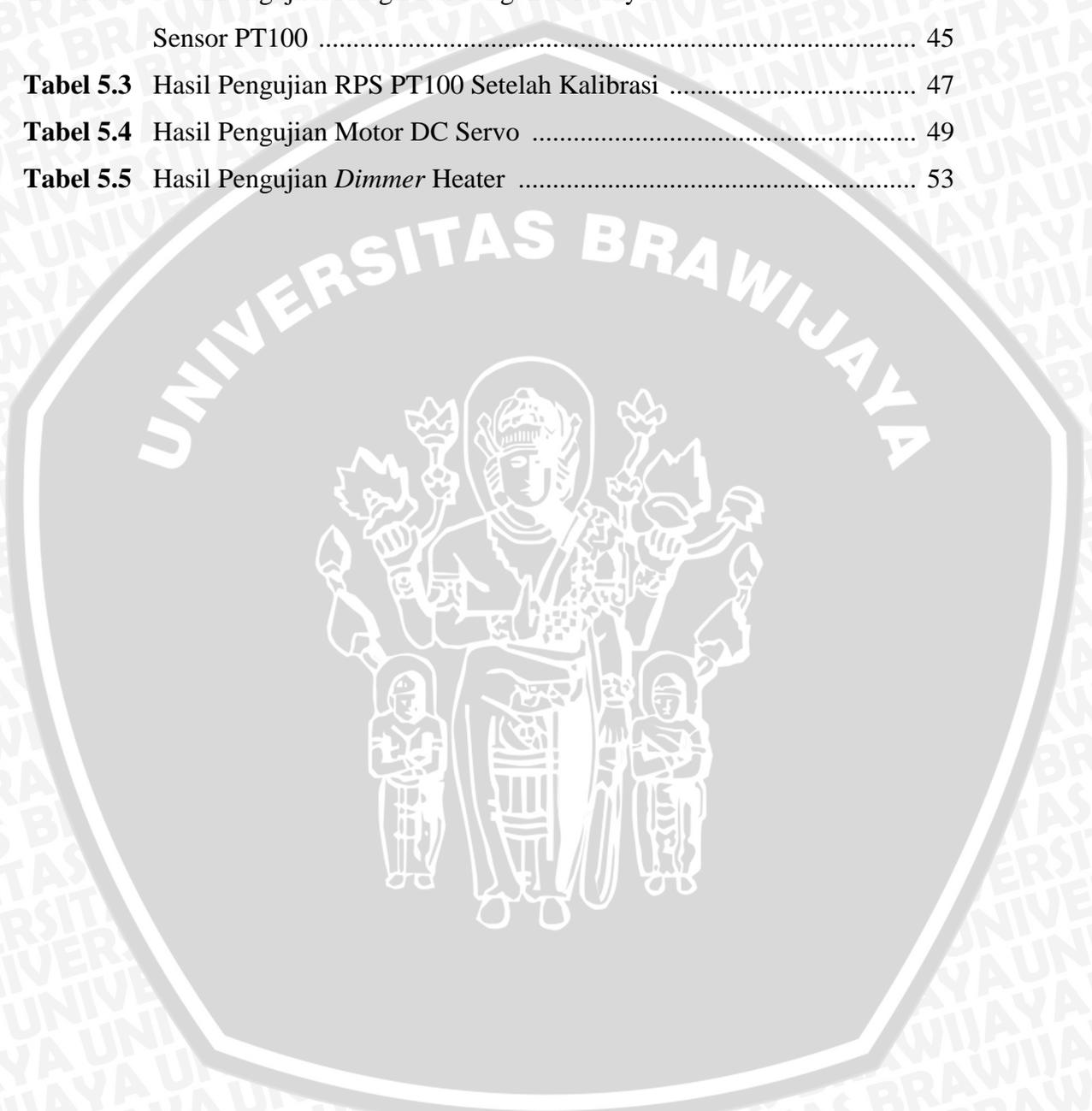
Tabel 5.1 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu 42

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal
Sensor PT100 45

Tabel 5.3 Hasil Pengujian RPS PT100 Setelah Kalibrasi 47

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Motor DC Servo 49

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Dimmer* Heater 53

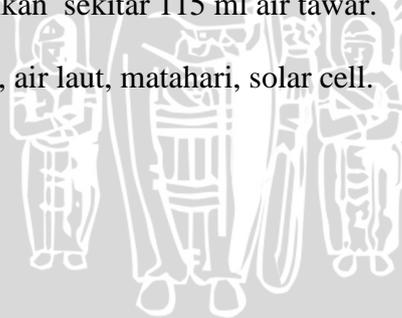


ABSTRAK

Teuku Muhammad Faikar Firaz, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, *Sistem Pengendalian Suhu Pada Proses Distilasi Air Laut Tenaga Hybrid Untuk Menghasilkan Air Tawar Menggunakan Arduino*, Dosen Pembimbing: M. Aziz M., ST., MT., Ph.D, Goegoes Dwi N. ST., MT.

Makalah ini menyajikan hasil penelitian dari alat distilasi air laut untuk menghasilkan air tawar menggunakan sumber energi radiasi matahari dan Accu yang daya-nya dipasok oleh solar panel. Rumah evaporator (wadah air laut yang akan di uapkan) yang digunakan adalah prototype untuk peneliatian yang dibuat dengan desain sendiri. Di Indonesia, lama waktu ketersediaan radiasi (waktu matahari bersinar) yaitu rata-rata sekitar 12 jam sehari. Energi dari matahari ini dimanfaatkan untuk menguapkan air laut pada proses distilasi, dimana air tawar bisa didapat dari uap air laut yang mengembun. Pada penelitian ini, energi dari matahari tidak hanya digunakan untuk memanaskan air laut yang ada didalam wadah atau disebut sebagai rumah evaporator, namun juga untuk memberikan tenaga pada solar cell yang nantinya menghasilkan daya untuk mengisi Accu, sistem ini disebut sebagai sistem hybrid. Accu digunakan sebagai sumber tegangan yang disambungkan ke elemen pemanas yang berfungsi sebagai heater. Energi panas yang dikeluarkan oleh heater akan dikontrol dengan menggunakan kontroler proporsional berbasis Arduino Uno dengan harapan apabila panas dari matahari tidak mencukupi untuk proses penguapan atau suhu yang ada di dalam rumah evaporator tidak mencapai set point yang telah ditetapkan, maka heater akan aktif dan sistem tetap dapat bekerja. Suhu di dalam rumah evaporator dideteksi oleh sensor suhu PT100 yang akan diolah oleh Mikrokontroler Arduino Uno. Pada penelitian ini, dalam 3 liter air laut yang diuapkan selama 2 jam, dapat menghasilkan sekitar 115 ml air tawar.

Kata Kunci—distilasi, hybrid, air laut, matahari, solar cell.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan air bersih ataupun air tawar adalah kebutuhan pokok yang sangat mendasar dalam kehidupan manusia yang dibutuhkan secara berkelanjutan. Penggunaan air bersih sangat penting untuk konsumsi rumah tangga, tempat umum, dan kebutuhan industri. Melihat dari gunanya yang sangat penting dan mendasar, maka wajar jika sektor air bersih mendapat prioritas penanganan utama karena menyangkut kepentingan orang banyak. Pemenuhan akan kebutuhan air tawar dapat dilakukan dengan beberapa cara, disesuaikan dengan sarana dan prasarana yang ada. Di daerah perkotaan, sistem penyediaan air bersih dilakukan dengan sistem perpipaan dan non-perpipaan. Sistem distribusi air bersih dengan sistem perpipaan dikelola oleh PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) dan sistem non-perpipaan dikelola oleh masyarakat baik secara individu ataupun kelompok. Namun, pada praktiknya PDAM belum menjangkau daerah pesisir, yang menyebabkan masyarakat daerah pesisir sering kekurangan pasokan air tawar khususnya pada musim kemarau.

Guna mendorong peningkatan kemampuan pemenuhan kebutuhan air tawar khususnya untuk masyarakat pesisir, perlu ada solusi mandiri bagi masyarakat pesisir dalam memenuhi kebutuhan air bersih. Daerah pesisir memiliki intensitas sinar matahari yang melimpah dan air laut yang mudah didapat. Oleh karena itu, akan sangat baik bila kita bisa memanfaatkan sumber daya tersebut untuk memenuhi kebutuhan masyarakat pesisir, dalam hal ini kebutuhan akan air tawar. Indonesia merupakan negara kepulauan dengan luas wilayah laut 5,8 juta km² atau 70,8 % dari luas muka bumi merupakan lautan dan 29,2 % merupakan daratan. Mengingat sangat panjangnya garis pantai Indonesia, akan sangat membantu bagi masyarakat pesisir bila ada suatu solusi dalam pemenuhan kebutuhan air bersih yang memanfaatkan air laut dan sinar matahari yang melimpah di daerah pesisir.

Pada dasarnya, prinsip distilasi air laut adalah proses pemisahan mineral garam dari air laut sehingga diperoleh air tawar. Ada banyak cara dalam mengolah air lau

menjadi air tawar, salah satunya adalah metode distilasi. Pada dasarnya prinsip metode distilasi dalam pemurnian air laut adalah dengan menguapkan air laut kemudian mengembunkan uapnya kembali untuk menghasilkan air tawar.

Menurut Sudjito dan P.Raharja (2001), di Indonesia, lama waktu ketersediaan radiasi (waktu matahari bersinar) dalam setahun juga hampir sama, yaitu rata-rata sekitar 12 jam sehari. Energi dari matahari ini dimanfaatkan untuk menguapkan air laut pada proses distilasi, dimana air tawar bisa didapat dari uap air laut yang mengembun. Pada penelitian ini, energi dari matahari tidak hanya digunakan untuk memanaskan air laut yang ada didalam wadah atau disebut sebagai rumah evaporator, namun juga untuk memberikan tenaga pada solar sel yang nantinya menghasilkan daya untuk mengisi Accu, sistem ini disebut sebagai sistem *hybrid*, yaitu penggabungan dua sumber daya untuk menjalankan sistem. Dua sumber daya dalam sistem ini bertujuan sebagai penghasil panas untuk proses distilasi. Accu digunakan sebagai sumber tegangan yang disambungkan ke elemen pemanas yang berfungsi sebagai heater. Energi panas yang dikeluarkan oleh heater akan dikontrol melalui dimmer menggunakan kontroler proporsional berbasis Arduino Uno dengan harapan apabila panas dari matahari tidak mencukupi untuk proses penguapan atau suhu yang ada di dalam rumah evaporator tidak mencapai set point yang telah ditetapkan misalkan ketika mendung atau malam hari. Suhu di dalam rumah evaporator dideteksi oleh sensor suhu PT100 yang akan diolah oleh Mikrokontroler Arduino Uno. Kontroler yang digunakan adalah kontroler proporsional dikarenakan responnya yang relatif cepat, walaupun terdapat *error steady state*. Namun bila angka *error steady state* masih dalam batas toleransi (5%) maka tidak berpengaruh secara signifikan terhadap *plant* dan sistem dapat bekerja dengan baik. Diharapkan distilasi dapat bekerja secara efisien dengan durasi yang se-maksimal mungkin. Penggunaan sistem hybrid ini bertujuan agar pemanfaatan energi matahari dapat dimaksimalkan pada proses distilasi ini.

Dengan demikian diharapkan proses destilasi air asin ini menjadi solusi yang bermanfaat dalam pemenuhan kebutuhan air tawar khususnya bagi masyarakat pesisir. Sehingga membantu pemerintah dalam usaha memenuhi kebutuhan air bersih nasional secara merata.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang, dapat disusun rumusan masalah yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mendapatkan air tawar dari bahan baku air laut untuk memenuhi kebutuhan akan air tawar khususnya pada daerah pesisir?
2. Bagaimana pengukuran performansi sistem pengendalian suhu pada proses distilasi air laut untuk menghasilkan air tawar, serta berapa parameter kontrol yang sesuai?

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya objek pengkajian maka perlu dilakukan pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Adapun batasan masalah pada skripsi ini antara lain:

1. Rumah *Evaporator* (wadah air laut yang akan di uapkan) yang digunakan adalah *prototype* untuk peneliatian yang dibuat dengan desain sendiri.
2. Pembahasan mengenai perubahan sifat unsur-unsur kimia tidak dibahas mendalam.
3. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu pada sistem.
4. Pengendalian suhu diatur dengan mengatur sudut putaran *dimmer*.
5. Rangkaian elektronika *dimmer* tidak dibahas secara mendalam.
6. Sensor suhu yang digunakan adalah sensor PT100 dengan rentang kerja pada suhu 0 – 100 Celcius.
7. Tidak membahas kualitas air tawar yang dihasilkan.
8. Pembahasan mengenai hasil endapan berupa garam tidak dibahas mendalam.
9. Tidak membahas aliran daya dari solar cell hingga *accu* secara mendalam.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan air tawar dari air laut demi memenuhi kebutuhan air tawar bagi masyarakat, khususnya masyarakat pesisir. Dengan demikian dilakukan perancangan sistem pengendalian suhu pada distiller menggunakan Arduino untuk menghasilkan air tawar dari air laut dengan tenaga

hybrid (energy matahari dan *accu*). Dengan harapan output yang dikeluarkan sesuai dengan *setpoint*.

1.5 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metode

Membahas metode penelitian dan perencanaan alat.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

Membahas perancangan alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja, dan pembuatan alat. Setelah itu, bagaimana penerapannya dalam sistem secara keseluruhan.

BAB V Pengujian dan Analisis

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat dan analisis hasil yang diperoleh.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan penelitian dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang menunjang dalam perancangan sistem pengendalian suhu pada proses distilasi air laut untuk menghasilkan air tawar menggunakan Arduino.

2.1 Teknologi Desalinasi

Desalinasi adalah proses pemisahan yang digunakan untuk mengurangi kadar garam terlarut dalam air garam sehingga air dapat lebih bermanfaat. Teknik pemisahan kadar garam dalam air laut yang telah berkembang sampai saat ini ada berbagai macam diantaranya distilasi (penyulingan), freezing (pembekuan), demineralisasi, elektrodialisis dan reverse osmosis (osmosis terbalik) (Linsey, 1995).

2.2 Distilasi

Pada umumnya saat ini distilasi digunakan untuk penyulingan bahan bakar, pengolahan alcohol, dan proses-proses industry lainnya. Distilasi adalah proses pemisahan suatu campuran yang terdiri dari dua atau lebih jenis cairan melalui pemanasan. Pemanasan dilakukan untuk menguapkan komponen-komponen yang lebih mudah menguap (titik didih lebih rendah) dan kemudian diperoleh uap yang selanjutnya dikondensasi kembali menjadi zat cair. Zat cair hasil kondensasi ditampung dalam suatu bejana penerima (Cook dan Cullen, 1986). Proses penguapan terjadi akibat perpindahan energi yang menyebabkan perubahan bentuk zat (cair ke gas). Semakin besar perbedaan titik didih cairan yang akan dipisahkan maka akan semakin banyak komponen yang menguap sehingga memperkaya uap dan semakin cepat campuran akan terpisahkan dengan cara distilasi sederhana (Bernasconi, 1995). Sistem operasi dalam proses distilasi meliputi peristiwa penyerapan energi panas dari sinar matahari yang menembus kaca distilator oleh air laut yang ada di dalam distilator. Selain energipanas yang didapat dari sinar matahari langsung, proses penguapan dibantu oleh panas yang dihasilkan oleh energi listrik yang dikonversikan menjadi energi panas yang akan disalurkan ke air laut. Energi panas dari sinar matahari berasal dari sinar inframerah yang merupakan salah satu komponen dari sinar matahari. Sinar

matahari memiliki panjang gelombang (λ) antara $0,15 - 4\mu\text{m}$, dan hanya panjang gelombang (λ) antara $0,32 - 2\mu\text{m}$ yang mampu menembus kaca bening (Wisnubroto, 2004). Proses bantu pemanasan berasal dari kawat filament yang dialiri arus listrik. Arus listrik yang mengalir pada kawat filament menghasilkan panas yang akan menginduksi air laut. Jumlah energi panas yang terkumpul didalam rumah kaca bergantung pada lama penyinaran sinar matahari. Daerah tropis didekat equator sampai dengan $23,5^\circ$ LU lama penyinaran sekitar 12 jam. Proses penguapan hanya akan berlangsung jika air menerima masukan energy. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 gram air pada suhu 20°C adalah sebesar 586 cal atau sebesar 2453 Joule. Sedangkan untuk mencairkan 1 gram es pada suhu 0°C diperlukan energi sebesar 80 cal (Lakitan, 2002).

2.3 Air Laut

Keberadaan garam-garaman mempengaruhi sifat fisis air laut (seperti: densitas, kompresibilitas, titik beku, dan temperature dimana densitas menjadi maksimum) beberapa tingkat, tetapi tidak menentukannya. Beberapa sifat (viskositas, daya serap cahaya) tidak terpengaruh secara signifikan oleh salinitas. Dua sifat yang sangat ditentukan oleh jumlah garam di laut (salinitas) adalah daya hantar listrik (konduktivitas) dan tekanan osmosis. Garam-garaman utama yang terdapat di dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potassium (1%), dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromide, asam borak, strontium dan florida. Tiga sumber utama garam-garaman di laut adalah pelapukan batuan di darat, gas-gas vulkanik dan sirkulasi lubang-lubang hidrothermal (hydrothermal vents) di laut dalam (Lynne Talley, 2000).

Karena mengandung garam, titik beku air laut menjadi lebih rendah daripada 0°C (air laut bersalinitas 35%, titik bekunya $-1,9^\circ\text{C}$), sementara kerapatannya meningkat sampai titik beku (kerapatan maksimum air murni terjadi pada suhu 4°C). Sifat ini sangat penting sebagai penggerak pertukaran massa air panas dan dingin, memungkinkan air permukaan yang dingin terbentuk dan tenggelam ke dasar sementara air dengan suhu yang lebih hangat akan terangkat ke atas. Sedangkan titik beku dibawah 0°C memungkinkan kolom air laut tidak membeku. Sifat air laut yang dipengaruhi langsung oleh salinitas adalah konduktivitas dan tekanan osmosis.

Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas juga dapat mengacu pada kandungan garam dalam tanah. Kandungan garam pada sebagian besar danau, sungai, dan saluran air alami sangat kecil sehingga air ditempat ini dikategorikan sebagai air tawar. Kandungan garam sebenarnya pada air ini, secara definisi kurang dari 0,05%. Jika lebih dari itu, air dikategorikan sebagai air payau atau menjadi saline bila konsentrasinya 3 sampai 5%. Lebih dari 5% , ia disebut brine. Secara ideal, salinitas merupakan jumlah dari seluruh garam-garaman dalam gram pada setiap kilogram air laut. Secara praktis susah untuk mengukur salinitas di laut, oleh karena itu penentuan harga salinitas dilakukan dengan meninjau komponen yang terpenting saja yaitu klorida (Cl). Kandungan klorida ditetapkan pada tahun 1902 sebagai jumlah dalam gram ion klorida pada satu kilogram air laut jika semua halogen digantikan oleh klorida. Penetapan ini mencerminkan proses kimiawi titrasi untuk menentukan kandungan klorida (Lynne Talley, 2000).

2.4 Energi Matahari

Menurut Duffie dan William (1980), matahari merupakan sumber energy yang memiliki potensial sangat besar. Jumlah energi radiasi matahari yang ditangkap bumi 5000 kali lebih besar dibandingkan total masukan energi lain. Jumlah energi tersebut kemudian didistribusikan sebagai berikut:

1. 30% dipantulkan ke luar angkasa,
2. 47% diserap menjadi energi thermal suhu rendah dan diradiasikan ke luar angkasa,
3. 23% untuk proses penguapan dan pengembunan di lapisan bumi,
4. Kurang dari 5% diubah menjadi energi kinetik angin dan ombak lautan serta energi fotosintesis tanaman.

Matahari adalah kumpulan gas yang sangat panas berbentuk bola dengan diameter $1,39 \times 10^9$ m dan jarak rata-rata dari bumi $1,5 \times 10^{11}$ m. suhu permukaan matahari kira-kira 5762 K. Pada bagian inti diperkirakan antara 8×10^6 K – 40×10^6 K dan mempunyai densitas 100 kali densitas air. Energi matahari pada bagian inti dalam bola matahari berada pada suhu berjuta-juta derajat. Energi tersebut ditransfer ke permukaan dan diradiasikan keluar. Rangkaian proses konduksi dan konveksi terjadi dengan pancaran, penyerapan dan pantulan (Kreider, 1980:41).

Radiasi Surya di luar atmosfer bumi menurut Jansen (1995) adalah sebesar konstanta surya yaitu 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet), karbondioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah).

Radiasi matahari yang tersedia diperkirakan sebesar $0,48 \text{ kW/m}^2$ pada panjang gelombang $10^{-7} - 10^{-2} \mu\text{m}$, sedangkan yang sampai pada permukaan bumi per satuan luas diperkirakan $0,7 \text{ kW/m}^2$ pada intensitas maksimum di tengah hari. (Tanusekar, 2013:17).

2.5 Perpindahan Panas

Pada umumnya terdapat tiga cara perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan panas terjadi melalui media satu ke media lainnya yang dapat disebabkan oleh perbedaan suhu.

2.5.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi di dalam media atau dari media ke media lain yang bersinggungan secara langsung dengan saling menukar energi kinetik antar molekul tanpa ada pergerakan dari molekul tersebut (Pitts dan Sissom, 1979).

Menurut hukum Fourier, dimana laju aliran panas (Q) secara konduksi dalam suatu bahan yaitu berbanding lurus dengan nilai konduktivitas *thermal* (k), perbandingan temperatur (ΔT), luas penampang (A) dari benda yang tegak lurus arah perpindahan panas tersebut namun, berbanding terbalik dengan tebal plat (Δx) dan dinyatakan seperti dalam persamaan.

$$Q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2-1)$$

2.5.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas secara aliran yang terjadi pada media yang dipanaskan. Konveksi bebas atau alamiah terjadi karena fluida (cairan dan gas) berubah densitasnya (kerapatannya). Gerakan fluida zat cair maupun gas terjadi

karena gaya apung yang dialaminya, densitas fluida di dekat permukaan perpindahan panas berkurang sebagai akibat proses pemanasan. Konveksi paksa terjadi apabila gerakan fluida yang melewati permukaan suatu media dibantu dengan blower atau pompa sehingga perpindahan panasnya lebih besar dari konveksi bebas (Holman, 1991).

Kreith (1986) menyatakan bahwa viskositas fluida akan berpengaruh terhadap profil kecepatan aliran, dimana fluida yang viskositasnya besar maka profil kecepatan aliran akan berbentuk relatif tumpul jika dibandingkan dengan fluida yang viskositasnya kecil. Hal ini disebabkan oleh gaya geser, semakin besar viskositas maka semakin besar gaya gesernya. Viskositas ini mempengaruhi laju perpindahan panas di daerah dinding. selain viskositas, laju perpindahan panas secara konveksi juga dipengaruhi oleh aliran fluida yang ditiupkan.. Semakin besar kecepatan aliran maka akan menyebabkan semakin besarnya gradien temperatur sehingga panas yang dibawa fluida tersebut semakin besar. Sifat thermal dari fluida seperti konduktivitas thermal dan kalor spesifik juga mempengaruhi perpindahan kalor secara konveksi. laju perpindahan secara konveksi dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Dimana Q adalah laju perpindahan panas, h adalah koefisien perpindahan panas, A adalah luas permukaan dan ΔT adalah perbedaan temperatur.

2.5.3 Radiasi

Kreith (1986) menyatakan bahwa radiasi adalah proses perambatan panas melalui gelombang elektromagnetik yang dapat terjadi dalam ruang hampa atau berudara. Perumusan radiasi panas didasarkan pada radiasi benda hitam yang memancarkan energi.

Jumlah energi yang meninggalkan suatu permukaan sebagai panas radiasi tergantung pada suhu mutlak dan sifat permukaan tersebut. Radiator (penyinar) ideal

atau benda hitam memancarkan energi radiasi permukaannya dengan laju Q yang dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$Q = \frac{e\sigma AT^4}{t} \quad (2.3)$$

Dimana Q adalah laju perpindahan panas, σ adalah tetapan Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2\text{K}^4$), A adalah luas permukaan benda, T adalah suhu mutlak dan t adalah waktu.

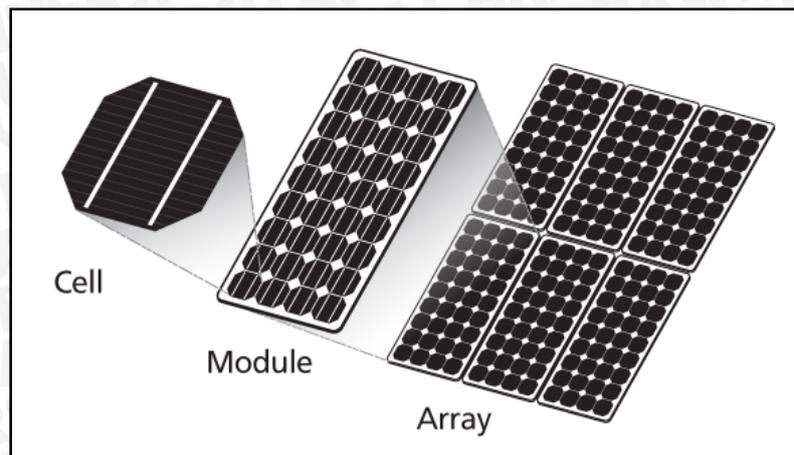
2.6 Suhu

Suhu merupakan salah satu parameter utama termodinamika. Dimana pada fisika, suhu ialah property fisik dari sebuah sistem yang mendasari pengertian umum dari panas dan dingin. Perbedaan yang mendasar antara suhu dan kalor ialah kalor merupakan salah satu bentuk energy yang menyatakan jumlah panas sedangkan suhu merupakan suatu takaran yang menyatakan ukuran derajat dingin atau panasnya suatu benda. Suhu titik didih suatu zat cair adalah suhu dimana tekanan uap sama dengan tekanan luar. Suhu titik didih akan turun apabila tekanannya turun begitupun sebaliknya (sears dan zemansky, 1994).

2.7 Solar Cell

Energi surya atau dalam dunia internasional lebih dikenal sebagai solar cell atau photovoltaic cell merupakan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe P dan tipe N, yang mampu merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Pengertian photovoltaic sendiri merupakan proses merubah cahaya menjadi energi listrik. Kata photovoltaic sendiri sebenarnya berasal dari bahasa Yunani photos yang berarti cahaya dan volta yang merupakan nama ahli fisika dari Italia yang menemukan tegangan listrik. Sehingga secara bahasa dapat diartikan sebagai cahaya dan listrik (photovoltaic). (Mukund, 1999).

Modul solar cell terdiri dari beberapa sel, yang setiap selnya menghasilkan tegangan antara 0,5 volt sampai 0,6 volt. Jika 32 sampai 34 sel yang terpasang maka secara seri maka tegangan keluaran yang dihasilkan sekitar 18 volt (Saputra, 2008:4).



Gambar 2.1 Solar cell, module, array

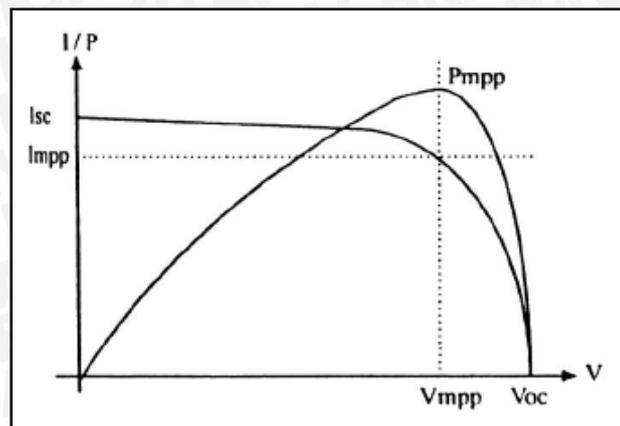
(<http://www.samlexsolar.com/learning-center/solar-cell-module-array.aspx>)

Solar cell banyak memiliki keuntungan, yaitu:

1. Tidak membutuhkan bahan bakar minyak dan tidak ada gas emisi selama beroperasi, sehingga tidak menyebabkan polusi lingkungan. Energi yang dibutuhkan hanyalah energi matahari yang didapatkan secara gratis. Solar cell juga beroperasi tanpa adanya suara yang bising dan tidak ada bagian yang bergerak sehingga dapat mengurangi biaya operasional dan mengurangi pekerjaan maintenance untuk pembersihan.
2. Modul solar cell terpercaya, stabil, tahan lama, dan memiliki waktu operasi lebih dari 10 tahun karena modul solar cell tahan terhadap perubahan cuaca.
3. Sistem solar cell adalah unit modular sehingga dapat dibangun untuk memenuhi kebutuhan perbedaan tenaga yang siap untuk ditambahkan ke sistem yang ada untuk memenuhi kenaikan kebutuhan. (Saputra, 2008:4)

Namun solar cell juga memiliki kelemahan, yaitu:

1. Output tenaga tergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterimanya.
2. Hanya menghasilkan tegangan DC.
3. Biaya awal lebih besar dibandingkan dengan sistem pengkonversian energi yang lainnya. (Saputra, 2008:5)



Gambar 2.2 Kurva I-V Solar Cell

(Sumber: Rizky, 2013)

Sel surya dapat beroperasi sesuai dengan kurva karakteristik Arus-Tegangan. Terdapat 2 titik penting yaitu tegangan open circuit (V_{oc}) dan arus short circuit (I_{sc}). Open Circuit Voltage (V_{oc}) merupakan tegangan maksimal yang dapat dicapai panel surya pada saat tidak ada arus. Daya pada saat V_{oc} dan I_{sc} adalah 0 watt. Short Circuit Current (I_{sc}) adalah arus keluaran maksimal dari panel surya pada kondisi tidak ada resistansi. Short circuit current dapat diukur dengan menghubungkan singkat terminal positif dan negatif dari modul panel surya (Rizky, 2013:5).

2.8 Sensor Suhu

Akan terjadi perubahan panas di dalam tungku, oleh karena itu untuk mengetahui berapa besar perubahan suhu tersebut dibutuhkan sensor suhu. PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C .



Gambar 2.3 PT 100

(<http://accessories.picotech.com/pt100-temperature-sensors.html>)

Menurut keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yakni *Class-A* dan *Class-B*. PT100 *Class-A* memiliki akurasi $\pm 0,06$ ohm dan PT100 *Class-B* memiliki akurasi $\pm 0,12$ ohm. Keakurasiannya ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Akurasi PT100 *Class-A* bisa menurun hingga $\pm 0,43$ ohm ($\pm 1,45^{\circ}\text{C}$) pada suhu 600°C , dan PT100 *Class-B* bisa menurun hingga $\pm 1,06$ ohm ($\pm 3,3^{\circ}\text{C}$) pada suhu 600°C .

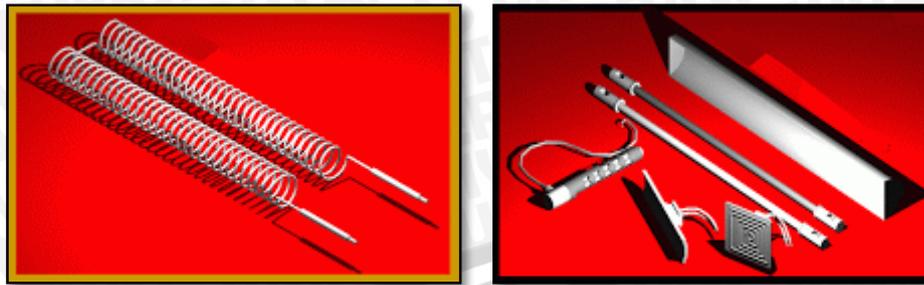
2.9 Elemen Pemanas

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen.

Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah niklin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan.

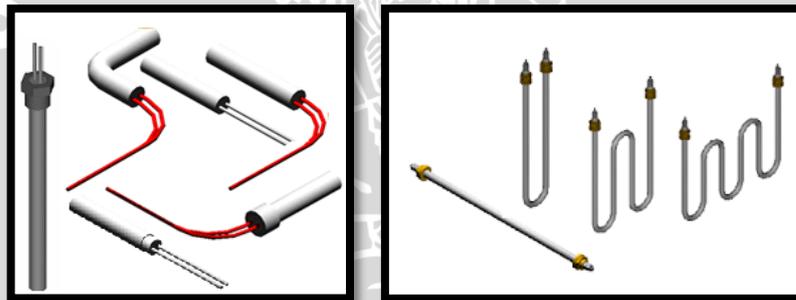
Ada 2 macam jenis utama pada elemen pemanas listrik ini yaitu :

- Elemen Pemanas Listrik bentuk dasar yaitu elemen pemanas dimana *Resistance Wire* hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk ini adalah : Keramik Heater, Silica Dan Quartz Heater, Bank Channel heater, Black Body Keramik Heater.



Gambar 2.4 Elemen pemanas listrik bentuk dasar

- Elemen pemanas listrik bentuk lanjut merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam untuk maksud sebagai penyesuaian terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah : *mild stell*, *stainless stell*, tembaga dan kuningan.



Gambar 2.5 Elemen pemanas listrik bentuk lanjut

2.10 Kontroler

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu dengan syarat utama yaitu sistem pengendalian harus stabil. Stabil dalam arti tahan terhadap gangguan yang mungkin terjadi selama proses dalam mencapai suatu tujuan. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*overshoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*nya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respons transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Dalam sistem pengendalian terdapat 2 macam *loop*:

1. Pengendalian dengan *loop* terbuka

Sistem kontrol *loop* terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol *loop* terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpan balikan untuk dibandingkan dengan masukan.

2. Pengendalian dengan *loop* tertutup

Sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol yang keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Disebut juga sistem kontrol yang menggunakan umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.

2.10.1 Kontroler Proporsional

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

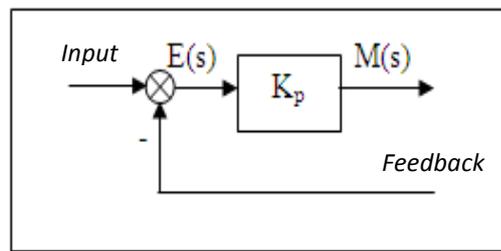
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.4)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.5)$$

Di mana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K., 1997).



Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata K., 1997

2.10.2 Kontroler Integral

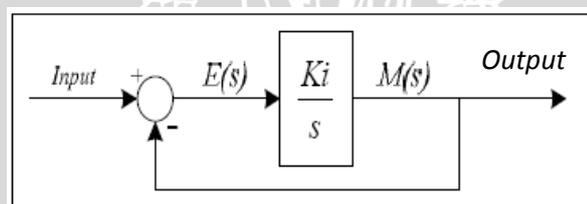
Pada kontroler dengan aksi integral, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$.

Jadi,

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (2.6)$$

Dengan K_i adalah konstanta Integral. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon steady-state, namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde sistem

Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi dua kali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner. Aksi kontrol integral seringkali disebut kontrol *reset* (Ogata K.,1997).



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Integral

Sumber: Ogata K., 1997

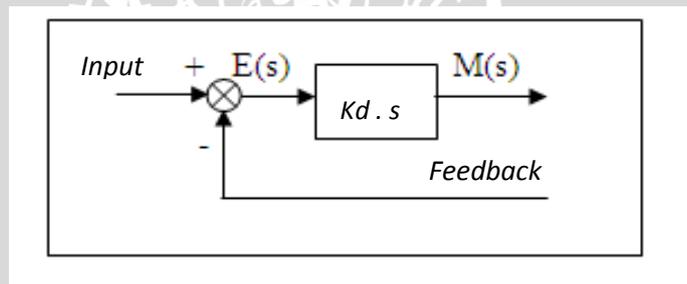
2.10.3 Kontroler Diferensial

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K.,1997). Kontroler diferensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*.

Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d \cdot s \quad (2.7)$$

Dengan K_d adalah konstanta Diferensial.



Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Diferensial

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

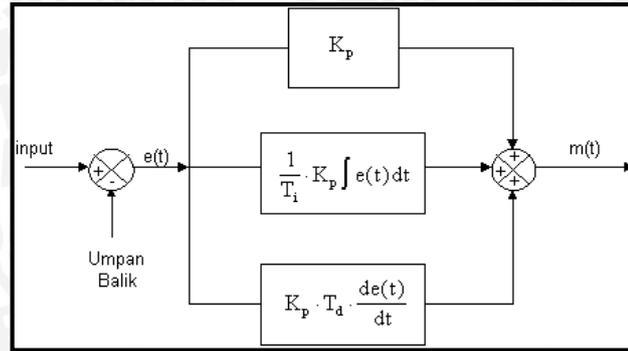
2.10.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan diferensial mempunyai keunggulan dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.8)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \quad (2.9)$$



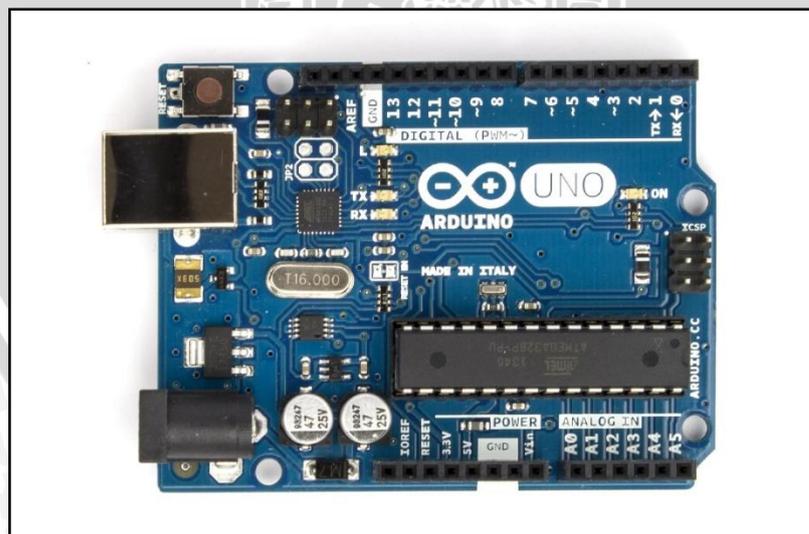
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler PID

Sumber: Ogata K., 1997

2.11 Arduino Uno

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis Atmega328. Memiliki 14 pin input dan output digital, dimana 6 pin diantara pin tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

“Uno” berarti “satu” dalam Bahasa Italia dan nama ini diberikan untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Arduino Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi Arduino. Tampilan fisik Arduino Uno dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Tampak depan Arduino Uno

(<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>)

2.11.1 Daya

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya dapat dipilih secara otomatis. Daya eksternal (*non-USB*) dapat berasal baik dari adaptor AC-DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan sebuah 2.1mm konektor pusat-positif ke konektor listrik pada board. Baterai dapat dimasukkan ke dalam header pin Gnd dan Vin dari konektor daya.

Board dapat beroperasi pada pasokan eksternal 6 sampai 20 volt. apabila dicatu kurang dari 7V, pin 5V dapat menyediakan kurang dari 5V dan board bisa menjadi tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan merusak board. Kisaran yang disarankan adalah 7 sampai 12 volt.

Pin untuk daya adalah sebagai berikut:

- VIN. Tegangan input ke board Arduino ketika itu menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan 5 volt dari koneksi USB atau sumber daya lain). Anda dapat menyediakan tegangan melalui pin ini, atau jika memasok tegangan melalui konektor listrik, mengaksesnya melalui pin ini.
- 5V. catu daya yang digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya di dalam board. Ini bisa masuk dari VIN melalui regulator on-board, atau dipasok oleh USB atau suplai 5V lainnya.
- 3V3. 3,3 volt pasokan yang dihasilkan oleh chip FTDI *on-board*. Menarik arus maksimum 50 mA.
- GND. Pin *ground*.

2.11.2 Pemrograman

Arduino Uno dapat diprogram dengan software Arduino. ATmega1280 pada Arduino Uno dilengkapi dengan bootloader yang memungkinkan untuk mengupload kode baru tanpa menggunakan programmer hardware eksternal. Ini berkomunikasi menggunakan protokol STK500 asli.

Anda juga bisa melewati *bootloader* dan program mikrokontroler melalui ICSP (*In-Circuit Serial Programming*).

2.11.3 Memory

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk *bootloader*), 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM

2.11.4 Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin digital di Arduino UNO dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi *pinMode* (), *digitalWrite* (), dan *digitalRead* (), beroperasi dengan daya 5 Volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki *internal pull-up* resistor (secara *default* terputus) dari 20-50 kOhm.



BAB III

METODE PENELITIAN

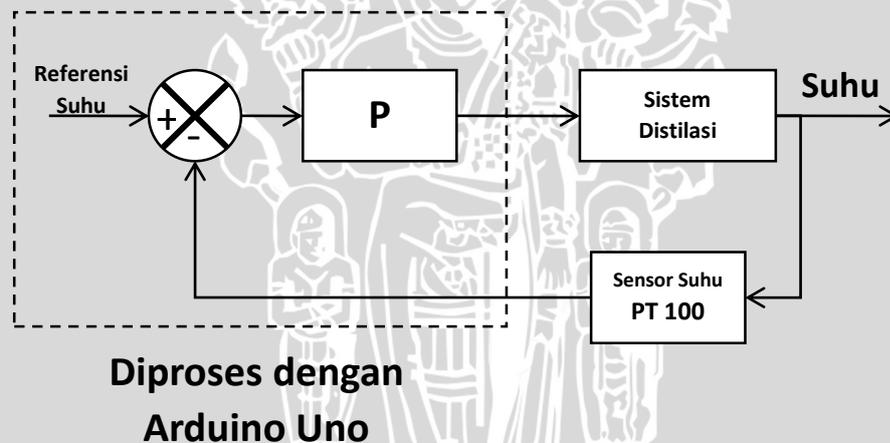
Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan diuraikan sebagai berikut:

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan agar dapat memahami komponen penyusun sistem. Studi literatur yang dilakukan tentang sensor suhu, elemen pemanas, kontroler PID, dan Arduino Uno.

3.2 Perancangan Blok Diagram Sistem

Pada perancangan alat diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat bisa bekerja sesuai rencana.



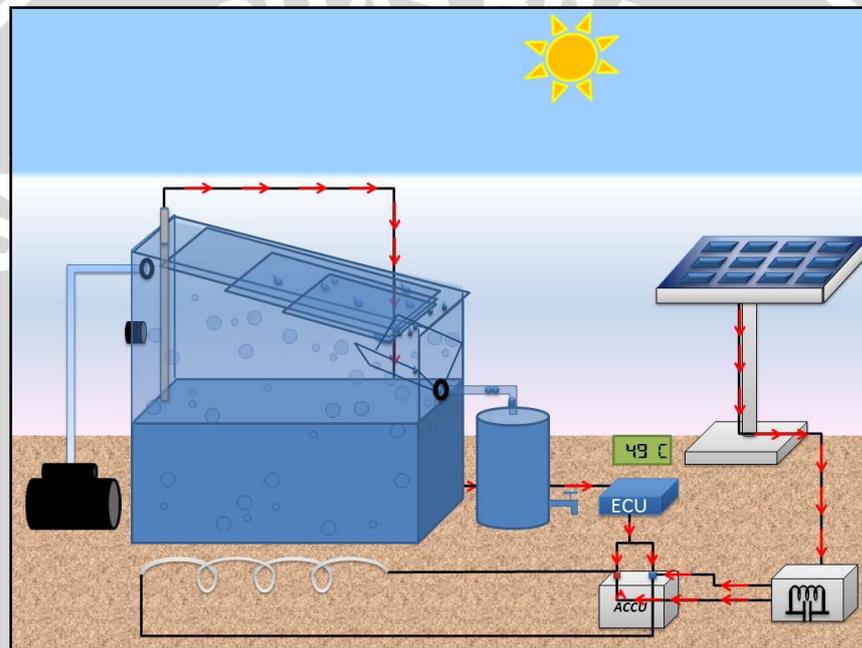
Gambar 3.1 Blok Diagram sistem pengendalian loop tertutup

3.3 Prinsip Kerja

Variabel yang dikendalikan dalam sistem ini adalah suhu. Suhu dikendalikan melalui pengaturan pada elemen pemanas. Set point diberikan sebagai masukan untuk kontroler, agar nantinya suhu yang berada di dalam tangki bisa sesuai dengan yang kita inginkan.

3.4 Perancangan Perangkat Keras

1. Tangki larutan, merupakan tempat berlangsungnya proses penguapan larutan (air asin)
2. Tangki akumulator, merupakan tempat untuk menampung cairan hasil kondensasi
3. Elemen pemanas
4. Perangkat kontrol adalah Arduino Uno
5. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu PT100



Gambar 3.2 Sistem Distilasi Air Laut

3.5 Perancangan Perangkat Lunak

Untuk perancangan perangkat lunak hal pertama yang dilakukan adalah mengetahui karakteristik *heater* setelah itu dilakukan perhitungan untuk menentukan algoritma kontroler dengan kontroler PID. Setelah didapatkan algoritma, kemudian dibuat program pada Arduino Modul.

3.6 Pengujian dan Analisis Sistem

Pengujian sistem diperlukan untuk memastikan sistem ini berjalan dengan baik sesuai dengan yang dikehendaki. Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dengan program *software* sudah dibuat, maka akan dilakukan pengujian dan analisa alat sebagai berikut:

1. Pengujian setiap komponen *hardware*
2. Kalibrasi pada sensor yang digunakan
3. Penggabungan semua blok rangkaian menjadi sebuah sistem
4. Pengujian alat secara keseluruhan
5. Evaluasi dan analisa pengujian sistem yang didapat

3.7 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari perealisasi sistem pengendalian suhu pada proses distilasi air laut tenaga *hybrid* untuk menghasilkan air tawar menggunakan Arduino secara keseluruhan. Beberapa hal hasil pengujian disampaikan dalam kesimpulan disertai realita yang disusun secara ber-urutan. Sedangkan saran diberikan untuk pengembangan lebih lanjut skripsi ini.

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam bab ini pembahasan akan ditekankan pada perancangan dan pembuatan sistem pengendali suhu pada alat distilasi air laut untuk menghasilkan air tawar. Pada dasarnya perancangan alat meliputi perancangan sistem, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak.

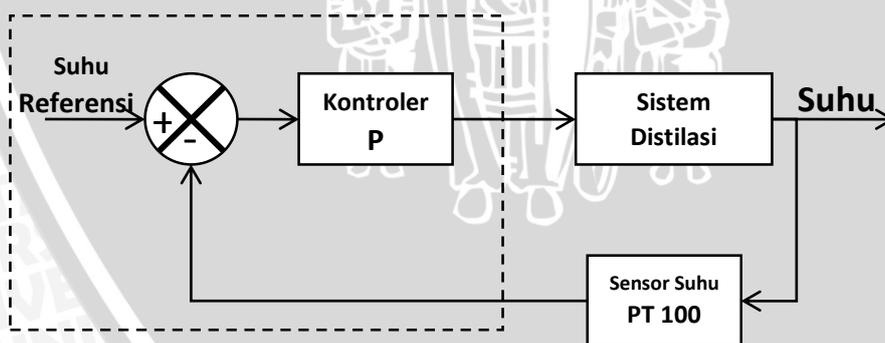
4.1 Perancangan Sistem

Perancangan alat ini dilakukan secara bertahap dalam bentuk blok sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknya maupun secara keseluruhan. Perancangan ini terdiri atas:

1. Perancangan perangkat keras meliputi rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100, rangkaian pemanas, dan rumah *evaporator*.
2. Perancangan perangkat lunak (*software*) meliputi pembuatan dan penyelesaian *program* pada *software* Arduino untuk Arduino UNO yang terdiri atas program utama, *sub* program RPS dan sensor suhu PT100, dan *sub* program motor DC servo.

4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Diproses dengan
Arduino Uno

Gambar 4.1 Diagram Balok Sistem Pengendalian Suhu

Keterangan diagram blok pada Gambar 4.1 adalah sebagai berikut.

- *Set point* sistem adalah suhu 70° Celcius yang telah dikonversikan menjadi tegangan 3,47V oleh rangkaian pengondisi sinyal.
- Pusat pengendalian sistem adalah Arduino Uno yang memberikan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) pada motor DC Servo.
- *Dimmer heater* diatur besar putarannya dengan aktuatornya adalah motor DC servo.
- Sensor PT100 digunakan sebagai *feedback* sistem yang dihubungkan dengan rangkaian pengondisi sinyal agar menghasilkan tegangan yang sesuai dengan rentang tegangan masukan kontroler.

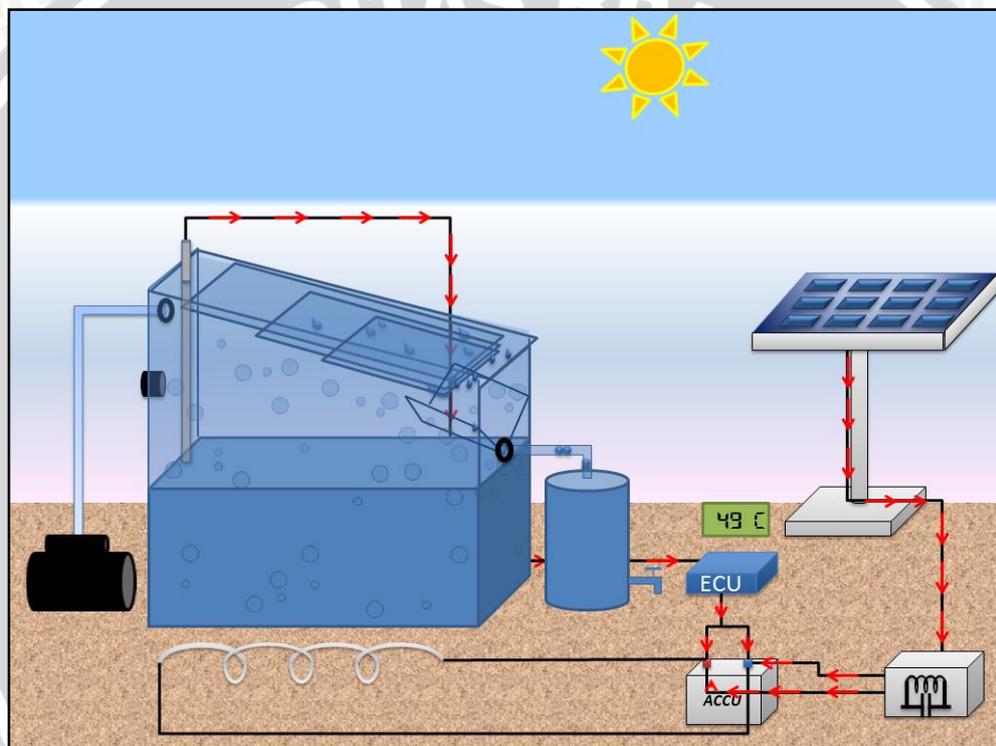
4.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem pengendalian suhu pada proses distilasi air laut tenaga *hybrid* untuk menghasilkan air tawar menggunakan Arduino adalah sebagai berikut.

1. Rentang suhu yang dapat diproses adalah 0-100° Celcius.
2. Sinar matahari sebagai sumber utama sistem. Sinar matahari akan memberikan energi untuk *solar cell* dan memanaskan rumah *evaporator* secara radiasi.
3. Rumah *Evaporator* (wadah air laut yang akan di uapkan) yang digunakan adalah *prototype* untuk penelitian yang dibuat dengan desain sendiri dengan panjang 35 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 25 cm.
4. Accu sebagai sumber daya sistem.
5. Air yang akan digunakan untuk proses distilasi adalah air laut.
6. Proses distilasi dilakukan dengan menggunakan 3 liter air laut.
7. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu PT100 pada rentang suhu 0-100° Celcius. Resistansi PT100 pada rentang suhu tersebut adalah 100-138,5 Ω .
8. Rangkaian pengondisi sinyal PT100 memiliki rentang keluaran 0-4,96 V.
9. Sensor suhu PT100 akan membaca suhu di dalam rumah *evaporator* kemudian masuk ke RPS menggunakan AD620. Hasil penguatan sinyal akan diolah oleh *microcontroller*.
10. Inverter mengubah tegangan 12 volt DC menjadi 220 volt AC yang kemudian digunakan untuk menyuplai pemanas.

11. Pengaturan panas ditentukan dengan putaran *dimmer* yang diatur besar sudutnya oleh motor DC Servo. Motor DC servo menerima sinyal PWM dari mikrokontroler Arduino Uno.
12. Air laut di dalam rumah *evaporator* akan menguap dan menghasilkan air tawar.
13. Pusat pengendali sistem adalah Arduino Uno.

Skema perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Skema Keseluruhan Sistem

4.4 Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja sistem adalah sebagai berikut:

- Catu daya yang digunakan terdiri atas 3 macam, yaitu:
 1. Catu daya 5V DC digunakan sebagai catu daya bagi motor DC Servo dan rangkaian pengondisi sinyal.
 2. Catu daya +/- 12V DC digunakan sebagai catu daya bagi *op-amp* AD620.

3. Catu daya 12V DC diubah menjadi Catu daya 220V AC dengan *inverter* yang digunakan sebagai catu daya bagi heater.

- PT100 merupakan sensor suhu yang bersifat resistif, artinya jika suhu berubah maka resistansi PT100 juga akan berubah. Dengan demikian, tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal juga akan berubah. Rentang tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal adalah 0-4,94V dengan rentang suhu 0-100° C.
- Tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal berfungsi sebagai masukan analog bagi mikrokontroler.
- Mikrokontroler menerima sinyal analog dari rangkaian pengondisi sinyal berupa tegangan 0 – 4,94V.
- PWM keluaran mikrokontroler digunakan sebagai sinyal kontrol bagi motor DC servo.
- Motor DC servo bergerak sesuai dengan PWM yang diterima pada pin kontrolnya. Besarnya sudut putaran DC Servo tersebut akan menggerakkan *dimmer heater* spiral.
- Komunikasi antara mikrokontroler dengan PC menggunakan kabel USB A to B.

4.5 Perancangan Perangkat Keras

4.5.1 Perancangan Rangkaian Pemanas

Elemen pemanas yang digunakan menggunakan sumber daya AC sehingga dibutuhkan *inverter* untuk mengubah sumber daya dari *accu* berupa DC menjadi AC.

4.5.1.1 Perancangan rangkaian *inverter*

Rangkaian *inverter* dibutuhkan untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. *Inverter* yang digunakan memiliki kapasitas 500 Watt. *Inverter* akan memberikan masukan ke elemen pemanas dan suplai untuk rangkaian RPS dan rangkaian isolasi *cuk converter*.

4.5.1.2 Perancangan kontroler proporsional

Kontroler proporsional digunakan untuk mengatur besar daya yang dikeluarkan *heater* untuk memanaskan air laut yang terdapat pada *evaporator* melalui motor servo. Pengaturan besar daya yang dikeluarkan *heater* diatur berdasarkan perintah dari *microcontroller*.

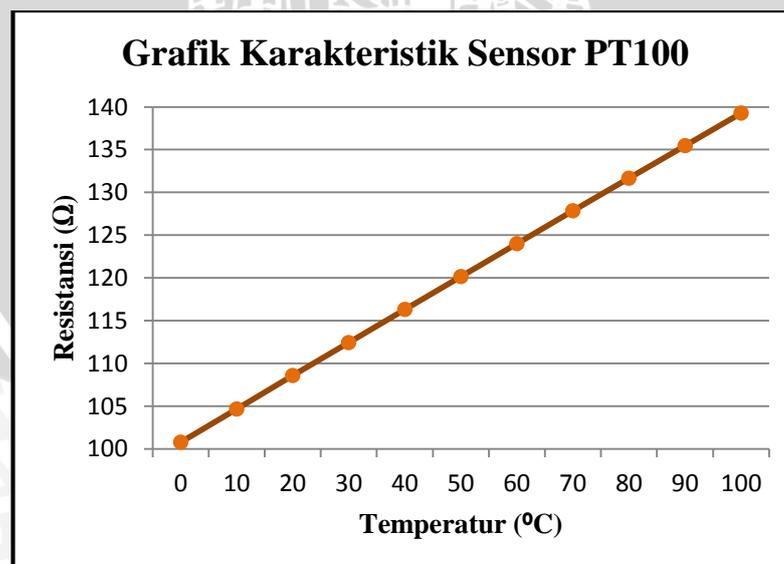
4.5.2 Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100

Sensor suhu PT100 akan memberikan sinyal untuk *microcontroller* yang akan diolah untuk mengatur aliran daya dari *accu* melalui *dimmer*.

4.5.2.1 Rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu PT100

Sebelum merancang rangkaian pengondisi sinyal, perlu diketahui karakteristik sensor suhu PT100. Berdasarkan teori yang didapat pada kajian teori, sensor PT100 merupakan sensor suhu jenis RTD (*Resistance Temperature Detector*) dengan koefisien positif. Sehingga perubahan temperatur akan berbanding lurus dengan resistansi PT100.

PT100 yang digunakan pada alat distilasi air laut ini digunakan untuk rentang pembacaan suhu antara 0-100° Celcius. Gambar 4.3 menunjukkan grafik resistansi PT100 terhadap perubahan suhu pada rentang suhu 0-100° Celcius.



Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Sensor PT100 (*Datasheet*)

Berdasarkan *datasheet* sensor PT100, maka dapat dicari fungsi persamaan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu pada Persamaan 4-1.

$$\frac{R_{PT100} - 100}{138,5 - 100} = \frac{T - 0}{100 - 0}$$

$$\frac{R_{PT100} - 100}{38,5} = \frac{T}{100}$$

$$R_{PT100} - 100 = 0,385T$$

$$R_{PT100} = 0,385T + 100 \quad (4-1)$$

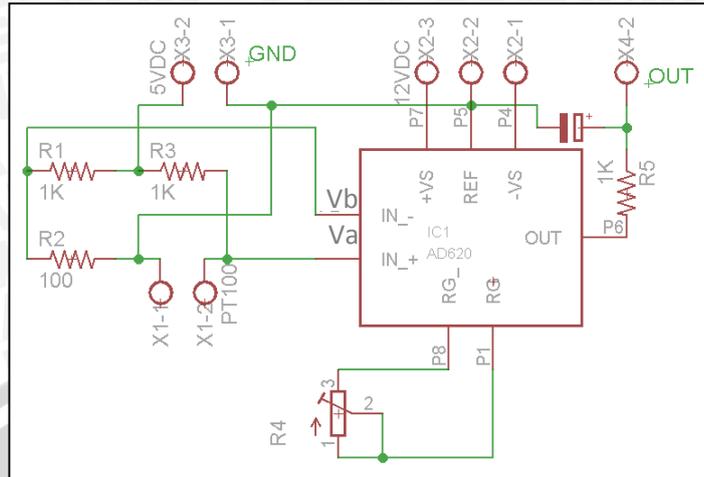
dengan:

$$R_{PT100} = \text{Resistansi Sensor PT100 } (\Omega)$$

$$T = \text{Temperatur } (^{\circ}\text{C})$$

Keluaran sensor PT100 adalah resistansi. Oleh karena itu, diperlukan suatu rangkaian yang dapat mengubah besar resistansi sensor PT100 ke dalam tegangan tertentu agar perubahan suhu yang dideteksi oleh sensor PT100 dapat dideteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT100 tersebut adalah rangkaian jembatan *wheatstone*.

Rangkaian jembatan *wheatstone* termasuk dalam rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100. Selain rangkaian jembatan *wheatstone*, pada rangkaian pengondisi sinyal juga terdapat penguat tegangan *op-amp* AD620, dan *low-pass filter*. Gambar 4.4 menunjukkan *schematic* lengkap dari rangkaian pengondisi sinyal PT100.



Gambar 4.4 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100

Berikut ini akan dibahas mengenai penghitungan masing-masing rangkaian pada rangkaian pengondisi sinyal.

1. Rangkaian Jembatan *Wheatstone*

Untuk mengetahui tegangan keluaran jembatan *wheatstone* maka diperlukan nilai resistansi PT100 ketika 0 dan 100° Celcius menggunakan Persamaan 4-1.

Pada suhu 0° Celcius:

$$R_{pt100} = 100 + (0,385 \times 0^{\circ}C)$$

$$R_{pt100} = 100 \Omega \tag{4.2}$$

Pada suhu 50° Celcius:

$$R_{pt100} = 100 + (0,385 \times 100^{\circ}C)$$

$$R_{pt100} = 138,5 \Omega \tag{4.3}$$

Berdasarkan Gambar 4.4 maka dapat dihitung nilai V_a , V_b , dan ΔV menggunakan rumus pembagi tegangan jembatan *wheatstone* pada suhu 0° Celcius dan 100° Celcius.

Pada suhu 0° Celcius:

$$V_a = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 V \tag{4-4}$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 \tag{4-5}$$

$$\Delta V_0 = 0 V \tag{4-6}$$



Pada suhu 100° Celcius:

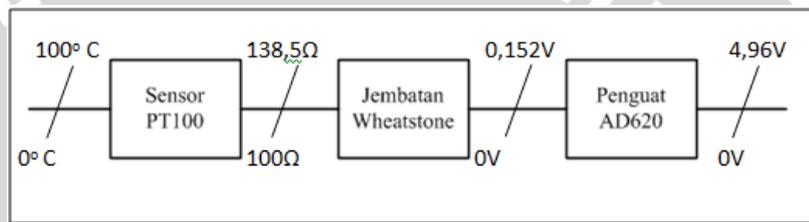
$$V_a = \frac{138,5}{1138,5} \times 4,94 = 0,602 \text{ V} \quad (4-7)$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 \text{ V} \quad (4-8)$$

$$\Delta V_{100} = 0,152 \text{ V} \quad (4-9)$$

2. Penguat AD620

Untuk mempermudah penghitungan perancangan rangkaian pengondisi sinyal PT100, maka dibuatlah ilustrasi skema *input output* seperti Gambar 4.5 berdasarkan hasil penghitungan pada Persamaan 4-6 dan 4-9.



Gambar 4.5 Skema *input* dan *output* rangkaian pengondisi sinyal

Berdasarkan Gambar 4.5, penguat AD620 digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran jembatan *wheatstone* menjadi 0-4,94 V sesuai dengan rentang tegangan yang dapat dibaca oleh *input* analog ADC. Besarnya penguatan (G) yang dilakukan AD620 dihitung menggunakan Persamaan 4-10.

$$G = \frac{4,94}{\Delta V_{100} - \Delta V_0} \quad (4-10)$$

$$G = \frac{4,94}{0,152} = 33,068$$

Besarnya penguatan yang dilakukan AD620 diatur dengan memberikan nilai R_G yang sesuai. Besarnya R_G ditentukan dengan menggunakan Persamaan 4-11. Rumus tersebut didapat dari *datasheet* AD620.

$$R_G = \frac{49.400\Omega}{G-1} \quad (4-11)$$

$$R_G = \frac{49,400\Omega}{33,068-1} = 1540,47\Omega \approx 1540 \Omega$$

3. Rangkaian *Low-pass Filter*

Keluaran sensor PT100 rentan terhadap *noise* sehingga perlu ditambahkan *low-pass filter* untuk mengurangi *noise* yang terjadi. Rangkaian *low-pass filter* dibuat dengan komponen pasif yaitu R dan C yang masing-masing bernilai 1000 ohm dan 100 μ F agar dapat meredam frekuensi diatas 0,0628 Hz. Frekuensi *cut-off* pada *low-pass filter* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4-12.

$$f_c = \frac{1}{2 \pi R C} \quad (4-12)$$

$$f_c = \frac{1}{(2 \pi)(1k\Omega)(100\mu F)} \quad (4-13)$$

$$f_c = 0,0628 \text{ Hz}$$

dimana :

f_c = Frekuensi *cut-off* (Hz)

R = Resistansi (Ω)

C = Kapasitansi (F)

4.5.3 Perancangan Sistem Microcontroller

Perancangan sistem ini menggunakan *Microcontroller* Arduino Uno yang berbasis ATMEGA 328. *Microcontroller* berfungsi untuk mengolah data masukan dari sensor suhu PT100 dan mengatur rangkaian *dimmer* dan motor DC servo agar dapat mengatur aliran daya sesuai dengan perencanaan. Fungsi setiap pin sistem *microcontroller* Arduino Uno adalah sebagai berikut:

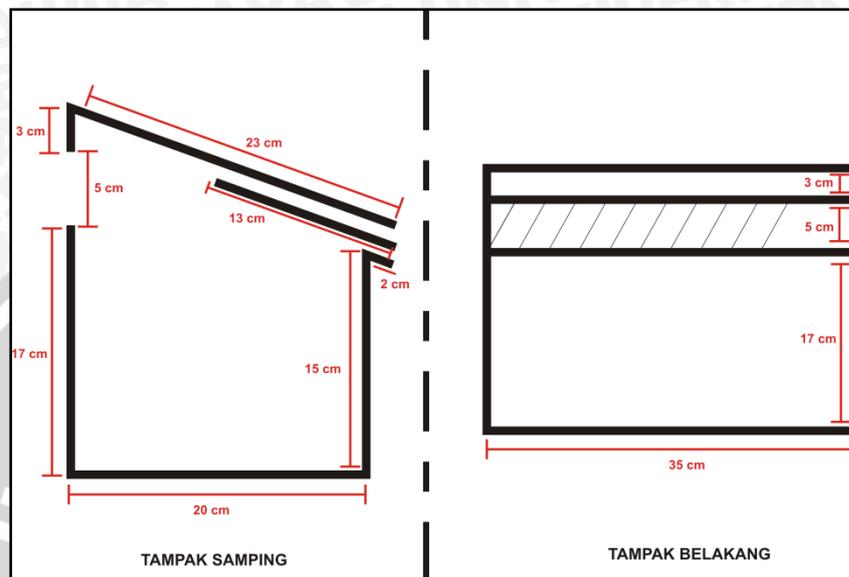
1. Pin A.0 digunakan untuk *analogRead* temperatur.
2. Pin 5 digunakan untuk motor DC servo.

4.5.4 Perancangan Rumah *Evaporator*

Perancangan rumah *evaporator* didasarkan pada energi matahari yang diterima per satuan luas. Daya tampung maksimal dari rumah *evaporator*

ditentukan sebesar 12.500 cm^3 atau sebesar 12,5 liter. Rumah *evaporator* memiliki panjang 35 cm, lebar 20 cm, dan tinggi maksimal 25 cm.

Rumah *evaporator* terbuat dari kaca bening 3 mm dan didesain agar kedap air. Gambar 4.6 menunjukkan desain dari rumah *evaporator*.



Gambar 4.6 Gambar perancangan rumah *evaporator*

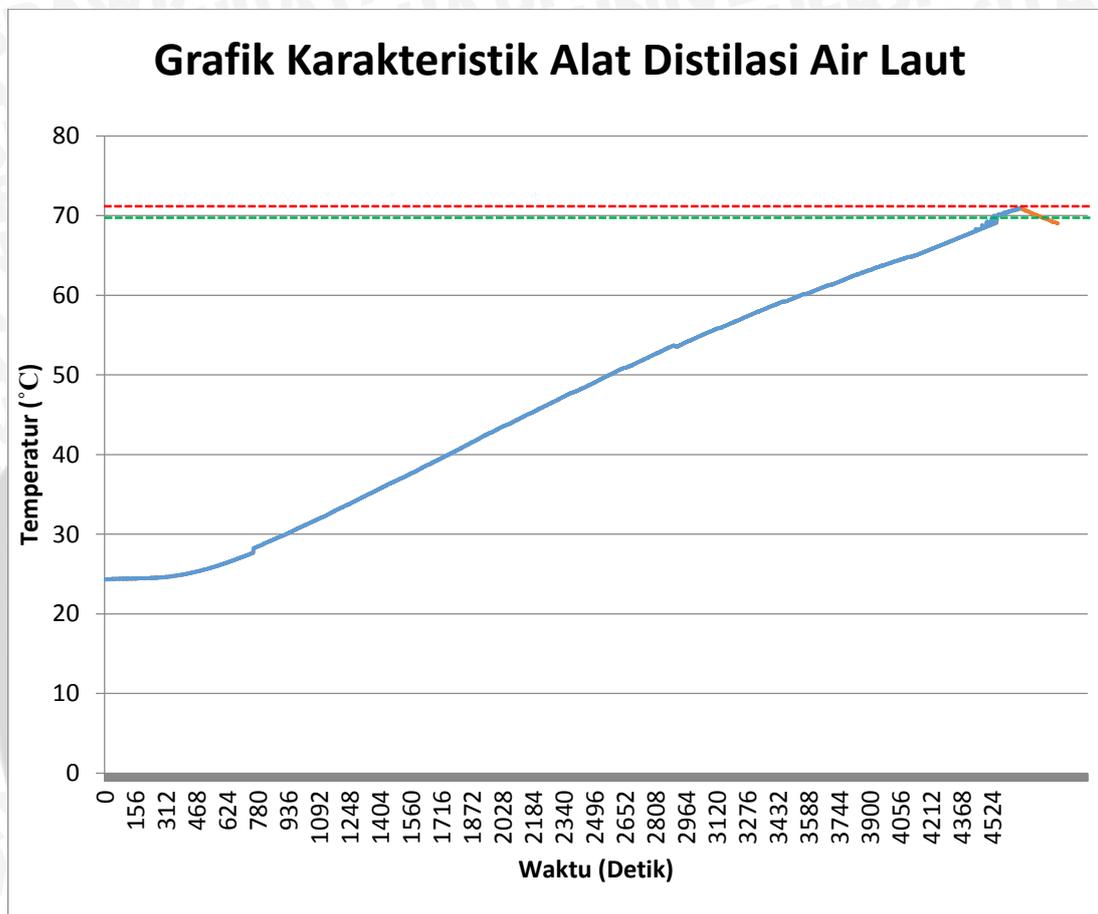
4.5.5 Karakteristik Alat Distilasi Air Laut

Alat distilasi air laut tanpa pengendali suhu terdiri atas *heater* spiral dan rumah *evaporator*. *Heater* spiral yang digunakan memiliki daya maksimal 350 Watt dengan elemen pemanas berupa konduktor berbentuk spiral sebagai penghantar panas. Kelemahan dari *heater* jenis tersebut adalah adanya panas sisa walaupun *heater* tidak lagi mengalami pemanasan yang mengakibatkan sistem membutuhkan waktu lebih panjang untuk dapat kembali ke *set point*. Gambar 4.7 merupakan grafik karakteristik alat distilasi air laut untuk menghasilkan air tawar. Grafik karakteristik tersebut didapat dengan memaksimalkan daya *heater* spiral kemudian mematikannya ketika suhu air laut mencapai *set point* yaitu 70° Celcius.

Berdasarkan grafik karakteristik, ketika *heater* 350 Watt diputus dari catu daya pada suhu 70° Celcius, suhu pada rumah *evaporator* tetap naik hingga mencapai sekitar 72° Celcius. Sehingga dapat diketahui bahwa beda suhu (*lagging temperature*) mencapai 2° Celcius.

Waktu yang diperlukan alat tersebut untuk mencapai suhu 70° Celcius adalah 4549 detik atau 75,8 menit. Sedangkan waktu yang diperlukan alat tersebut untuk

mencapai suhu *steady* (72° Celcius) adalah 4955 detik atau 82,5 menit. Dengan demikian waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai *steady* dari kedudukan *set point*nya adalah 4495 detik.



Gambar 4.7 Grafik Karakteristik Alat Distilasi Air Laut

4.5.6 Perancangan Kontroler

Untuk mengetahui parameter kontroler yang tepat untuk sistem pengendalian suhu pada alat distilasi air laut diperlukan suatu perancangan kontroler. Berdasarkan grafik karakteristik alat distilasi air laut pada Gambar 4.7, kontroler yang sesuai untuk *plant* dengan karakteristik tersebut adalah kontroler proporsional. Kontroler proporsional dipilih karena karakteristik *plant* tersebut memiliki kenaikan dan penurunan suhu yang lambat dan tidak memerlukan respon kontroler yang cepat.

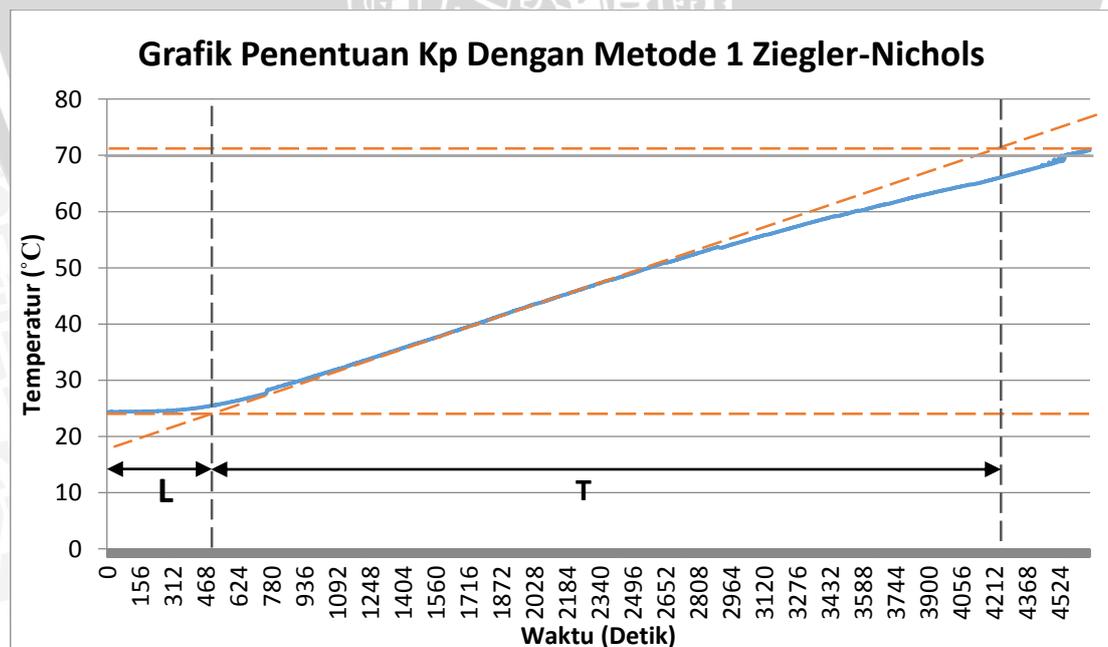
Dari grafik karakteristik *plant* pada Gambar 4.7 dapat kita amati bahwa bentuk kurva karakteristik *plant* menyerupai huruf S (*S-shaped curve*). Sehingga

dapat digunakan *tuning* K_p menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols. Langkah awal *tuning* parameter dengan metode 1 Ziegler-Nichols adalah menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik karakteristik *plant*. Kemudian mencari perpotongan garis *tangent* dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai T dan L. Nilai T dan L tersebut digunakan untuk menentukan besarnya K_p yang tepat, sesuai dengan Tabel 4.1 aturan *tuning* metode 1 Ziegler-Nichols.

Tabel 4.1 Aturan *Tuning* Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K.)

| Type of Controller | K_p | T_i | T_d |
|--------------------|-------------------|-----------------|--------|
| P | $\frac{T}{L}$ | ∞ | 0 |
| PI | $0.9 \frac{T}{L}$ | $\frac{L}{0.3}$ | 0 |
| PID | $1.2 \frac{T}{L}$ | $2L$ | $0.5L$ |

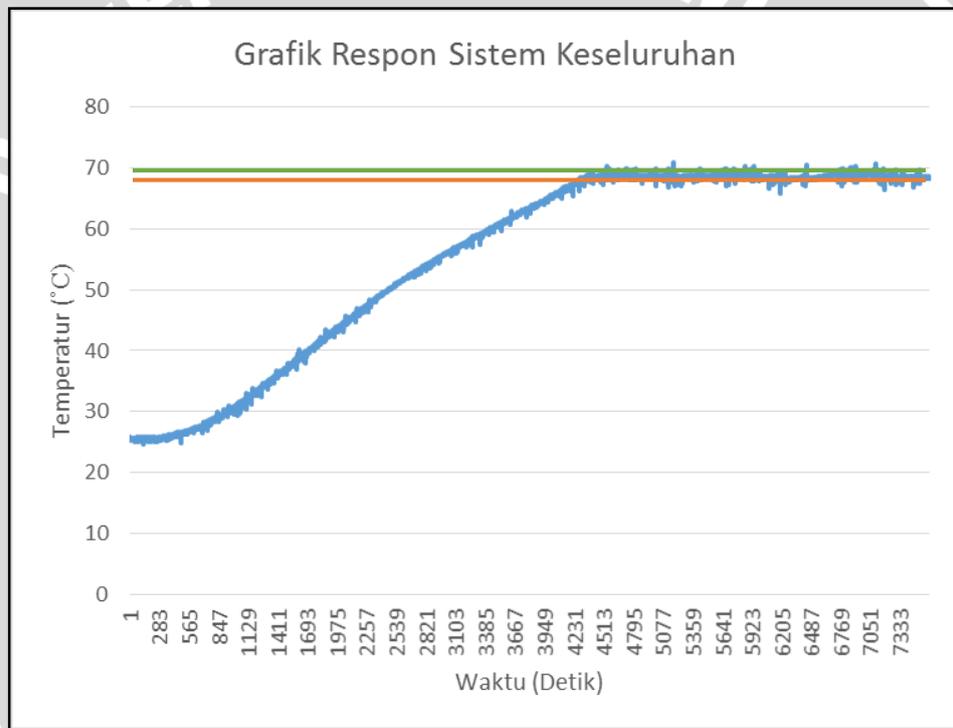
Berdasarkan Gambar 4.8 didapatkan nilai $L=511$ dan $T=4032$. Sehingga besarnya K_p adalah $7,8904 \approx 7,9$. dihitung berdasarkan Tabel 4.8 pada Persamaan 4-14.



Gambar 4.8 *Tuning* dengan Metode 1 Ziegler-Nichols

$$K_p = \frac{T}{L} = \frac{4032}{511} = 7,8904 \approx 7,9 \quad (4-14)$$

Hasil *tuning* dengan metode 1 Ziegler-Nichols yaitu $K_p=7,9$ diujicobakan sebagai parameter kontroler proporsional untuk sistem pengendalian suhu pada alat distilasi air laut. Berdasarkan hasil pengujian dengan $K_p=7,9$ dan *set point* 70° Celcius, didapatkan grafik respon sistem pada Gambar 4.10. Grafik respon dengan $K_p=7,9$ menunjukkan bahwa suhu *steady* sistem adalah 68° Celcius. Masih terdapat *error* sebesar 2° Celcius atau 2,8%. Dengan acuan toleransi error yaitu 5%, dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa kontroler proporsional dengan $K_p=7,9$ sesuai untuk sistem tersebut.

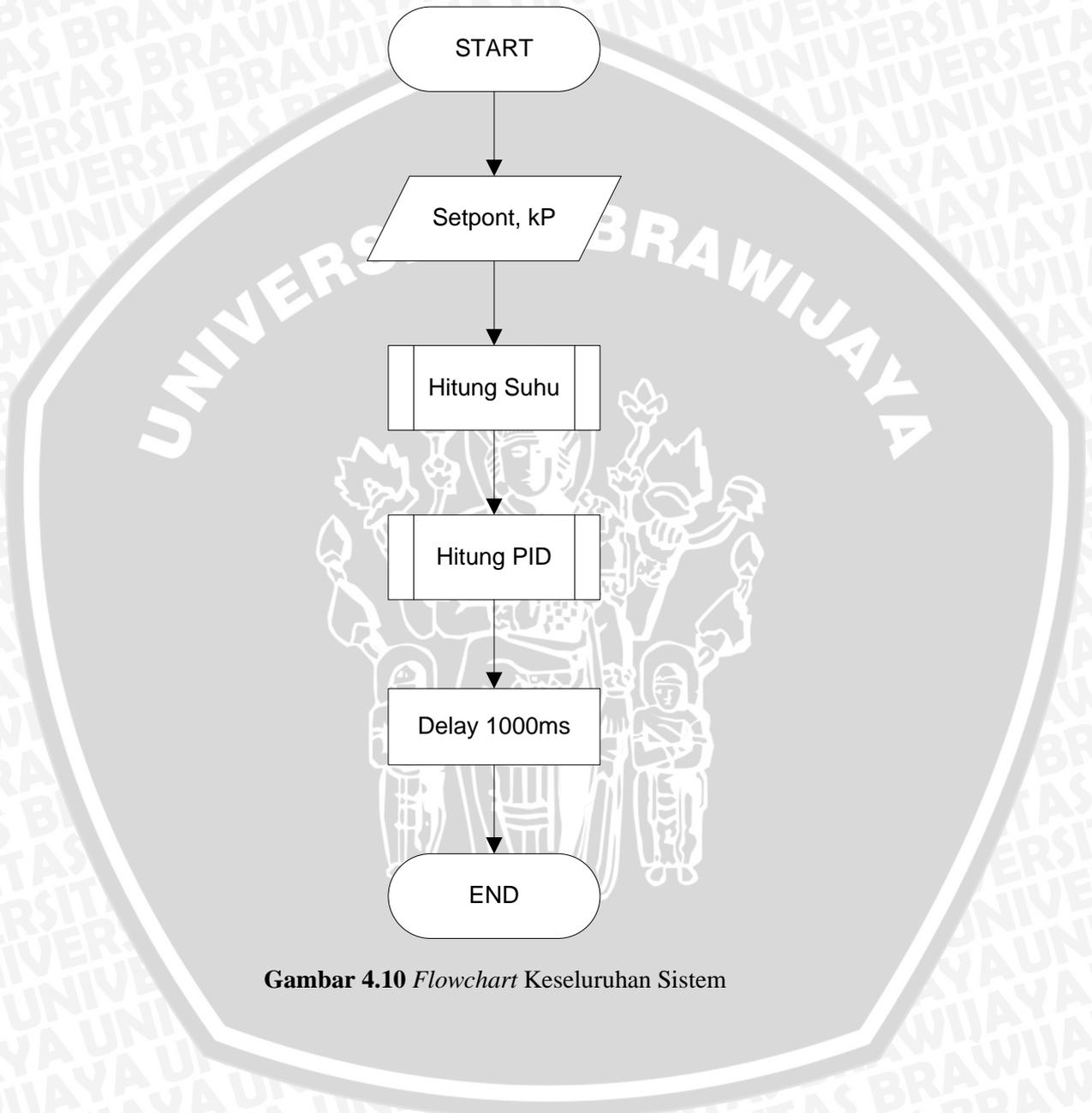


Gambar 4.9 Grafik Respon Sistem dengan $K_p=7,9$

4.6 Perancangan Perangkat Lunak

4.6.1 Flowchart Sistem Keseluruhan

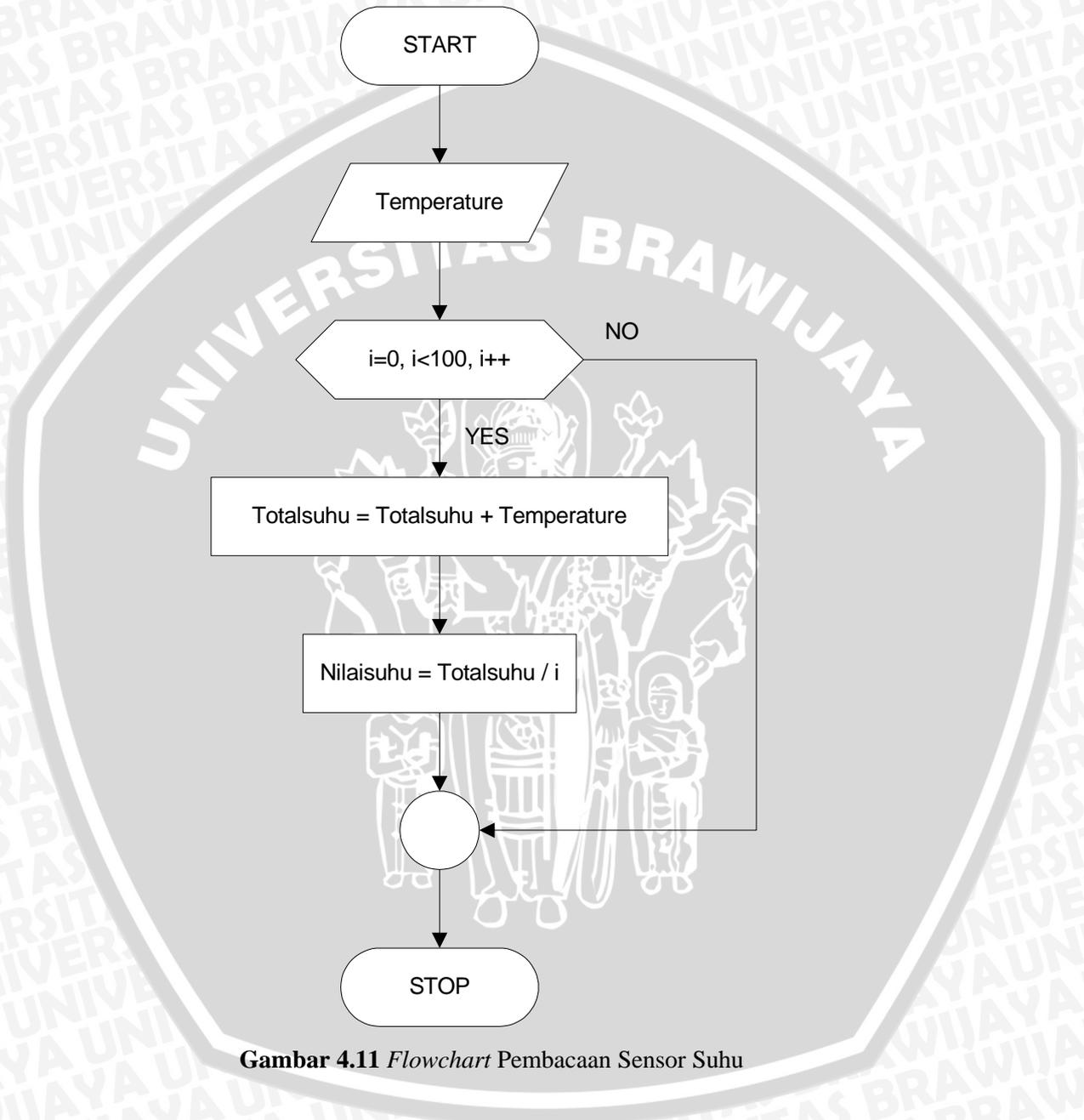
Flowchart keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Flowchart Keseluruhan Sistem

4.6.2 Flowchart Pembacaan Sensor Suhu

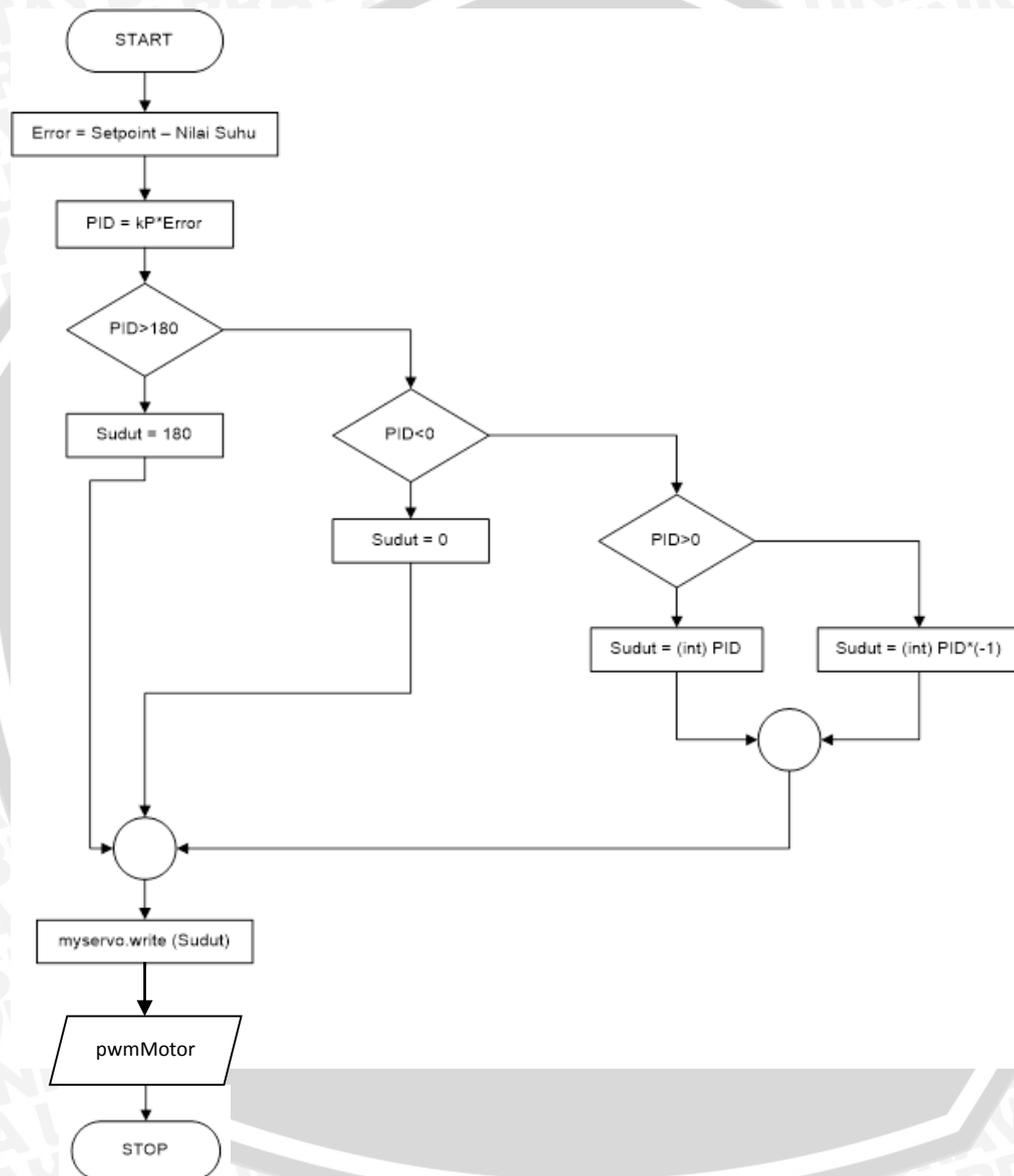
Suhu yang terbaca oleh sensor PT100 akan menjadi masukan analog bagi mikrokontroler Arduino Uno. *Flowchart* pembacaan sensor Suhu ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Flowchart Pembacaan Sensor Suhu

4.6.3 Flowchart Perhitungan Parameter PID

Flowchart perhitungan parameter PID ditunjukkan pada Gambar 4.12. Data output dari perhitungan parameter PID digunakan sebagai input bagi Motor DC Servo untuk menentukan besar sudut keluaran Motor DC Servo. Motor DC servo yang digunakan pada penelitian ini hanya dapat merespon keluaran 0° - 180° .



Gambar 4.12 Flowchart Perhitungan Parameter PID

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Tujuan pengujian sistem adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

5.1 Pengujian Sensor PT100

a. Tujuan

Mengetahui kemampuan pembacaan sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat perubahan resistansi sensor PT100.

b. Peralatan yang Digunakan

- Sensor PT100
- *Heater* spiral 350 Watt
- Panci
- Termometer Digital
- Multimeter
- Air

c. Langkah Pengujian

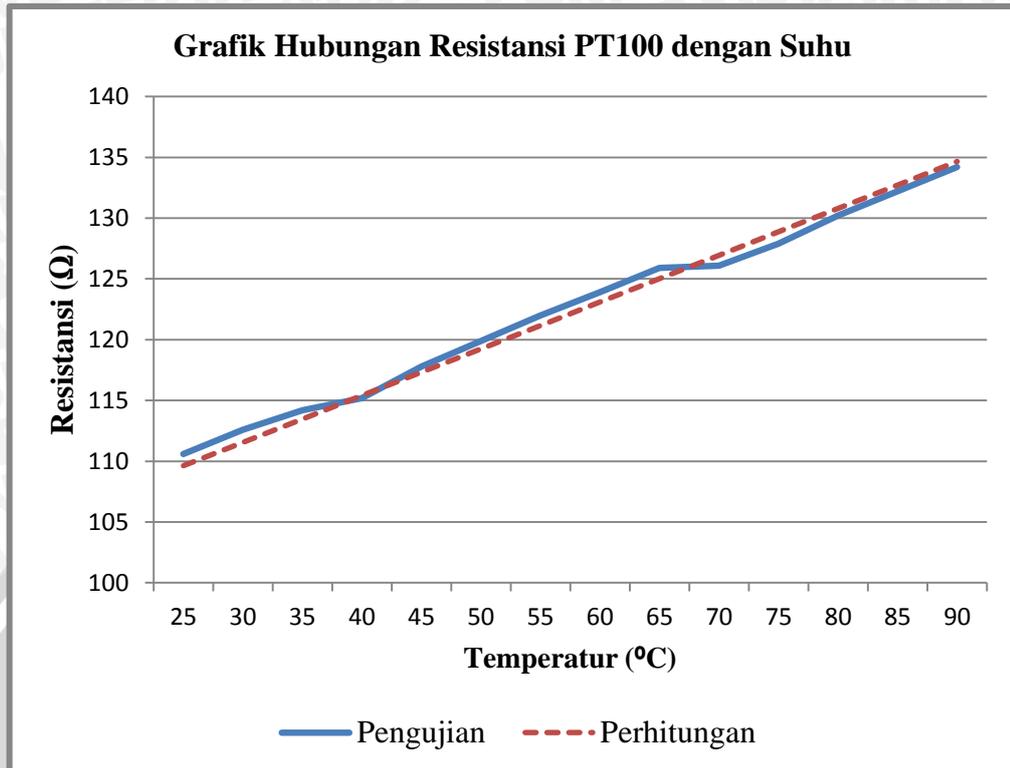
1. Menghubungkan PT100 dan multimeter.
2. Menghubungkan catu daya *Heater* spiral 350 Watt dengan sumber AC.
3. Mengamati dan mencatat setiap perubahan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu berdasarkan suhu termometer acuan.

d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian PT100 ditunjukkan dalam Tabel 5.1. Didapatkan grafik linearitas antara suhu dengan resistansi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor PT100

| Suhu (°C) | Pengujian (Ω) | Perhitungan (Ω) | Error (%) |
|------------------|---------------|-----------------|--------------|
| 25 | 110,6 | 109,6 | 0,89% |
| 30 | 112,6 | 111,5 | 0,94% |
| 35 | 114,2 | 113,5 | 0,64% |
| 40 | 115,2 | 115,4 | 0,17% |
| 45 | 117,8 | 117,3 | 0,40% |
| 50 | 119,9 | 119,2 | 0,55% |
| 55 | 122 | 121,2 | 0,68% |
| 60 | 123,9 | 123,1 | 0,65% |
| 65 | 125,9 | 125,0 | 0,70% |
| 70 | 126,1 | 126,9 | 0,75% |
| 75 | 127,9 | 128,8 | 1,03% |
| 80 | 130,2 | 130,8 | 0,46% |
| 85 | 132,2 | 132,7 | 0,40% |
| 90 | 134,2 | 134,6 | 0,33% |
| Rata-Rata | | | 0,61% |



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu

Dari pengamatan dengan hasil pengujian pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.1, dapat disimpulkan sensor PT100 memiliki kemampuan baik dalam melakukan pembacaan perubahan suhu dibuktikan dengan linearitas grafik hasil resistansi pengujian dan *error* rata-rata antara resistansi pengujian dengan resistansi penghitungan adalah 0,61%.

5.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100

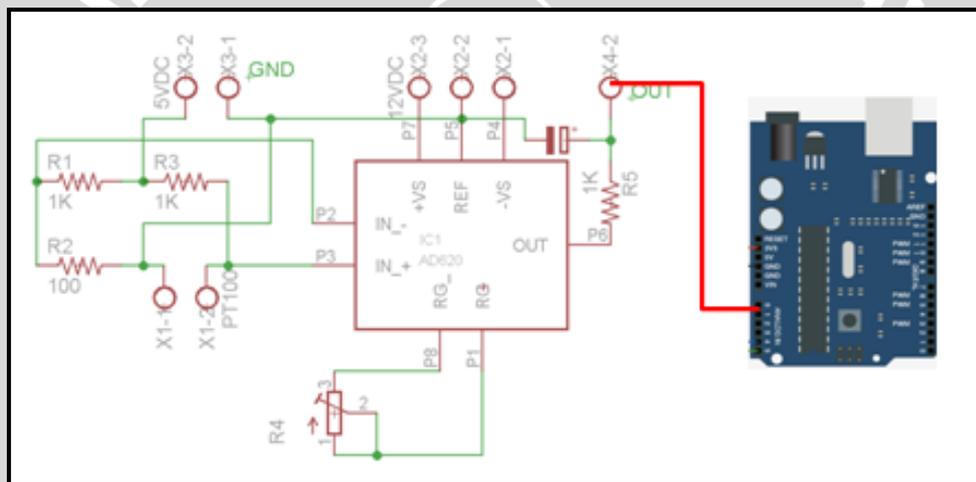
a. Tujuan

Mengetahui kinerja rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat hasil pembacaan suhu melalui *Serial monitor* Arduino ERW 1.0.5.

b. Peralatan yang Digunakan

- Sensor PT100
- *Heater* spiral 350 Watt
- Panci
- Termometer Digital
- Arduino UNO

- Komputer
 - Air
- c. Langkah Pengujian
1. Menyusun rangkaian pengujian seperti pada Gambar 5.2.
 2. Menghubungkan PT100 dengan rangkaian pengondisi sinyal.
 3. Menghubungkan Arduino UNO dengan PC.
 4. Menghidupkan catu daya rangkaian pengondisi sinyal.
 5. Memanaskan air dalam panci dengan PT100 dan siapkan termometer digital.
 6. Hidupkan *serial monitor* pada *software* Arduino.
 7. Amati dan catat setiap perubahan suhu pada termometer dan hasil pembacaan suhu *serial monitor*.



Gambar 5.2 Rangkaian Pengujian RPS PT100 (Perancangan)

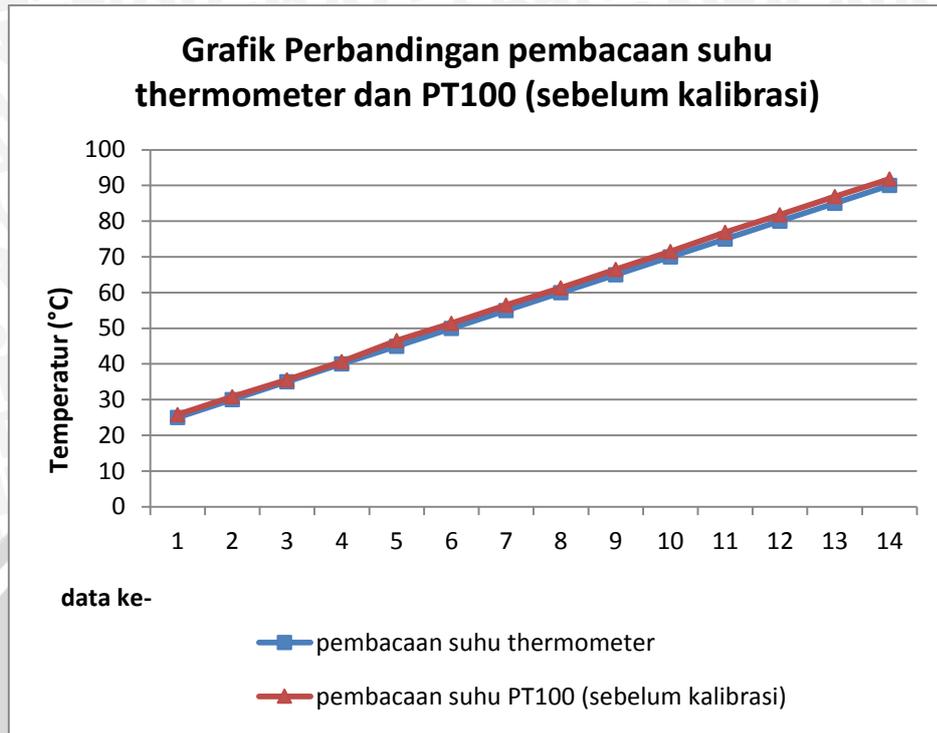
- d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100

| No. | Suhu pembacaan termometer (°C) | Suhu pembacaan <i>serial monitor</i> (°C) | Selisih (°C) | Error (%) |
|-----------|--------------------------------|---|--------------|-------------|
| 1 | 25,00 | 25,80 | 0,80 | 3,10 |
| 2 | 30,00 | 30,84 | 0,84 | 2,72 |
| 3 | 35,00 | 35,61 | 0,61 | 1,71 |
| 4 | 40,00 | 40,69 | 0,69 | 1,69 |
| 5 | 45,00 | 46,55 | 1,55 | 3,33 |
| 6 | 50,00 | 51,41 | 1,41 | 2,74 |
| 7 | 55,00 | 56,51 | 1,51 | 2,67 |
| 8 | 60,00 | 61,31 | 1,31 | 2,13 |
| 9 | 65,00 | 66,51 | 1,51 | 2,27 |
| 10 | 70,00 | 71,51 | 1,51 | 2,11 |
| 11 | 75,00 | 76,86 | 1,86 | 2,42 |
| 12 | 80,00 | 81,83 | 1,83 | 2,23 |
| 13 | 85,00 | 86,92 | 1,92 | 2,21 |
| 14 | 90,00 | 91,85 | 1,85 | 2,01 |
| Rata-rata | | | 1,37 | 2,38 |

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.2, *error* antara suhu pembacaan termometer dengan suhu pembacaan *serial monitor* masih sangat besar yaitu 1,37 °C. Grafik perbandingan suhu hasil pembacaan termometer acuan dengan *serial monitor* dapat dilihat pada Gambar 5.3. Pada grafik tersebut terlihat bahwa selisih yang timbul antara kedua pembacaan suhu cenderung membentuk garis linear. Sehingga untuk mengkompensasi *error* pembacaan suhu, dapat dikalibrarsi menggunakan metode regresi linear. Rumus umum regresi linear terdapat pada Persamaan 5-1.



Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Suhu Hasil Pembacaan Termometer Acuan dengan *Serial monitor*

Kalibrasi dengan metode regresi linear:

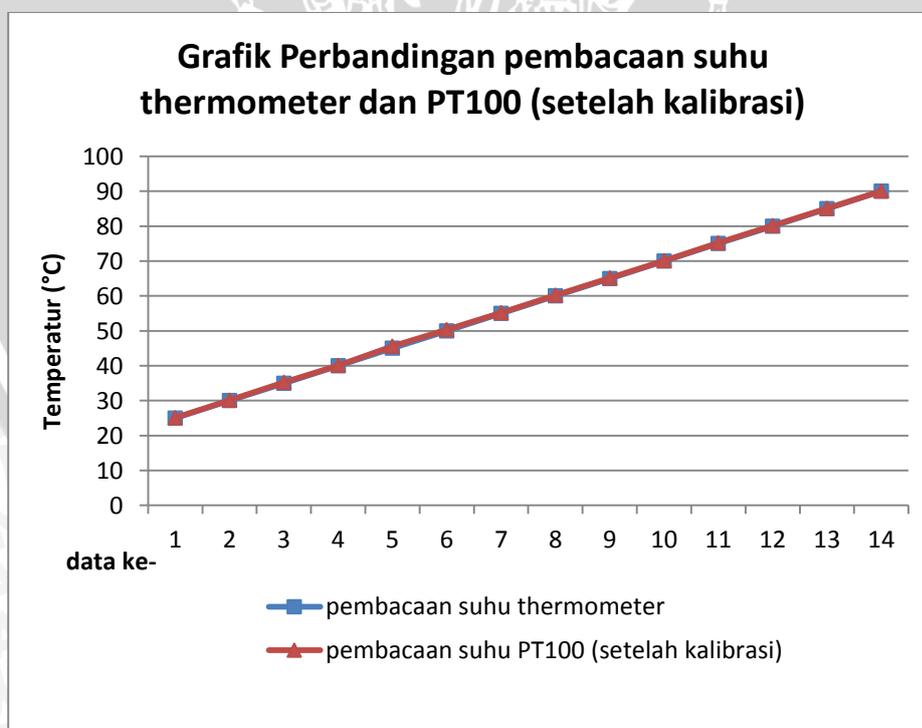
$$\sum x_i a_0 + \sum x_i^2 a_1 = \sum x_i y_i \tag{5-1}$$

$$f = a_0 + a_1 x$$

Kompensasi *error* pembacaan suhu dilakukan pada program di dalam Arduino UNO. Sehingga menghasilkan data pengujian pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian RPS PT100 Setelah Kalibrasi

| No. | Suhu pembacaan termometer (°C) | Suhu pembacaan serial monitor (°C) | Selisih (°C) | Error (%) |
|-----------|--------------------------------|------------------------------------|--------------|-------------|
| 1 | 25,00 | 25,07 | 0,07 | 0,28 |
| 2 | 30,00 | 30,12 | 0,12 | 0,39 |
| 3 | 35,00 | 35,29 | 0,29 | 0,82 |
| 4 | 40,00 | 40,13 | 0,13 | 0,32 |
| 5 | 45,00 | 45,60 | 0,60 | 1,31 |
| 6 | 50,00 | 50,36 | 0,36 | 0,71 |
| 7 | 55,00 | 55,24 | 0,24 | 0,43 |
| 8 | 60,00 | 60,21 | 0,21 | 0,34 |
| 9 | 65,00 | 65,20 | 0,20 | 0,30 |
| 10 | 70,00 | 70,06 | 0,06 | 0,08 |
| 11 | 75,00 | 75,25 | 0,25 | 0,33 |
| 12 | 80,00 | 80,21 | 0,21 | 0,26 |
| 13 | 85,00 | 85,14 | 0,14 | 0,16 |
| 14 | 90,00 | 90,08 | 0,08 | 0,09 |
| Rata-rata | | | 0,21 | 0,42 |



Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Suhu Hasil Pembacaan Termometer Acuan dengan *Serial monitor* setelah kalibrasi

Berdasarkan pada Tabel 5.3, hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 menghasilkan suhu pembacaan *serial monitor* yang mendekati suhu acuan dengan *error* rata-rata sebesar 0,21 °C sehingga kalibrasi yang dilakukan telah sesuai dan rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 dapat bekerja dengan baik.

5.3 Pengujian Motor DC Servo

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan pulsa PWM terhadap sudut putaran dan *duty cycle* pada motor DC servo.

- Peralatan yang digunakan
- Motor DC Servo Micro GWS 2BBMG
- Driver motor servo
- Busur 180°
- Komputer
- *Digital Oscilloscope* Velleman PCSU1000
- Langkah Pengujian
- Menghubungkan *input driver* motor DC servo dengan *output* pada pin 5.
- Menghubungkan *output driver* motor DC servo dengan pin motor DC servo.
- Menghubungkan *output PWM driver* motor dengan *Digital Oscilloscope* Velleman PCSU1000.
- Menghubungkan rangkaian dengan catu daya.
- Mengamati dan mengukur besar sudut putaran motor DC servo dengan menggunakan busur.
- Mengamati dan mencatat *duty cycle* PWM pada tampilan *waveform parameter software* PC-Lab

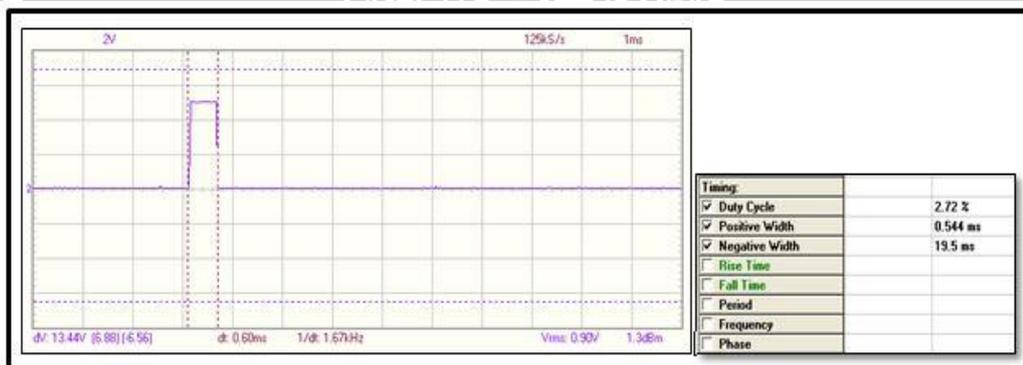
Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Motor DC Servo

| Sudut | Duty Cycle (%) | PWM |
|-------|----------------|------|
| 10 | 3.2 | 8.3 |
| 20 | 3.8 | 9.6 |
| 30 | 4.3 | 10.9 |
| 40 | 4.8 | 12.2 |
| 50 | 5.3 | 13.5 |
| 60 | 5.8 | 14.9 |
| 70 | 6.3 | 16.1 |
| 80 | 6.8 | 17.4 |
| 90 | 7.4 | 18.7 |
| 100 | 7.9 | 20 |
| 110 | 8.4 | 21.3 |
| 120 | 8.9 | 22.7 |
| 130 | 9.4 | 24 |
| 140 | 9.9 | 25.3 |
| 150 | 10.4 | 26.5 |
| 160 | 10.9 | 27.9 |
| 170 | 11.5 | 29.2 |
| 180 | 12 | 30.6 |

Hasil pengujian motor DC Servo menunjukkan bahwa semakin besar pulsa, maka sudut putaran DC servo akan semakin besar karena *duty cycle* juga semakin besar.

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 0° ditunjukkan dalam Gambar 5.5.



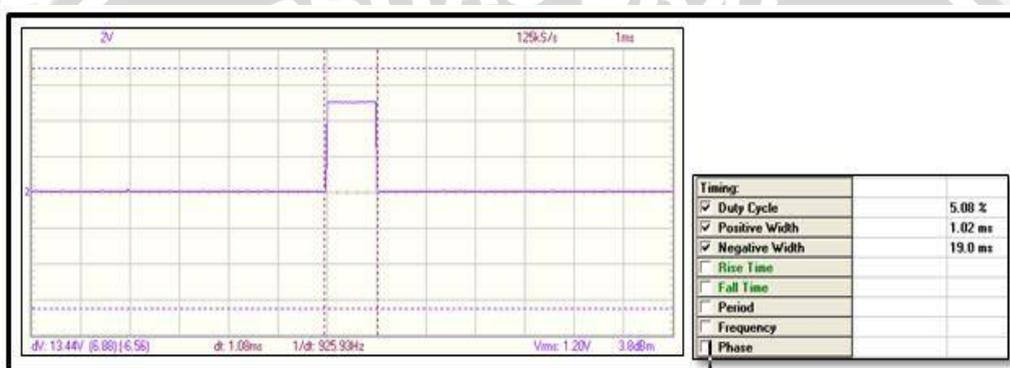
Gambar 5.5 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 0°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 30° ditunjukkan dalam Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 30°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 45° ditunjukkan dalam Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 45°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 60° ditunjukkan dalam Gambar 5.8.



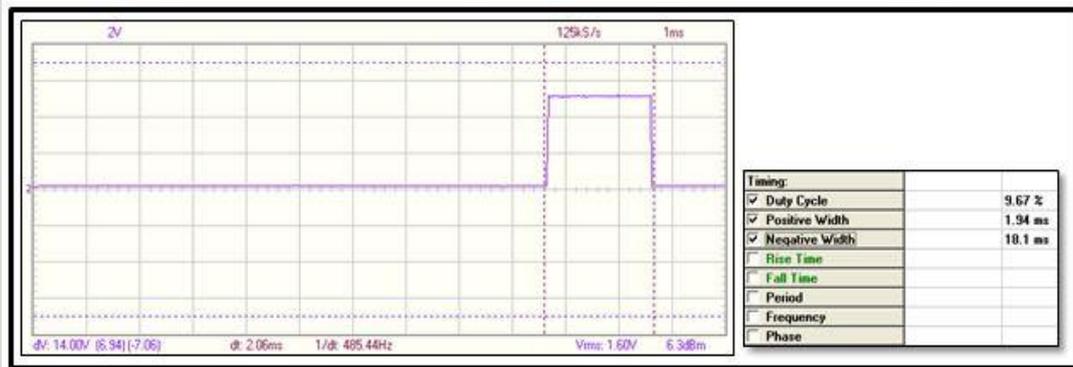
Gambar 5.8 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 60°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 90° ditunjukkan dalam Gambar 5.9.



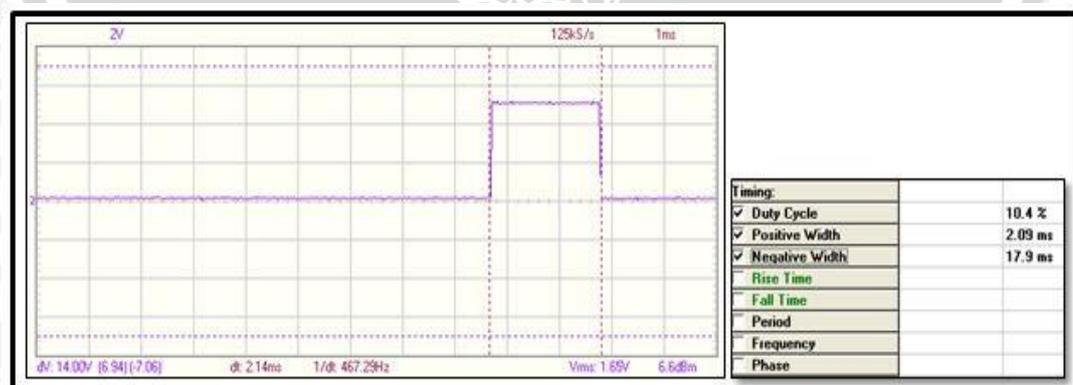
Gambar 5.9 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 90°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 135° ditunjukkan dalam Gambar 5.10.



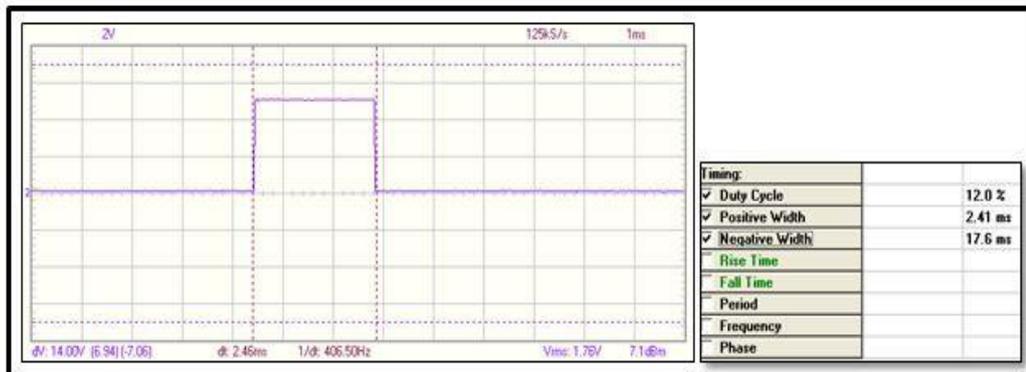
Gambar 5.10 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 135°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 150° ditunjukkan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 150°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 180° ditunjukkan dalam Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 180°

5.4 Pengujian *Dimmer Heater*

a. Tujuan

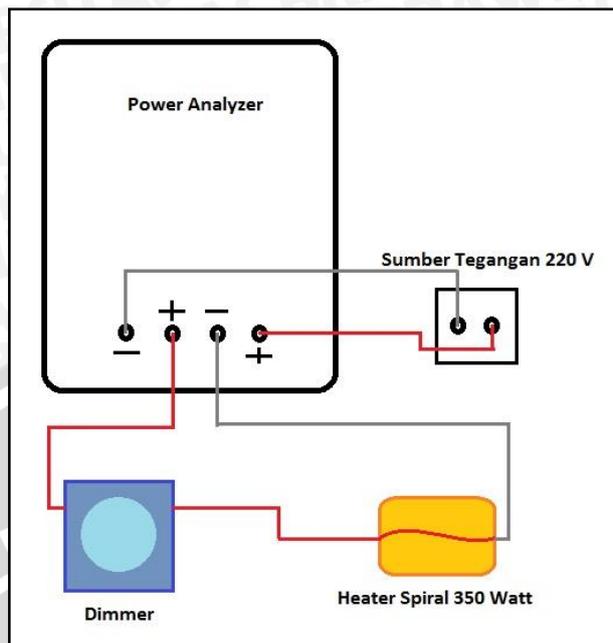
Mengetahui pengaruh sudut putaran potensiometer pada *dimmer heater* terhadap besarnya tegangan, arus, dan daya heater.

b. Peralatan yang Digunakan

- *Dimmer heater*, menggunakan *dimmer* lampu.
- *Heater* spiral 350 Watt.
- *Power Analyzer*.
- Busur.

c. Langkah Pengujian

1. Menyusun rangkaian pengujian seperti pada Gambar 5.13.
2. Menghubungkan rangkaian pengujian dengan sumber AC.
3. Mengatur sudut putaran *dimmer* dengan sudut yang berbeda-beda menggunakan busur.
4. Mengamati dan mencatat perubahan tegangan, arus, dan daya yang tertera pada *Power Analyzer*.



Gambar 5.13 Rangkaian Skematik Dimmer

d. Hasil Pengujian dan Analisis

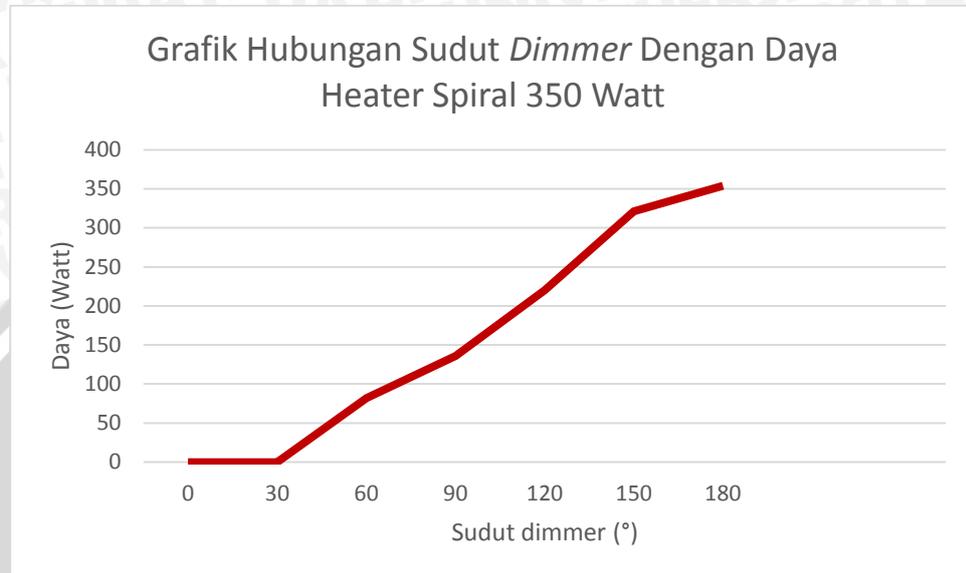
Hasil pengujian *dimmer* heater ditunjukkan pada Tabel 5.5. *Dimmer* yang digunakan memiliki besar sudut penyalan dari posisi OFF ke ON sebesar 35°. Dari tabel pengujian, didapatkan hasil bahwa jika sudut *dimmer* kurang dari 35° maka *dimmer* dalam keadaan mati sehingga tidak mengeluarkan arus.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Dimmer Heater

| Sudut <i>dimmer</i> (°) | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya (W) |
|-------------------------|--------------|----------|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 116.7 | 0,71 | 82 |
| 90 | 154.9 | 0,88 | 136 |
| 120 | 185.2 | 1,19 | 220 |
| 150 | 212.8 | 1,51 | 321 |
| 180 | 220.9 | 1,60 | 354 |

Gambar 5.14 merupakan grafik hubungan sudut *dimmer* dengan daya. Berdasarkan tabel hasil pengujian dan Gambar 5.14 dapat disimpulkan bahwa

sudut putaran *dimmer* berbanding lurus dengan daya, arus, dan tegangan *heater* spiral 350 Watt. Dapat diambil kesimpulan dari grafik yang dihasilkan semakin besar sudut putaran *dimmer* maka semakin besar pula daya yang dilepaskan.



Gambar 5.14 Grafik Hubungan Sudut *Dimmer* dengan Daya Heater

5.5 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan untuk menguji apakah parameter yang sudah ditentukan dapat diaplikasikan pada alat dan sudah sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Pada pengujian ini semua blok rangkaian dihubungkan. Kemudian memasukkan nilai parameter yang telah ditentukan, serta mengamati dan menganalisis hasil kinerja alat.

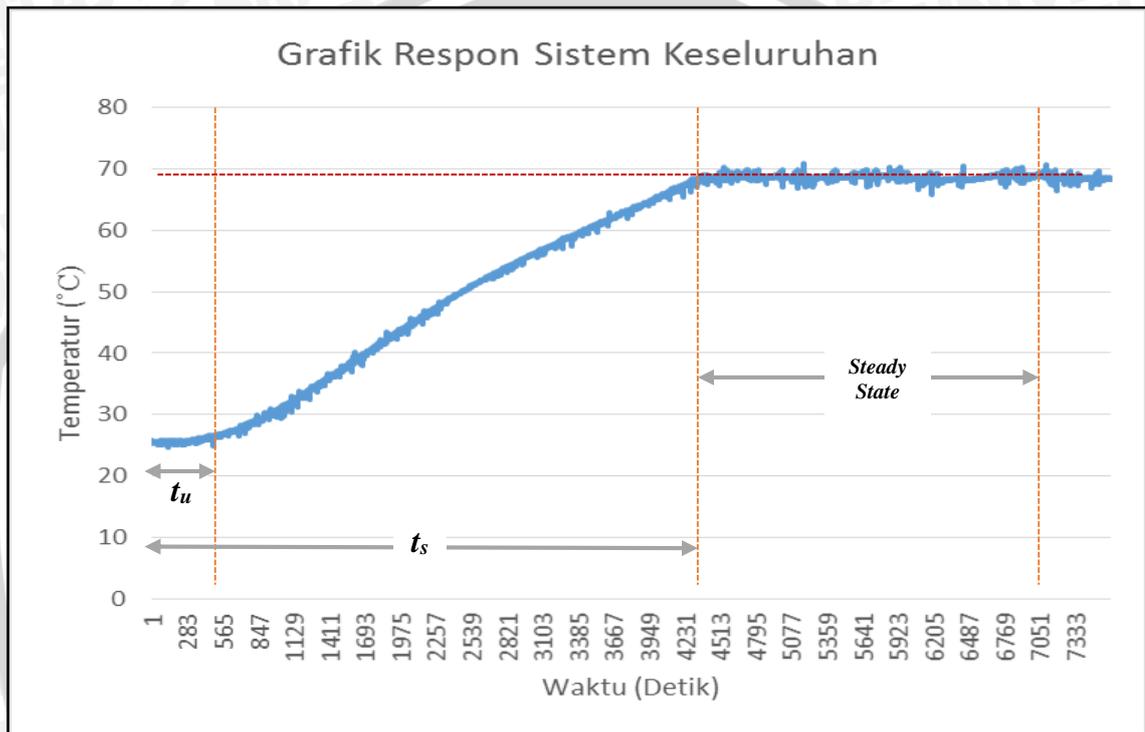
Pengujian keseluruhan sistem ini menggunakan air laut sebagai obyek pengujian alat distilasi air laut untuk menghasilkan air tawar tenaga *hybrid*. Air laut yang digunakan untuk pengujian keseluruhan ini adalah 3 Liter air laut.

Langkah – langkah pengujian keseluruhan adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan nilai parameter K_p dari hasil perhitungan.
2. Memasukkan *set point* yang diinginkan.
3. Mengamati dan menganalisa hasil dari kinerja sistem, meliputi: kinerja mikrokontroler Arduino serta program yang telah dirancang dalam memproses data, sensor PT100 dan rangkaian pengondisi sinyal dalam

membaca suhu, kinerja aktuator motor DC servo dalam menerima sinyal PWM dari mikrokontroler Arduino.

Gambar 5.13 menunjukkan grafik respon sistem dengan pengaturan $K_p=7,9$ dan *set point* 70°C . Pengujian tersebut dilakukan pada luar ruangan dengan suhu yang berkisar pada $25,77^\circ\text{C}$.



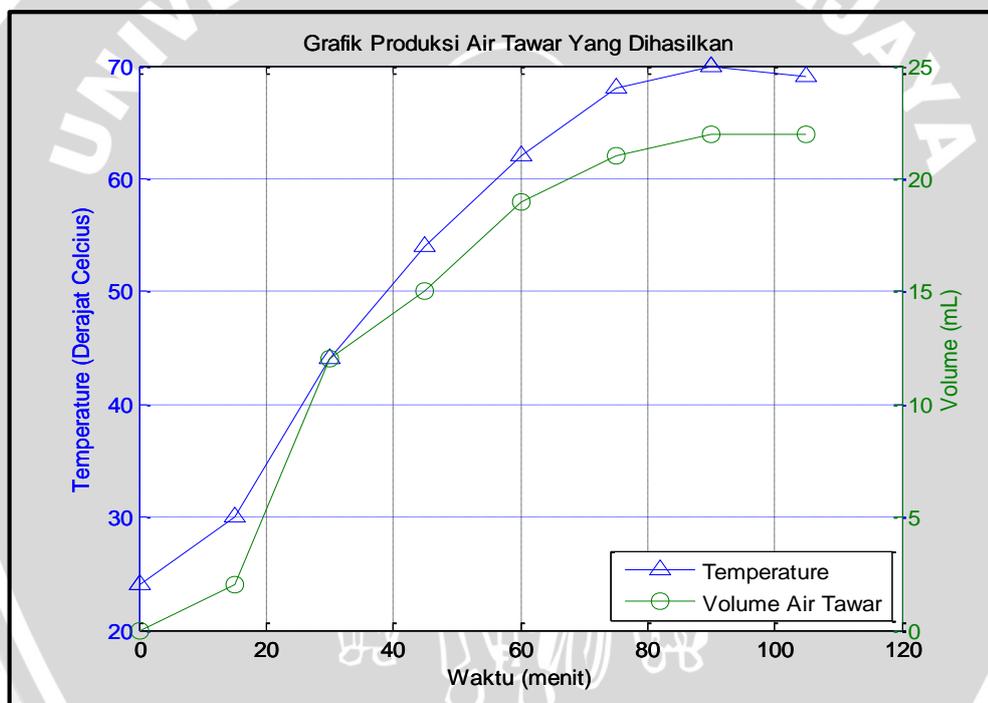
Gambar 5.15 Grafik Respon Sistem Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.15 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. t_u berdasarkan pengujian adalah 498 detik.
2. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 4495 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai $68,14^\circ\text{C}$, dengan asumsi bahwa pada suhu tersebut memiliki toleransi kurang dari 5% (2,64%) sehingga masih memenuhi syarat penentuan t_s .
3. Suhu tertinggi dari hasil pengujian keseluruhan sistem adalah $70,79^\circ\text{C}$.

4. Distilasi air laut selama 2 jam berhasil dilakukan dengan rentang suhu pada distilasi tersebut adalah 68,12 – 70,79 °C.
5. Proses percobaan keseluruhan yang dilakukan pada penelitian ini membutuhkan waktu selama 2 jam.

Berdasarkan analisis kinerja pengujian sistem secara keseluruhan, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pengendalian suhu pada alat distilasi air laut untuk menghasilkan air tawar berjalan dengan baik menggunakan parameter $K_p = 7,9$. Program yang dirancang pada *software* Arduino juga dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan yang dikehendaki.



Gambar 5.16 Grafik Produksi Air Tawar yang Dihasilkan

Pada penelitian ini, dalam 3 liter air laut yang diuapkan selama 2 jam, dapat menghasilkan 115 ml air tawar. Dari gambar 5.16 dapat disimpulkan bahwa pada saat suhu mencapai 70°C, jumlah air tawar yang dihasilkan per menit cenderung konstan, yaitu sekitar 22ml per 10 menit. Diharapkan dengan adanya pengontrolan, daya yang dikonsumsi oleh sistem dapat se-efisien mungkin dengan hasil semaksimal mungkin dan dapat menjaga performa *accu* dalam fungsinya untuk menyimpan daya untuk penggunaan jangka panjang.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

- Hasil uji alat distilasi air laut tenaga matahari menunjukkan bahwa secara teknis peralatan ini dapat memproduksi air tawar untuk keperluan rumah tangga dari bahan baku air laut. Air tawar didapat dari uap air laut yang mengembun. Prospek pemanfaatannya terutama ditujukan pada masyarakat di daerah pesisir yang memiliki masalah dalam pemenuhan kebutuhan akan air bersih, terutama pada musim kemarau.
- Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan perancangan dan pembuatan sistem pengendalian suhu pada alat distilasi air laut menggunakan kontroler proporsional dapat diimplementasikan dengan baik. Setelah dilakukan pengujian diperoleh data kinerja sistem sebagai berikut:
 1. Dengan menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols, didapatkan K_p yang sesuai untuk sistem yaitu $K_p=7,9$
 2. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. t_u berdasarkan pengujian adalah 498 detik.
 3. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 4495 detik.
 4. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai $68,14^\circ \text{C}$, dengan asumsi bahwa pada suhu tersebut memiliki toleransi kurang dari 5% (2,64%) sehingga masih memenuhi syarat penentuan t_s . Dari percobaan didapat $\% \text{Ess} = 2,64\%$
 5. Suhu tertinggi dari hasil pengujian keseluruhan sistem adalah $70,79^\circ \text{C}$.
 6. Distilasi air laut selama 2 jam berhasil dilakukan dengan rentang suhu pada proses distilasi tersebut adalah $68,12 - 70,79^\circ \text{C}$.

7. Intensitas rata-rata cahaya matahari pada saat pengujian adalah 42530 Lux.
8. Pada penelitian ini, dalam 3 liter air laut yang diuapkan selama 2 jam, dapat menghasilkan 115 ml air tawar.



6.2 Saran

Saran-saran dalam pengimplementasian maupun dalam pengoptimalisasi kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Akibat dari air laut yang menguap menghasilkan endapan garam pada dasar rumah *evaporator*, sehingga diperlukan tindakan lebih lanjut untuk menangani masalah ini agar tidak mengakibatkan korosi pada sensor dan heater untuk penggunaan alat dalam jangka panjang.
2. Sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan pengaturan tekanan pada rumah *evaporator* untuk meningkatkan efisiensi air tawar yang dihasilkan
3. Untuk memastikan distribusi suhu di dalam *evaporator* dapat tersebar secara merata dapat ditambah mekanisme untuk mengaduk air laut yang akan diuapkan sehingga penguapan akan lebih optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Pitts, D, R, & L, E, Sissom. 1979. *Teori dan Soal-soal Perpindahan Kalor*. Terjemahan oleh Jasfi. Departemen Mesin ITB: Bandung.
- Duffie, J, A & A, B, William. 1980. *Solar Engineering of Thermal Process*. Jonh Wiley and Sons, New York.
- Kreider, J,F. 1980. *Principles of Solar Engineering*. Hemisphere Pub, Co, New York.
- Jansen, T,J.1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Terjemahan oleh Arismunandar, W, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Sudjito dan P.Raharja. 2001. *Prospek Aplikasi Teknologi Distilasi Air Laut Tenaga Matahari*. Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik (*Engineering*) Universitas Brawijaya Vol.13-No.2
- Vulkan & Verlag Essen. 1978. *Sea Water and Sea Water Destilation*. Homig. HE.
- Holman, J.P. 1991. *Perpindahan Kalor*. Terjemahan oleh Jasfi Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Kreith, F. 1986. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Terjemahan oleh Prijono, A. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Linsley, R.K dan Franzini, B.J. 1995. *Teknik Sumber Daya Air*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Cook, T.M. dan Cullen, D.J. 1986. *Industri Kimia, Operasi Aspek-aspek Keamanan dan Kesehatan*. P.T. Gramedia. Jakarta.

Bernasconi, G. 1995. *Teknologi Kimia Bagian 2*. Diterjemahkan oleh : Handoyo.

L. Pradnya Paramita. Jakarta.

Lakitan, B. 2004. *Dasar-dasar Klimatologi*. P.T. Raja Grafindo Persada. Jakarta.

Lynne, Talley. 2000. *Properties of Seawater*.

<http://sam.ucsd.edu/sio210/lecture2.html>_Tanggal akses 10 Juli 2014

Duffie, J.A dan William, A.B. 1980. *Solar Engineering of Thermal Process*. John

Wiley and Sons. New York.

Tanusekar, Hangga H. 2013. *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Alat Desalinasi*

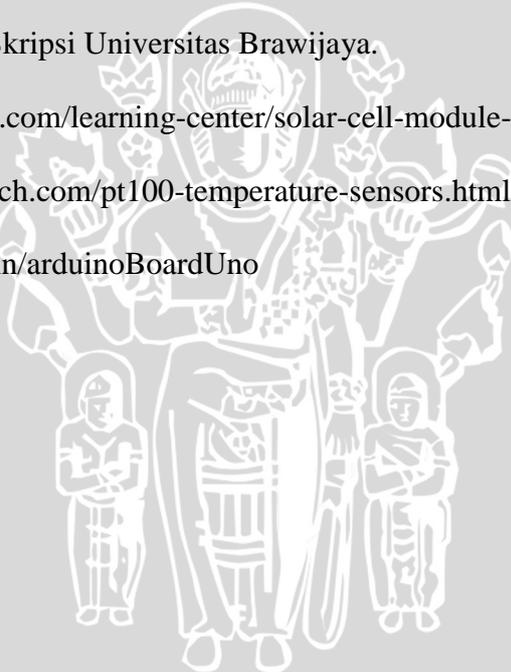
Sistem Penyulingan Menggunakan Panas Matahari Dengan Pengaturan

Tekanan Udara. Skripsi Universitas Brawijaya.

<http://www.samlexsolar.com/learning-center/solar-cell-module-array.aspx>

<http://accessories.picotech.com/pt100-temperature-sensors.html>

<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>



LAMPIRAN



LAMPIRAN I
FOTO ALAT

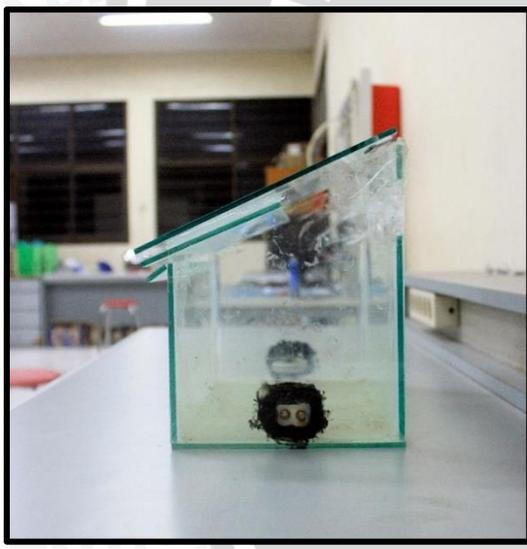




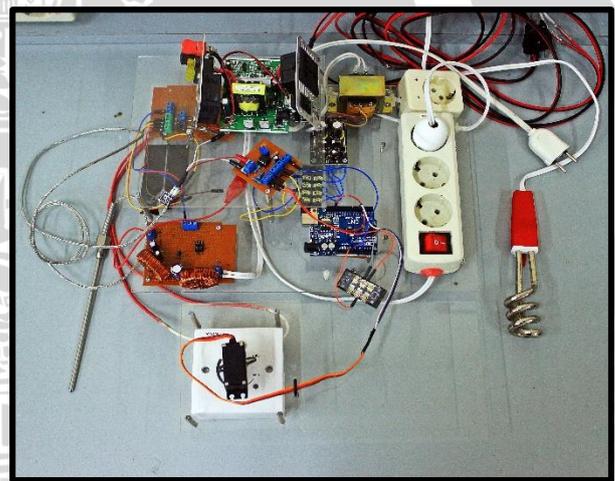
Rumah Evaporator Tampak Samping



Rumah Evaporator Tampak Depan



Rumah Evaporator Tampak Samping Atas

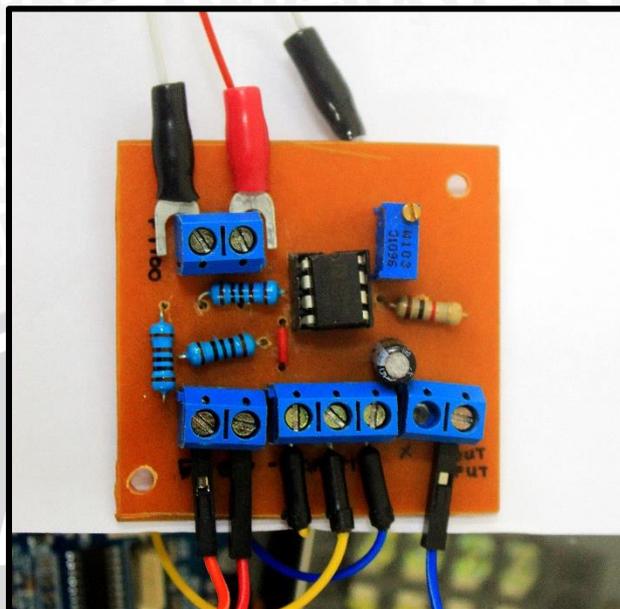


Keseluruhan Rangkaian Elektrik Tampak

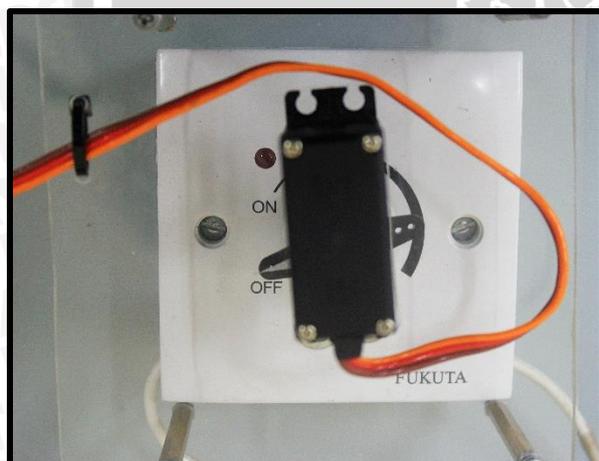




Keseluruhan Rangkaian Elektrik Tampak Atas



Rangkaian Pengondisi Sinyal



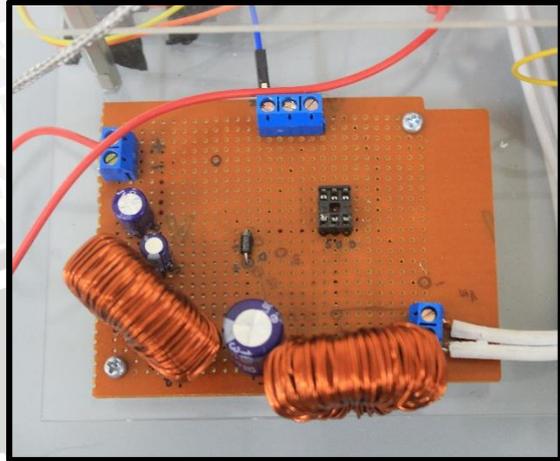
Dimmer Dan Motor DC Servo Tampak Atas



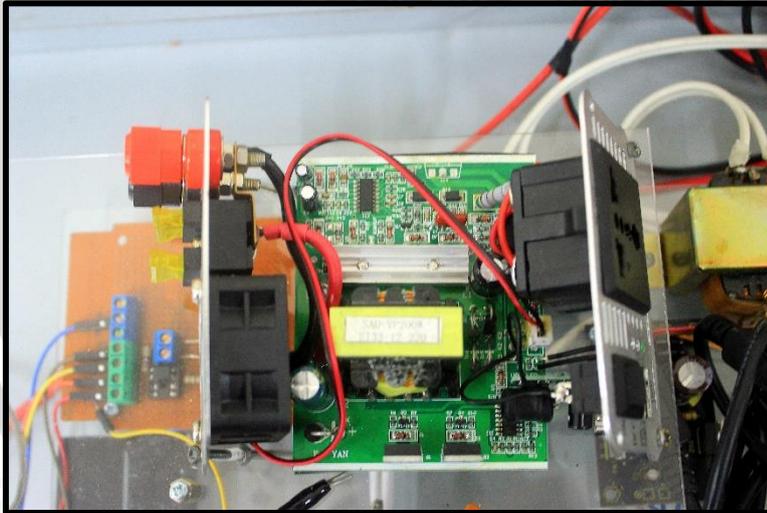
Dimmer Dan Motor DC Servo Tampak Samping



Heater Spiral 350 Watt



Cuk Converter



Rangkaian Inverter 500 Watt



LAMPIRAN II
PROGRAM



LISTING PROGRAM PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM DDISTILASI AIR LAUT UNTUK MENGHASILKAN AIR TAWAR MENGGUNAKAN ARDUINO

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo myservo;  
int i, sensorValue;  
double nilaiSuhu, temperature, temperature1,  
setPoint, error, dError, sError, lError, dTime,  
PID, errorTop, errorBot,  
kP, kI, kD,  
sudut;  
float resistance, constanta, voltage, totalSuhu;  
unsigned long now, lTime;
```

```
void setup() {  
  pinMode (A0,INPUT);  
  myservo.attach(5);  
  Serial.begin(9600);
```

```
  nilaiSuhu = 0;  
  temperature = 0;  
  error = 0;  
  dError = 0;  
  sError = 0;  
  lError = 0;  
  dTime = 0;  
  PID = 0;
```

```
  setPoint = 70.0;  
  errorTop = 3.5;  
  errorBot = -3.5;  
  kP = 9;  
  kI = 0;  
  kD = 0;
```

```
}
```

```
void loop() {  
  hitungSuhu();  
  hitungPID();
```

```
  Serial.println();  
  Serial.print(millis()/1000);  
  Serial.print(" |");  
  Serial.print(nilaiSuhu);  
  //Serial.println(voltage);
```

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



```

//Serial.println (analogRead(A0));
Serial.print("|");
Serial.print(sudut);
//Serial.println();

delay (1000);

}

void hitungSuhu()
{
  sensorValue = analogRead(A0);
  voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0);
  constanta = ((0.45454545 + (voltage / 28.5)) / 5);
  resistance = ((1000 * constanta) / (1-constanta));
  temperature1 = ((resistance - 100)/0.385);
  temperature = -0.2342 + 0.970703 * temperature1;

  i=0;
  totalSuhu=0;

  for (i=0;i<100;i++){
    {
      totalSuhu = totalSuhu + temperature;
      //delay(20);
    }
    nilaiSuhu = totalSuhu/i;
  }
}

void hitungPID()
{
  now = millis();
  dTime = (double)(now-lTime);

  error = setPoint - nilaiSuhu;
  sError = (sError + error);
  dError = (error - lError);

  PID = (kP*error) + ((kI * sError)*(dTime/1000)) + ((kD * dError)/(dTime/1000));

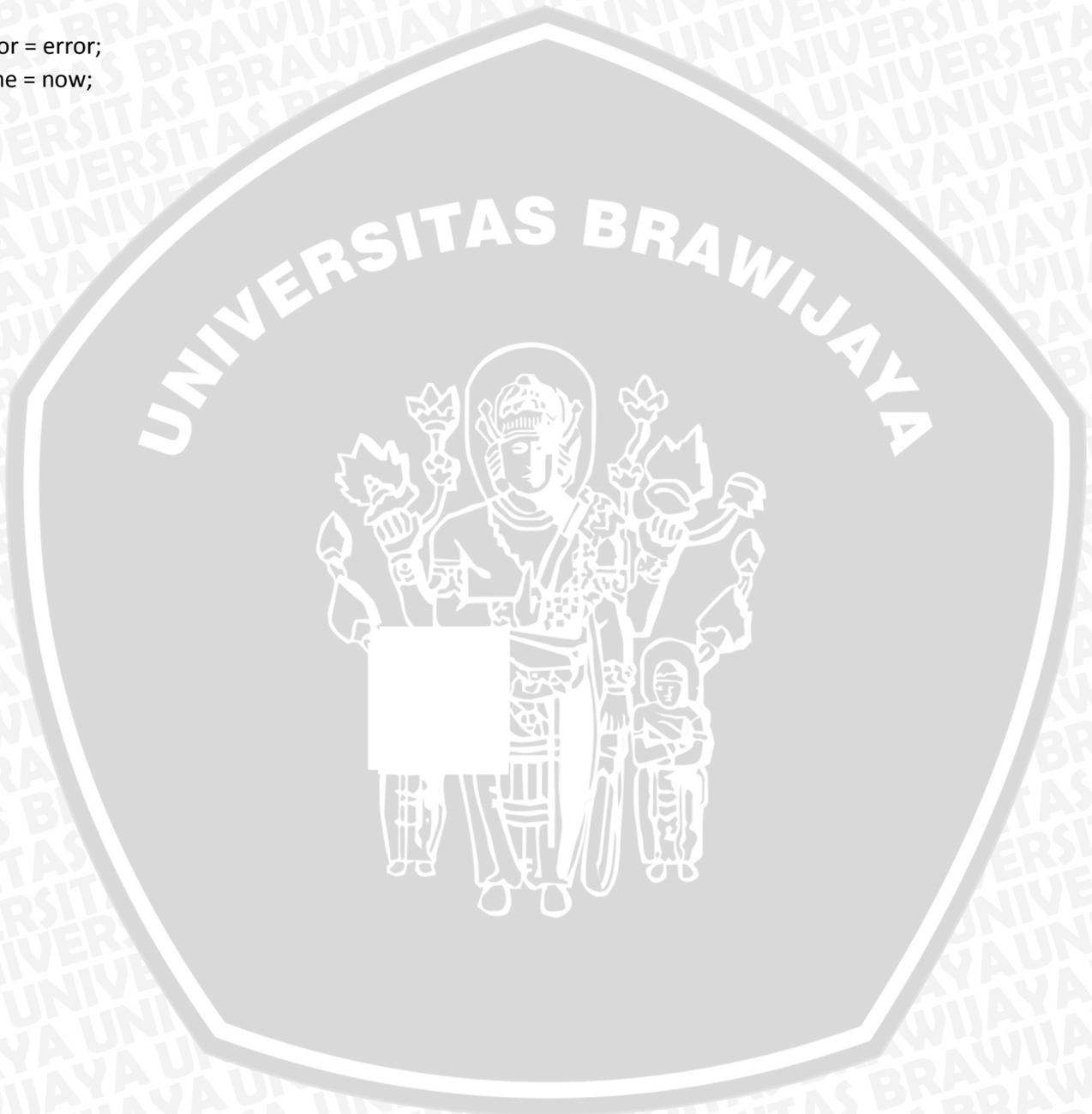
  if(PID>180)
    sudut = 180;

  else if(PID<0)
    sudut = 0;
}

```

```
else{  
  if(PID>0)  
    sudut = (int)PID;  
  else  
    sudut = (int)(PID*(-1));  
}  
myservo.write(sudut);
```

```
Error = error;  
ITime = now;  
}
```



LAMPIRAN IV

DATASHEET



