

**PERANCANGAN ALAT DISTILASI AIR LAUT TENAGA *HYBRID*
UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR TAWAR BAGI WARGA
PESISIR PANTAI**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

FITRA RAHMAT INDYANTO

NIM. 105060300111011 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN ALAT DISTILASI AIR LAUT TENAGA *HYBRID*
UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR TAWAR BAGI WARGA
PESISIR PANTAI**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:
FITRA RAHMAT INDYANTO
NIM. 105060300111011 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc
NIP. 19680122 199512 2 001

Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng
NIP. 841130 06 1 1 0280

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN ALAT DISTILASI AIR LAUT TENAGA *HYBRID*
UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR TAWAR BAGI WARGA
PESISIR PANTAI**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Disusun Oleh:

FITRA RAHMAT INDYANTO

NIM. 105060300111011-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 3 Desember 2014

MAJELIS PENGUJI

Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.
NIP. 19630106 198802 1 001

Ir. Hery Purnomo, M.T.
NIP. 19550708 198212 1 001

Ir. Wijono, M.T., Ph.D.
NIP. 19621111 198903 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan Alat Distilasi Air Laut Tenaga *Hybrid* Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Tawar Bagi Warga Pesisir Pantai”. 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 telah mengatur kapan waktu yang terbaik dan teguran-teguranNya yang senantiasa menunjukkan jalan terbaik untuk hambaNya. Rasulullah Muhammad SAW semoga shalawat serta salam selalu tercurah kepada beliau.
- Kedua orang tua terbaik, Papa Harijanto dan Mama Indi Astuti yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, dorongan, perhatian, dan pengertian selama ini. Serta kedua saudara kandung saya Mbak Dhaty Diyantikha dan Kakak Indha Dwi Kartika yang senantiasa memberikan semangat.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Prof. Ir. Budiono Mismail, MSEE, P.hD dan Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Akademik.
- Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc selaku KKDK Teknik Energi Elektrik sekaligus Pembimbing I yang telah memberikan banyak waktu, ilmu, kesabaran dan kemurahan hati dalam membimbing.
- Bapak Eka Maulana, ST., MT., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II atas waktu, saran, dan segala bantuannya.

- Ir. Soemarwanto, MT selaku Kepala Laboratorium Dasar Elektrik dan Pengukuran, Mas Dedy Agus Wahyudi, A.Md selaku pranata laboratorium, serta Keluarga Besar asisten DEP seluruh angkatan.
- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staf recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.
- Sahabat Family Day, Hamu, Dito, Anas, Dayat, Rara, Ade, Sendok, Ika dan Firman atas kerelaannya berbagi semangat, cerita, beban, dan waktu yang menyenangkan selama menjadi mahasiswa serta Teman-teman yang membanggakan, MAGNET'10, yang memberikan doa, semangat serta dukungan kepada penulis.
- Teman-teman ELECTRICAL POWER ENGINEERING 2010.
- Semua pihak yang telah membantu penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, November 2014

Penulis

ABSTRAK

Fitra Rahmat Indyanto, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2014, Perancangan Alat Distilasi Air Laut Tenaga *Hybrid* Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Tawar Bagi Warga Pesisir Pantai, Dosen Pembimbing: Dr. Rini Nur Hasanah S.T., M.Sc, Eka Maulana S.T., M.T., M.Eng

Wilayah pesisir pantai dan pulau-pulau kecil di tengah lautan lepas merupakan daerah-daerah yang sangat miskin akan ketersediaan sumber air tawar. Air laut kurang dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari karena mempunyai kesadahan yang tinggi. 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 cell* yang nantinya menghasilkan daya untuk mengisi *Accu*, Sistem ini disebut sebagai sistem *hybrid*. Tegangan keluaran *solar cell* dirasakan oleh sensor tegangan yang akan menjadi masukan *cuk converter*. *Cuk converter* digunakan untuk menstabilkan tegangan keluaran *solar cell* menjadi 15 volt. *Accu* digunakan sebagai sumber tegangan yang disambungkan ke elemen pemanas yang berfungsi sebagai *heater*. *Heater* ini akan menyala apabila panas dari matahari tidak mencukupi untuk proses penguapan atau suhu yang ada di dalam rumah *evaporator* tidak mencapai *set point* yang telah ditetapkan, Suhu di dalam rumah *evaporator* dirasakan oleh sensor suhu PT100 yang akan diolah oleh Mikrokontroler Arduino Uno. Sistem *on/off* pada heater menggunakan rangkaian *relay module*.

Pada penelitian ini, dalam 3,5 liter air laut yang diuapkan selama 2 jam, dapat menghasilkan 116 ml air tawar. Setelah 2 jam, air tawar yang dihasilkan relatif konstan dengan rata-rata 16 ml per 10 menitnya. Sehingga total air tawar yang dihasilkan dalam waktu 10 jam adalah 1,076 liter. Dari hasil pengujian terlihat bahwa efisiensi hasil air tawar mendekati 31% dengan total daya penggunaan dari radiasi matahari langsung dan elemen pemanas bantuan sebesar 180,06 Watt.

Kata Kunci: Distilasi, *Evaporator*, *Hybrid*, *Cuk Converter*, *Solar Cell*.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
2.2 Rumusan Masalah	3
2.3 Batasan Masalah.....	3
2.4 Tujuan	4
2.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Teknologi Desalinasi.....	5
2.1.1 Distilasi	5
2.2 Air Laut	6
2.3 Energi Matahari.....	8
2.4 Perpindahan Panas	9
2.4.1 Konduksi.....	9
2.4.2 Konveksi	9
2.4.3 Radiasi	10
2.5 Suhu.....	10
2.6 <i>Solar Cell</i>	11
2.7 <i>Accu</i> (Baterai).....	12
2.8 Sensor Suhu PT100.....	13
2.9 Elemen Pemanas	14
2.10 Arduino Uno.....	14
2.11 Cuk Converter	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Perancangan Sistem	22



3.2	Realisasi Pembuatan Sistem.....	23
3.2.1	Diagram Blok.....	24
3.2.2	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	24
3.3	Pengujian dan Analisa Data	24
3.3.1	Pengujian Perangkat Keras	25
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT		27
4.1	Perancangan Sistem	27
4.2	Perancangan Perangkat Keras	28
4.2.1	Parameter <i>Solar Cell</i>	28
4.2.2	Perancangan Rangkaian <i>Cuk Converter</i>	29
4.2.3	Perancangan Rangkaian Pemanas.....	34
4.2.4	Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100.....	35
4.2.5	Perancangan Sistem Microcontroller.....	39
4.2.6	Perancangan Rumah <i>Evaporator</i>	39
4.3	Perancangan Perangkat Lunak	40
4.3.1	Program Utama	40
4.3.2	<i>Sub Program</i> Sensor Suhu PT100 dan RPS.....	40
4.3.3	<i>Sub Program</i> Kontrol On/Off Relay	41
4.3.4	Program Kontrol <i>Duty Cycle PWM</i>	42
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS		44
5.1	Pengujian <i>Solar Cell</i>	44
5.1.1	Tujuan	44
5.1.2	Alat yang Digunakan	45
5.1.3	Prosedur Pengujian	45
5.1.4	Hasil Pengujian dan Analisis	45
5.2	Pengujian Rangkaian <i>Cuk Converter</i>	48
5.2.1	Tujuan	48
5.2.2	Alat yang Digunakan	48
5.2.3	Prosedur Pengujian	48
5.2.4	Hasil Pengujian dan Analisis	49
5.3	Pengujian <i>Pulse Width Modulation Cuk Converter</i>	49
5.3.1	Tujuan	49

5.3.2	Alat yang Digunakan	50
5.3.3	Prosedur Pengujian	50
5.3.4	Hasil Pengujian dan Analisis	50
5.4	Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan	52
5.4.1	Tujuan	52
5.4.2	Alat yang Digunakan	52
5.4.3	Prosedur Pengujian	53
5.4.4	Hasil Pengujian dan Analisis	53
5.5	Pengujian Rangkaian Sensor Suhu PT100 dan RPS	55
5.5.1	Tujuan	55
5.5.2	Alat yang Digunakan	55
5.5.3	Prosedur Pengujian	55
5.5.4	Hasil Pengujian dan Analisis	56
5.6	Pengujian Rangkaian <i>Relay Module</i>	60
5.6.1	Tujuan	60
5.6.2	Alat yang Digunakan	60
5.6.3	Prosedur Pengujian	60
5.6.4	Hasil Pengujian dan Analisis	61
5.7	Pengujian Rangkaian <i>Inverter</i>	61
5.7.1	Tujuan	61
5.7.2	Alat yang Digunakan	61
5.7.3	Prosedur Pengujian	62
5.7.4	Hasil Pengujian dan Analisis	62
5.8	Pengujian Keseluruhan Sistem	63
5.8.1	Tujuan	63
5.8.2	Prosedur Pengujian	63
5.8.3	Hasil Pengujian dan Analisis	63
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		66
6.1	Kesimpulan	66
6.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67



DAFTAR GAMBAR

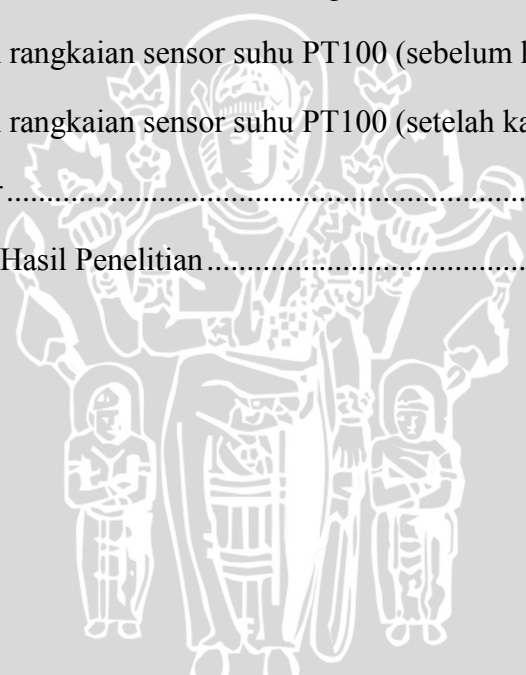
Gambar 2. 1 <i>Solar cell, module, array</i>	11
Gambar 2. 2 Kurva I-V <i>Solar Cell</i>	12
Gambar 2. 3 Sensor PT100	13
Gambar 2. 4 Bentuk Fisik Arduino Uno	15
Gambar 2. 5 Rangkaian <i>cuk converter</i>	16
Gambar 2. 6 Rangkaian <i>cuk converter</i> saat saklar tertutup	16
Gambar 2. 7 Rangkaian <i>cuk converter</i> saat saklar terbuka.....	17
Gambar 3. 1 Skema kerja sistem distilasi air laut tenaga <i>hybrid</i>	22
Gambar 4. 1 Diagram blok sistem	27
Gambar 4. 2 Skema rangkaian <i>cuk converter</i>	29
Gambar 4. 3 Skema rangkaian <i>driver</i> MOSFET	32
Gambar 4. 4 Grafik Karakteristik Sensor PT100 (<i>Datasheet</i>).....	35
Gambar 4. 5 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 (Perancangan).....	36
Gambar 4. 6 Skema <i>input</i> dan <i>output</i> rangkaian pengondisi sinyal (Perancangan) ..	37
Gambar 4. 7 Gambar perancangan rumah <i>evaporator</i>	39
Gambar 4. 8 <i>Flow chart</i> algoritma program utama	40
Gambar 4. 9 <i>Flow chart</i> algoritma <i>sub</i> program sensor suhu PT100 dan RPS	41
Gambar 4. 10 <i>Flow chart</i> algoritma <i>sub</i> program kontrol on/off <i>relay</i>	41
Gambar 4. 11 <i>Flow chart</i> algoritma <i>sub</i> program kontrol <i>duty cycle</i> PWM	43
Gambar 5. 1 Rangkaian pengujian <i>solar cell</i>	45
Gambar 5. 2 Grafik pengujian <i>solar cell</i>	46
Gambar 5. 3 Diagram blok pengujian rangkaian <i>cuk converter</i>	48
Gambar 5. 4 Diagram blok pengujian PWM <i>cuk converter</i>	50



Gambar 5. 5 Grafik pengujian PWM <i>cuk converter</i>	51
Gambar 5. 6 Hasil pengujian <i>duty cycle</i> PWM 40%	52
Gambar 5. 7 Hasil pengujian <i>duty cycle</i> PWM 50%	52
Gambar 5. 8 Hasil pengujian <i>duty cycle</i> PWM 60%	52
Gambar 5. 9 Diagram blok pengujian rangkaian sensor tegangan	53
Gambar 5. 10 Grafik pengujian rangkaian sensor tegangan	54
Gambar 5. 11 Diagram blok pengujian rangkaian sensor suhu PT100 dan RPS.....	55
Gambar 5. 12 Rangkaian pengujian rangkaian pengondisi sinyal.....	56
Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu (Perancangan).....	57
Gambar 5. 14 Grafik pengujian rangkaian sensor PT100 (sebelum kalibrasi).....	59
Gambar 5. 15 Grafik pengujian rangkaian sensor PT100 (setelah kalibrasi)	59
Gambar 5. 16 Diagram blok pengujian rangkaian <i>relay module</i>	60
Gambar 5. 17 Gambar pengujian rangkaian <i>relay module</i> (lampu pijar ON)	61
Gambar 5. 18 Gambar pengujian rangkaian <i>relay module</i> (lampu pijar OFF).....	61
Gambar 5. 19 Diagram blok pengujian rangkaian <i>inverter</i>	62
Gambar 5. 20 Gambar pengujian rangkaian <i>inverter</i>	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino	15
Tabel 4. 1 Parameter <i>solar cell</i>	28
Tabel 5. 1 Hasil pengujian <i>solar cell</i>	46
Tabel 5. 2 Perbandingan nilai parameter <i>solar cell</i>	46
Tabel 5. 3 Hasil pengujian rangkaian <i>cuk converter</i>	49
Tabel 5. 4 Hasil pengujian PWM <i>cuk converter</i>	51
Tabel 5. 5 Hasil pengujian rangkaian sensor tegangan.....	54
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Sensor PT100 (Perancangan)	57
Tabel 5. 7 Hasil pengujian rangkaian sensor suhu PT100 (sebelum kalibrasi).....	58
Tabel 5. 8 Hasil pengujian rangkaian sensor suhu PT100 (setelah kalibrasi)	58
Tabel 5. 9 Hasil Air Tawar	64
Tabel 5. 10 Perbandingan Hasil Penelitian.....	64



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan mendasar untuk menjalani segala aktivitas kehidupan di dalam masyarakat. Sumber air yang digunakan merupakan sumber air tawar. Air tawar pada umumnya berasal dari air hujan, air tanah dan air sungai. Berdasarkan data statistik 1995, prosentase banyaknya sumber air yang digunakan untuk kebutuhan rumah tangga di berbagai daerah di Indonesia sangat bervariasi tergantung dari kondisi geografisnya. Rinciannya adalah sebagai berikut : pengguna air ledeng (PAM) 16,08%, air tanah dengan menggunakan pompa 11,61%, air sumur (perigi) 49,92%, mata air (air sumber) 13,92%, air sungai 4,91%, air hujan 2,62% dan lainnya 0,08%. Dari data terlihat bahwa sebagian besar masyarakat Indonesia memanfaatkan air sumur untuk memenuhi kebutuhan air dalam rumah tangga (Said, 2008:82).

Ketersediaan akan air tawar ataupun air yang bersih merupakan hal yang harus diperhatikan guna menjamin kelangsungan dan kualitas hidup manusia. Wilayah pesisir pantai dan pulau-pulau kecil di tengah lautan lepas merupakan daerah-daerah yang sangat miskin akan ketersediaan sumber air tawar. Sumberdaya air yang terdapat didaerah tersebut umumnya berkualitas buruk, misalnya air tanahnya yang payau atau asin (Tanusekar, 2013:1).

Sumber air sangat melimpah, namun belum banyak dimanfaatkan dalam kehidupan masyarakat. Sumber air tersebut adalah air dari laut yang sangat banyak, khususnya di Indonesia yang wilayahnya kurang lebih 70% terdiri dari laut. Air laut kurang dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari karena mempunyai kadar garam yang tinggi, sehingga kurang tepat untuk digunakan dalam aktivitas sehari-hari. Hal ini dikarenakan tingkat kesadahan pada air laut mempunyai kesadahan yang tinggi, karena pada umumnya komposisi air laut merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam-garaman, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Garam-garaman yang utama yang terkandung dalam air laut adalah klorida (55%),

natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potassium (1%) dan sisanya kurang dari 1% bikarbonat, Bromida, Asam Borak, Strontium dan Florida.

Masalah yang timbul karena tingginya kadar kesadahan dalam air antara lain timbulnya kerak pada alat masak jika air digunakan untuk memasak. Secara ekonomi dan teknis, hal ini sangat merugikan karena adanya kerak pada alat masak akan menyebabkan transfer panas terhambat, sehingga panas yang dibutuhkan harus lebih tinggi sehingga dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak, dan waktu yang lebih lama. Selain itu tingginya kadar kesadahan dalam air juga menyebabkan sabun kurang berbusa jika air digunakan untuk mencuci.

Ketersediaan air bersih untuk masyarakat luas merupakan masalah besar yang dihadapi penduduk Indonesia, khususnya di daerah pesisir pantai. Mengingat kekayaan Indonesia akan sumber daya air lautnya yang melimpah, masalah di atas bisa diatasi dengan cara mengubah air asin dari laut menjadi air tawar, atau biasa disebut dengan istilah *desalinasi*. Proses untuk mendapatkan air tawar tersebut bisa dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya menggunakan metode distilasi. Distilasi merupakan proses pemisahan suatu campuran yang terdiri dari dua atau lebih jenis cairan melalui pemanasan yang kemudian hasil uapnya dikondensasikan kembali menjadi zat cair. Metode ini dipilih karena kepulauan Indonesia yang secara geografis terletak di sekitar garis khatulistiwa, sehingga panas matahari dapat dirasakan secara optimal di berbagai daerah di Indonesia.

Menurut jurnal penelitian dari Sudjito (2001:2), 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*. *Heater* ini akan menyala 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* dirasakan oleh sensor suhu PT100 yang akan diolah oleh Mikrokontroler Arduino Uno. Jadi diharapkan distilasi dapat bekerja selama 24 jam. Penggunaan sistem *hybrid* ini bertujuan agar pemanfaatan energi matahari dapat dimaksimalkan pada proses distilasi ini.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang disebutkan pada latar belakang, maka ditetapkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Seberapa banyak air tawar yang dihasilkan dan berapa efisiensinya.
2. Seberapa besar total daya yang digunakan dalam sistem.
3. Berapa nilai efisiensi dari *solar cell* dan nilai *error* dari setiap rangkaian.

1.3 Batasan Masalah

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

1. Rumah *Evaporator* (wadah air laut yang akan di uapkan), kondensor dan penampungan yang digunakan adalah *prototype* untuk penelitian yang dibuat dengan desain sendiri.
2. Pembahasan mengenai perubahan sifat unsur-unsur kimia tidak dibahas mendalam.
3. Pembahasan mengenai pemanfaatan hasil endapan berupa garam tidak dibahas mendalam.
4. Waktu pengujian terbatas pada ketersediaan radiasi matahari dan kapasitas sumber daya listrik.
5. Pembahasan ditekankan pada menghitung efisiensi sumber dan nilai *error* pada rangkaian sistem.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan air tawar dari air laut melalui pengujian proses distilasi tenaga *hybrid* dan mendapat nilai efisiensi dari air tawar yang dihasilkan.
2. Mengetahui nilai sumber daya yang digunakan pada sistem.
3. Mengetahui nilai efisiensi dari *solar cell* dan mendapatkan nilai *error* dari rangkaian yang telah dibuat.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari enam bagian dengan sistematika 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 Metodologi

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. Selanjutnya, bagaimana penerapannya dalam sistem secara keseluruhan.

BAB V Pengujian dan Analisis

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat, serta analisis hasil yang diperoleh.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan perancangan ini dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan pada alat, maka perlu adanya penjelasan dan uraian teori penunjang yang digunakan. Teori penunjang yang akan dijelaskan dalam bab ini adalah:

- Teknologi Desalinasi
- Air Laut
- Energi Matahari
- Perpindahan Panas
- Suhu
- *Solar Cell*
- *Accu* (Baterai)
- Sensor suhu PT100
- Rangkaian Elemen Pemanas
- Arduino Uno
- *Cuk converter*

2.1 Teknologi Desalinasi

Desalinasi adalah proses pemisahan yang digunakan untuk mengurangi kadar garam terlarut dalam air garam sehingga air hasil pengolahan dapat lebih bermanfaat. Teknik pemisahan kadar garam dalam air laut yang telah berkembang sampai saat ini ada berbagai macam diantaranya adalah distilasi (penyulingan), *freezing* (pembekuan), elektrodialisis dan *reverse osmosis* (osmosis terbalik) (Linsley, 1995:303)

2.1.1 Distilasi

Distilasi telah digunakan sejak sekitar 2000 tahun lalu untuk menjernihkan zat cair dan mengekstraksi larutan parfum. Dewasa ini, distilasi digunakan untuk penyulingan bahan bakar, pengolahan alkohol, dan proses-proses industri 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, 1986:65).

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, 1995:158).

Sistem operasi dalam proses distilasi meliputi peristiwa penyerapan panas dari sinar matahari yang menembus kaca distilator oleh air laut yang ada di dalam distilator. Selain energi panas 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 (Tanusekar, 2013:7).

Proses bantu pemanasan berasal dari kawat filamen yang dialiri arus listrik. Arus listrik yang mengalir pada kawat filamen 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 laut menerima masukan energi. 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, 2004:67).

2.2 Air Laut

Keberadaan garam-garaman mempengaruhi sifat fisis air laut (seperti: densitas, kompresibilitas, titik beku, dan temperatur 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, 2000:2).

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, 2000:3).

2.3 Energi Matahari

Menurut Duffie (1980:198), matahari merupakan sumber energi 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 adalah sebesar konstanta surya yaitu 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantuan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. (Jansen, 1995:16). 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).

2.4 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.

2.4.1 Konduksi

Konduksi adalah gradien temperatur (*temperature gradient*) di dalam suatu bahan homogen yang bersinggungan secara langsung dengan saling menukar energi kinetik antar molekul tanpa ada pergerakan dari molekul tersebut (Pitts, 1977:1).

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.

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

2.4.2 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, 1984:12).

Kreith (1986:308) 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:

$$Q = hA\Delta T \quad (2-2)$$

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

2.4.3 Radiasi

Kreith (1986:215) 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 (e) 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.

2.5 Suhu

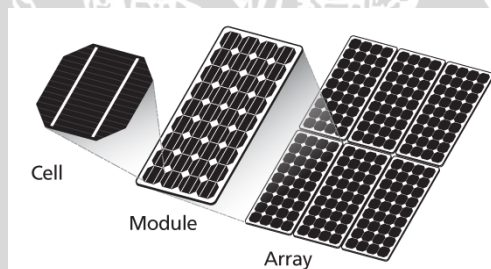
Suhu merupakan salah satu parameter utama termodinamika. Dimana pada fisika, suhu ialah properti fisik dari sebuah sistem yang mendasari pengertian umum dari panas dan dingin. Perbedaan yang mendasar antara suhu dan kalor ialah kalor merupakan salah satu bentuk energi yang menyatakan jumlah panas sedangkan 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, 1962:211).

2.6 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 (Gambar.2.1). 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, 2006:163).

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 secara seri maka menghasilkan tegangan keluaran sekitar 18 volt (Mukund, 2006:164). Gambar 2.1 menunjukkan bagian bagian *solar cell*.



Gambar 2. 1 Solar Cell, Module, Array

(Sumber: Samlexsolar.com)

Solar cell banyak memiliki keuntungan, antara lain:

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.

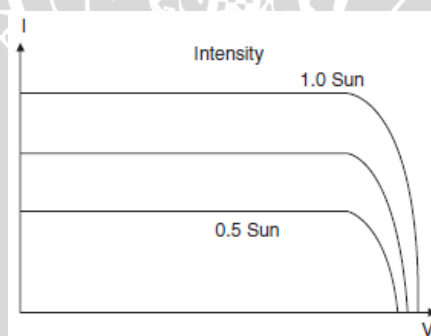
2. Sistem *solar cell* adalah unit modular sehingga dapat dibangun untuk memenuhi kebutuhan perbedaan tenaga yang siap untuk ditambahkan ke sistem yang ada untuk memenuhi kenaikan kebutuhan.

(Mukund, 2006:148)

Namun *solar cell* juga memiliki kelemahan, yaitu:

1. Output tenaga tergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterimanya.
2. Biaya awal lebih besar dibandingkan dengan sistem pengkonversian energi yang lainnya. (Mukund, 2006:171)

Sel surya dapat beroperasi sesuai dengan kurva karakteristik Arus-Tegangan. Seperti terlihat pada Gambar 2.2, 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 (Mukund, 2006:167).



Gambar 2.2 Kurva I-V Solar Cell

(Sumber: Mukund, 2006)

Berdasarkan Wenham, (2007:8), integral dari kerapatan daya terhadap seluruh panjang gelombang mendekati 970 W/m^2 . untuk produk *photovoltaic*, nilai tersebut dibulatkan menjadi 1000 W/m^2 .

2.7 Accu (Baterai)

Accu adalah sebuah tempat penyimpanan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Di dalam standar internasional setiap satu *cell*

akumulator memiliki tegangan sebesar 2 volt, sehingga *accu* 12 volt memiliki 6 *cell* sedangkan *accu* 24 volt memiliki 12 *cell*. Dalam penelitian ini, energi yang dihasilkan *solar cell* akan disimpan dalam tempat penyimpanan energi supaya dapat digunakan apabila dibutuhkan menggunakan *accu* yang disesuaikan dengan kebutuhan beban dan lama penggunaan. Pemilihan *accu* dikarenakan mudah dalam perawatan serta memiliki kapasitas arus yang lebih besar.

2.8 Sensor Suhu PT100

PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistance 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. Alat ini menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga, atau nikel murni, yang memberikan nilai tahanan yang terbatas untuk masing-masing temperatur di dalam kisaran suhunya. Semakin panas benda tersebut semakin besar atau semakin tinggi nilai tahanan listriknya, begitu juga sebaliknya. Gambar sensor PT100 dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Sensor PT100
(Sumber : es.aliexpress.com)

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. Keakurasi 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

Proses pembangkitan panas secara elektrik pada suatu bahan dapat dilakukan dengan menggunakan elemen penghasil panas berupa material konduktor yang dapat menghantarkan panas secara konduksi, konveksi maupun radiasi. Oleh karena itu elemen pemanas sebagai material penghasil panas menjadi faktor yang sangat menentukan proses perpindahan panas dari elemen pemanas ke material yang dipanaskan. Sehingga karakteristik fisik dan kimia dari bahan elemen pemanas sangat menentukan kualitas panas yang dihasilkan suatu peralatan pemanas. Karakteristik dari elemen pemanas adalah sebagai berikut:

- Merupakan material yang bersifat konduktor listrik
- Mendapatkan suplay dari listrik melalui kontak, terminal blok atau lead
- Membutuhkan kedudukan (*mechanical support*)
- Material yang solid
- Memiliki nilai ekonomis untuk masa operasi pada lingkungan atau proses yang akan digunakan.

Material yang digunakan sebagai elemen pemanas umumnya berupa konduktor listrik yang baik, namun untuk mencapai tingkat disipasi panas yang lebih tinggi, ada kalanya konduktor listrik dicampur dengan material lain yang dapat meningkatkan kemampuan (kapasitas) panas yang dihasilkan konduktor listrik seperti lapisan isolator atau keramik yang membungkus bagian konduktor.

Elemen pemanas yang digunakan membutuhkan sumber daya AC, sedangkan keluaran *accu* berupa tegangan DC sehingga dibutuhkan rangkaian *inverter* sebagai pengubah tegangan DC menjadi AC. Rangkaian ini mengubah tegangan 12 Volt DC menjadi 220 Volt AC.

2.10 Arduino Uno

Terdapat bermacam-macam bentuk produk dari arduino, salah satunya adalah model Arduino Uno. Arduino Uno memiliki spesifikasi yang diterangkan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino

Nama	Keterangan
Mikrokontroler	ATmega 328
<i>Operating Voltage</i>	5 V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12 V
<i>Input Voltage (limits)</i>	6-20 V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (of which 6 provide PWM output)
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current for I/O Pin</i>	40 mA
<i>DC Current for 3.3 V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	16 KB (ATmega 168) atau 32 KB (ATmega 328) dimana 2 KB digunakan sebagai <i>bootloader</i>
SRAM	1 KB (ATmega 168) atau 2 KB (ATmega 328)
EEPROM	512 bytes (ATmega 168) atau 1 KB (ATmega 328)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

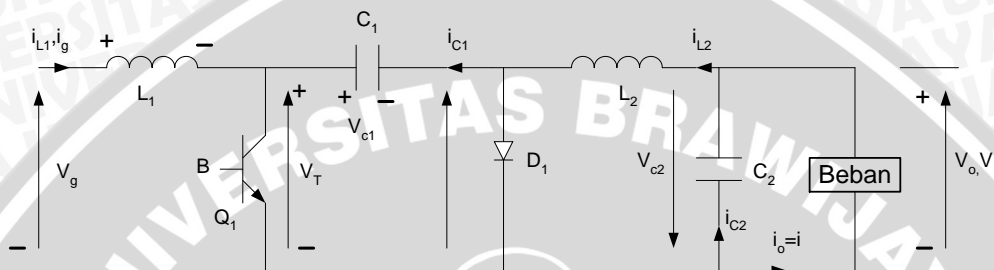
Arduino Uno merupakan modul mikrokontroler yang didalamnya tertanam mikrokontroler. Untuk mikrokontroler yang digunakan pada Arduino Uno adalah jenis ATmega328. Dengan arduino Uno dapat dibuat sebuah sistem atau perangkat fisik menggunakan *software* dan *hardware* yang sifatnya interaktif, yaitu dapat menerima rangsangan dari lingkungan dan merespon balik. Bentuk fisik arduino ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Bentuk Fisik Arduino Uno
(Sumber: Arduino.com)

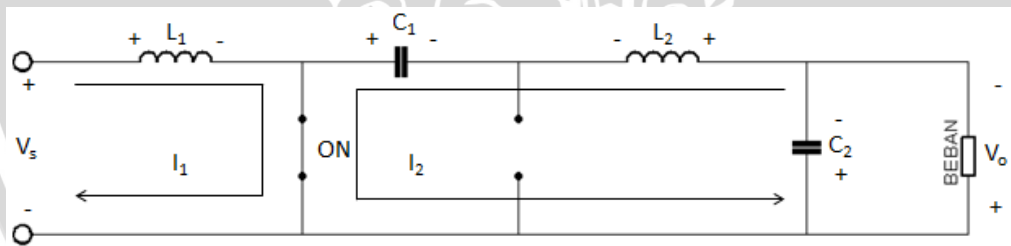
2.11 Cuk Converter

Cuk converter adalah sebuah *buck-boost converter* yang terdiri dari rangkaian *cascade boost converter* yang diikuti dengan rangkaian *buck converter* (Mohamed, 2012:1). Regulator *cuk* atau *cuk converter* (Gambar 2.5) merupakan konverter yang menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil ataupun lebih besar dari tegangan masukan, akan tetapi polaritas tegangan keluaran berlawanan terhadap tegangan masukan (Mohan, 2003:184).



Gambar 2.5 Rangkaian *Cuk Converter*
(Sumber: Mohan, 2003)

Operasi rangkaian *cuk converter* terbagi menjadi dua kondisi, kondisi pertama (Gambar 2.6) terjadi saat transistor Q_1 bekerja pada mode *on* (saklar menutup) pada saat $t=t_1$.



Gambar 2.6 Rangkaian *Cuk Converter* Saat Saklar Tertutup
(Sumber: Diadaptasi dari Mohan, 2003)

Arus yang melalui induktor akan naik dan kapasitor akan melepaskan tegangan (*discharge*) sehingga kondisi dioda D_1 *off* karena dibias mundur (*reverse bias*). Kapasitor C_1 yang melepaskan energinya (*discharge*) dan mengisi C_2 , beban dan L_2 .

Analisis loop I₁:

$$-V_s + V_{L1} = 0$$

$$V_s = V_{L1} = L_1 \frac{\Delta I_1}{t_1}$$

$$\Delta I_1 = \frac{t_1 \cdot V_s}{L_1} \quad (2-4)$$

Analisis loop I₂:

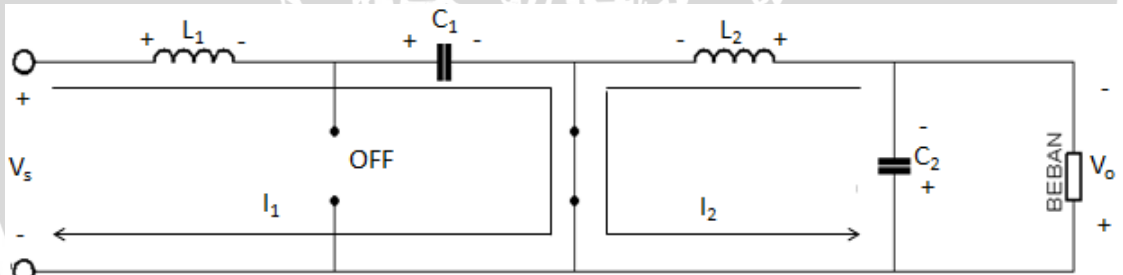
$$-V_{C1} + V_{C2} + V_{L2} = 0, \text{ dengan } V_{C2} = V_o$$

$$V_{L2} = V_{C1} - V_o$$

$$L_2 \frac{\Delta I_2}{t_1} = V_{C1} - V_o$$

$$\Delta I_2 = \frac{V_{C1} - V_o}{L_2} \cdot t_1 \quad (2-5)$$

Kondisi kedua terjadi saat mosfet Q_1 bekerja pada mode *off* (saklar terbuka) pada saat $t=t_2$ (Gambar 2.7). Kapasitor C_1 akan mengisi energi (*charge*) dari supply input sedangkan energi yang tersimpan pada L_2 dialirkan menuju ke kapasitor C_2 dan ke beban.



Gambar 2. 7 Rangkaian *Cuk Converter* Saat Saklar Terbuka
(Sumber: Diadaptasi dari Mohan, 2003)

Analisis loop I₁:

$$-V_s + V_{L1} + V_{C1} = 0$$

$$L_1 \frac{\Delta I_1}{t_2} = V_s - V_{C1}$$

$$\Delta I_1 = \frac{V_s - V_{C1}}{L_1} \cdot t_2 \quad (2-6)$$

Analisis loop I₂:

$$V_{L2} + V_{C2} = 0, \text{ dengan } V_{C2} = V_o$$

$$V_o = -V_{L2} = L_2 \frac{\Delta I_2}{t_2}$$

$$\Delta I_2 = -\frac{V_o \cdot t_2}{L_2} \quad (2-7)$$

Substitusi persamaan (2-1) dan (2-3) dengan asumsi $t_1 = DT$ dan $t_2 = (1-D)T$,

$$\Delta I_1 = \Delta I_1$$

$$\frac{t_1 \cdot V_s}{L_1} = \frac{V_s - V_{C1}}{L_1} \cdot t_2$$

$$V_s - V_{C1} = \frac{t_1 \cdot V_s}{t_2}$$

$$V_{C1} = V_s - \frac{t_1 \cdot V_s}{t_2}$$

$$V_{C1} = V_s \left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right)$$

$$V_{C1} = V_s \left(\frac{t_2 - t_1}{t_2}\right)$$

$$V_{C1} = V_s \left(\frac{T - DT - DT}{T - DT}\right)$$

$$V_{C1} = V_s \left(\frac{1 - 2D}{1 - D}\right) \quad (2-8)$$

Substitusi persamaan (2-2) dan (2-4) dengan asumsi $t_1 = DT$ dan $t_2 = (1-D)T$,

$$\Delta I_2 = \Delta I_2$$

$$\frac{V_{C1} - V_o}{L_2} \cdot t_1 = -\frac{V_o \cdot t_2}{L_2}$$

$$V_{C1} - V_o = -\frac{V_o \cdot t_2}{t_1}$$

$$V_{C1} = -\frac{V_o \cdot t_2}{t_1} + V_o$$

$$V_{C1} = -V_o \left(\frac{t_2}{t_1} - 1\right)$$

$$V_{C1} = -V_o \left(\frac{t_2 - t_1}{t_1}\right)$$

$$V_{C1} = -V_o \left(\frac{T - DT - DT}{DT}\right)$$

$$V_{C1} = -V_o \left(\frac{1-2D}{D} \right) \quad (2-9)$$

Dari persamaan (2-5) dan (2-6) maka didapatkan,

$$\begin{aligned} V_{C1} &= V_{C1} \\ V_s \left(\frac{1-2D}{1-D} \right) &= -V_o \left(\frac{1-2D}{D} \right) \\ V_o &= -\frac{D}{1-D} \cdot V_s \end{aligned} \quad (2-10)$$

Berdasarkan persamaan (2-7) diketahui bahwa polaritas tegangan keluaran berbeda fasa terhadap tegangan masukan. Jika diasumsikan sistem ideal sehingga daya masukan sama dengan daya keluaran, maka

$$\begin{aligned} P_s &= P_o \rightarrow V_s \cdot I_s = V_o \cdot I_o \\ V_s \cdot I_s &= -\frac{D}{1-D} \cdot V_s \cdot I_o \\ I_s &= -\frac{D}{1-D} \cdot I_o \end{aligned} \quad (2-11)$$

Dengan $T = t_1 + t_2 = 1/f$, maka persamaan ΔI_1 dapat diperoleh melalui persamaan (2-1) dan (2-3)

$$\begin{aligned} \Delta I_1 &= \frac{t_1 \cdot V_s}{L_1} \rightarrow t_1 = \frac{L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s} \\ \Delta I_1 &= \frac{V_s - V_{C1}}{L_1} \cdot t_2 \rightarrow t_2 = \frac{L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s - V_{C1}} \\ \frac{1}{f} &= T = t_1 + t_2 \rightarrow \frac{L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s} + \frac{L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s - V_{C1}} \\ \frac{1}{f} &= \frac{V_s(L_1 \cdot \Delta I_1) + (V_s - V_{C1})L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s^2 - V_s \cdot V_{C1}} = \frac{2 \cdot V_s(L_1 \cdot \Delta I_1) - V_{C1} \cdot L_1 \cdot \Delta I_1}{V_s^2 - V_s \cdot V_{C1}} \\ \frac{1}{f} &= \frac{L_1 \cdot \Delta I_1(2 \cdot V_s - V_{C1})}{V_s(V_s - V_{C1})} \\ V_s(V_s - V_{C1}) &= f \cdot L_1 \cdot \Delta I_1(2 \cdot V_s - V_{C1}) \\ \Delta I_1 &= \frac{V_s(V_s - V_{C1})}{L_1 \cdot f(2 \cdot V_s - V_{C1})} \\ \Delta I_1 &= \frac{V_s(V_s - V_{C1})}{L_1 \cdot f(2 \cdot V_s - V_{C1})} \end{aligned}$$

$$\Delta I_1 = \frac{V_s(V_s - V_s(\frac{1-2D}{1-D}))}{L_1 \cdot f(2 \cdot V_s - V_s(\frac{1-2D}{1-D}))}$$

$$\Delta I_1 = \frac{V_s(V_s(\frac{1-D}{1-D}) - V_s(\frac{1-2D}{1-D}))}{L_1 \cdot f(2 \cdot V_s(\frac{1-D}{1-D}) - V_s(\frac{1-2D}{1-D}))} = \frac{\frac{V_s^2(1-D-1+2D)}{1-D}}{L_1 \cdot f \cdot V_s(\frac{(2-2D-1+2D)}{1-D})}$$

$$\Delta I_1 = \frac{V_s \cdot D}{L_1 \cdot f \cdot 1}$$

$$\Delta I_1 = \frac{V_s \cdot D}{L_1 \cdot f \cdot 1} \tag{2-12}$$

Persamaan ΔI_2 diperoleh melalui persamaan (2-5) dan (2-7)

$$\Delta I_2 = \frac{V_{C1} - V_o}{L_2} \cdot t_1 \rightarrow t_1 = \frac{\Delta I_2 \cdot L_2}{V_{C1} - V_o}$$

$$\Delta I_2 = -\frac{V_o \cdot t_2}{L_2} \rightarrow t_2 = -\frac{\Delta I_2 \cdot L_2}{V_o}$$

$$\frac{1}{f} = T = t_1 + t_2 \rightarrow \frac{\Delta I_2 \cdot L_2}{V_{C1} - V_o} + \frac{\Delta I_2 \cdot L_2}{V_o}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{V_o \cdot \Delta I_2 \cdot L_2 + (V_{C1} - V_o)(\Delta I_2 \cdot L_2)}{V_o(V_{C1} - V_o)} = \frac{V_{C1} \cdot \Delta I_2 \cdot L_2}{V_o(V_{C1} - V_o)}$$

$$V_o(V_{C1} - V_o) = V_{C1} \cdot \Delta I_2 \cdot L_2 \cdot f$$

$$\Delta I_2 = \frac{V_o(V_{C1} - V_o)}{V_{C1} \cdot L_2 \cdot f} = \frac{V_o(-V_o(\frac{1-2D}{D}) - V_o)}{-V_o(\frac{1-2D}{D}) \cdot L_2 \cdot f}$$

$$\Delta I_2 = \frac{V_o(-V_o(\frac{1-2D}{D}) - (\frac{V_o \cdot D}{D}))}{-V_o(\frac{1-2D}{D}) \cdot L_2 \cdot f} = \frac{(-V_o(\frac{1-2D}{D}) - (\frac{V_o \cdot D}{D}))}{(\frac{1-2D}{D}) \cdot L_2 \cdot f}$$

$$\Delta I_2 = \frac{-V_o + V_o \cdot 2D - V_o \cdot D}{(1-2D)L_2 \cdot f} = \frac{V_o(-1-D)}{(1-2D)L_2 \cdot f}$$

$$\Delta I_2 = -\frac{V_o(1-D)}{L_2 \cdot f} = \frac{V_s \cdot D}{L_2 \cdot f} \tag{2-13}$$

Ketika saklar *off* atau pada saat $t_2 = (1-D)T$, kapasitor C_1 mengisi muatan dengan rata-rata arus pengisian muatan pada C_1 adalah $I_{C1} = I_s$. Ripple tegangan C_1 adalah

$$\Delta V_{C1} = \frac{1}{C_1} \int_0^{t_2} I_{C1} \cdot dt = \frac{1}{C_1} \int_0^{t_2} I_s \cdot dt = \left[\frac{I_s \cdot t}{C_1} \right]_0^{t_2} = \frac{I_s \cdot t_2}{C_1}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{C1} &= \frac{I_s \cdot (1 - D)T}{C_1} = \frac{I_s \cdot (1 - D)}{C_1 \cdot f} \\ \Delta V_{C1} &= \frac{-\frac{D}{1-D} \cdot I_o \cdot (1 - D)}{C_1 \cdot f} \\ \Delta V_{C1} &= -\frac{I_o \cdot D}{C_1 \cdot f} \end{aligned} \quad (2-11)$$

Arus keluaran merupakan hasil tegangan keluaran dibagi dengan beban

$$\begin{aligned} I_o &= -\frac{V_o}{R}, \text{ maka} \\ \Delta V_{C1} &= \frac{\frac{V_o}{R} \cdot D}{C_1 \cdot f} \\ \Delta V_{C1} &= \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_1 \cdot f} \end{aligned} \quad (2-12)$$

Jika ripple arus beban ΔI_o diabaikan, arus dapat diasumsikan $\Delta I_{L2} = \Delta I_{C2}$. Rata-rata arus pengisian C_2 pada saat $T/2$ adalah $I_{C2} = \Delta I_2/4$ dan rata-rata ripple tegangan pada C_2 , yaitu

$$\begin{aligned} \Delta V_{C2} &= \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} I_{C2} \cdot dt = \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} \frac{\Delta I_2}{4} \cdot dt = \left[\frac{\Delta I_2 \cdot t}{C_2 \cdot 4} \right]_0^{T/2} = \frac{\Delta I_2 \cdot T/2}{C_2 \cdot 4} \\ \Delta V_{C2} &= \frac{\Delta I_2 \cdot T}{8 \cdot C_2} = \frac{\Delta I_2}{8 \cdot C_2 \cdot f} = \frac{\frac{V_s \cdot D}{L_2 \cdot f}}{8 \cdot C_2 \cdot f} \\ \Delta V_{C2} &= \frac{V_s \cdot D}{8 \cdot f^2 \cdot C_2 \cdot L_2} \end{aligned} \quad (2-13)$$

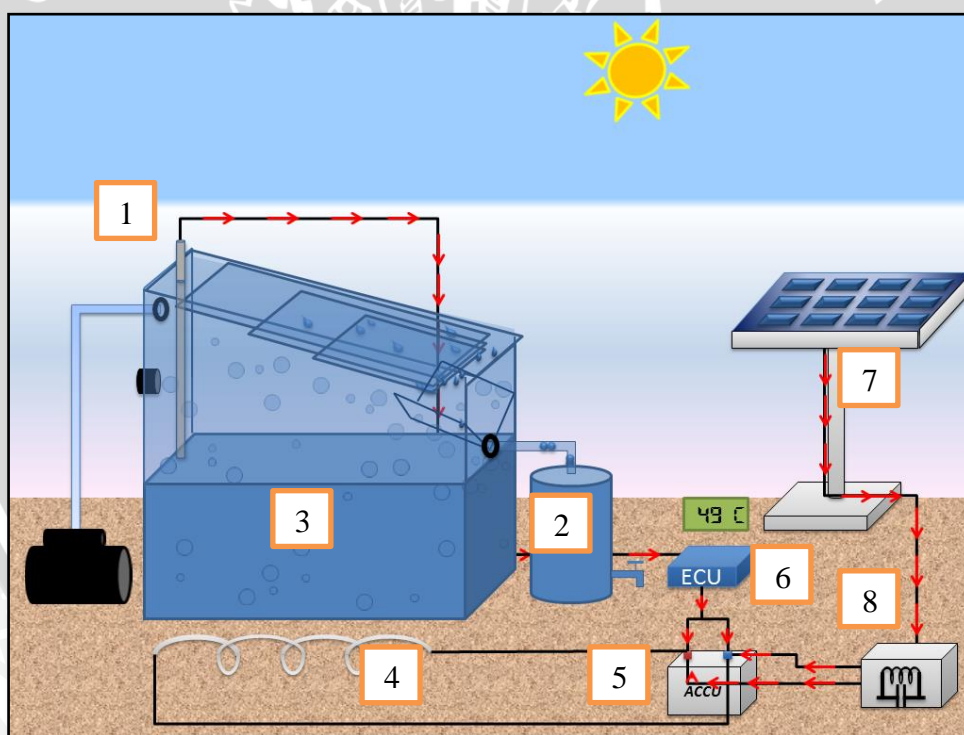
(Mohan, 2003:184)

BAB III METODOLOGI 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 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik serta pemrogramannya, hal ini dimaksudkan agar pengendalian suhu pada sistem dapat berjalan sesuai deskripsi awal yang telah direncanakan. Gambar 3.1 menunjukkan skema kerja sistem.



Gambar 3.1 Skema Kerja Sistem Distilasi Air Laut Tenaga Hybrid

Keterangan

1. Sensor PT100
2. Kondensor
3. Rumah *evaporator*
4. Rangkaian Elemen Pemanas (termasuk *inverter* dan *relay module*)
5. *Accu*
6. *Electronic Control Unit* (Mikrokontroler dan rangkaian pendukung)
7. Sel Surya
8. *Cuk Converter*

Langkah-langkah kerja dari sistem :

- Sinar matahari memberikan energi langsung ke rumah *evaporator* secara radiasi sekaligus menghasilkan energi listrik yang dikonversi oleh *solarcell*.
- Karena tegangan yang dihasilkan *solarcell* tidak konstan, maka rangkaian *cuk converter* berfungsi untuk menstabilkan tegangan yang akan masuk ke *accu*.
- *Accu* merupakan sumber daya utama dalam sistem. *Accu* menyuplai daya untuk pemanas melewati rangkaian *inverter*.
- Suhu didalam rumah *evaporator* dirasakan oleh sensor suhu PT100. Sinyal sensor suhu PT100 dikuatkan oleh Rangkaian Pengondisi Sinyal kemudian masuk ke *microcontroller* untuk diolah.
- Jika suhu didalam rumah *evaporator* telah mencapai *setpoint* yang telah ditentukan, maka *relay* akan memutus arus yang menuju pemanas.
- Uap yang dihasilkan akan melewati kondensor sehingga menghasilkan air.

3.2 Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat yang telah dirancang sebelumnya, tahapan – tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:



3.2.1 Diagram Blok

Perancangan diagram blok merupakan dasar dari perancangan sistem agar perencanaan dan perealisasiian alat berjalan sistematis.

3.2.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras meliputi perencanaan rangkaian *cuk converter*, rangkaian sensor PT100, rangkaian *microcontroller* ATMEGA328, dan rangkaian pemanas.

3.2.2.1 Rangkaian *cuk converter*

Perancangan *cuk converter* bertujuan untuk menstabilkan tegangan keluaran *solar cell*. Tegangan yang dihasilkan *solar cell* akan distabilkan menjadi 15 volt.

3.2.2.2 Rangkaian ATMEGA328/Arduino Uno

Rangkaian ATMEGA328 merupakan rangkaian sistem minimum agar *microcontroller* dapat berfungsi sesuai dengan harapan. Arduino Uno akan mengolah masukan dari sensor PT100 dan mengeluarkan data ke *cuk converter*. Kemudian *cuk converter* akan tersambung ke *accu* sebagai penyimpan daya dan selanjutnya menuju rangkaian pemanas.

3.2.2.3 Rangkaian sensor PT100

Rangkaian sensor PT100 akan membaca suhu pada rumah *evaporator* dan akan memberikan sinyal kepada Arduino Uno untuk diolah lebih lanjut.

3.2.2.4 Rangkaian pemanas

Rangkaian pemanas menggunakan *inverter* yaitu *converter* pengubah dari DC ke AC. *Inverter* mengubah 12 volt DC menjadi 220 volt AC.

3.3 Pengujian dan Analisa Data

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan program *software* sudah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat sebagai berikut :

3.3.1 Pengujian Perangkat Keras

Pengujian dilakukan pada masing-masing blok. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah masing-masing blok bekerja sesuai dengan fungsinya seperti yang telah direncanakan. Pengujian tersebut meliputi:

3.3.1.1 Pengujian *solar cell*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tegangan *open circuit* (V_{OC}), arus *short circuit* (I_{SC}) dan efisiensi yang dihasilkan oleh *solar cell*.

3.3.1.2 Pengujian rangkaian *cuk converter*

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai tegangan masukan yang sama dan nilai *duty cycle* PWM yang berbeda-beda. Jika tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan saat *duty cycle* PWM lebih dari 50% dan tegangan keluaran lebih kecil dari tegangan masukan saat *duty cycle* PWM kurang dari 50% maka rangkaian berfungsi dengan baik.

3.3.1.3 Pengujian rangkaian pemanas

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa daya yang dibutuhkan oleh elemen pemanas dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan air pada suhu yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan rangkaian wattmeter yang dihubungkan dengan sumber daya dan beban.

3.3.1.4 Pengujian rangkaian Arduino

Pengujian bertujuan untuk mengetahui *port-port* dari Arduino dapat berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan menyambungkan LED pada masing-masing *port* Arduino dan diberi logika *high* atau *low*.

3.3.1.4 Pengujian rangkaian sensor PT100

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai suhu yang berbeda-beda pada sensor, selanjutnya pembacaan pada sensor dibandingkan dengan thermometer raksa.

3.3.1.5 Pengujian rangkaian *relay module*

Pengujian bertujuan untuk mengetahui respon *relay* jika diberi tegangan dan arus. Jika dipasang pada *mode NC*, maka pada saat logika 1, *relay* akan memutus arus dan jika dipasang pada *mode NO*, maka pada saat logika 0, *relay* akan mengalirkan arus ke beban.

3.3.1.6 Pengujian *software*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah *software* yang telah diprogram dapat berjalan dengan baik dan mencapai tujuan.

3.3 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dengan menyambungkan semua *hardware* berdasarkan diagram blok yang telah dirancang sebelumnya dan memasukkan program berupa *software* untuk mengendalikan *hardware*. Sistem bekerja dengan baik jika memenuhi *flowchart* yang telah direncanakan.

3.4 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang didapat dari hasil pengujian sistem secara keseluruhan. Apabila hasil yang didapatkan sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya untuk disempurnakan.



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

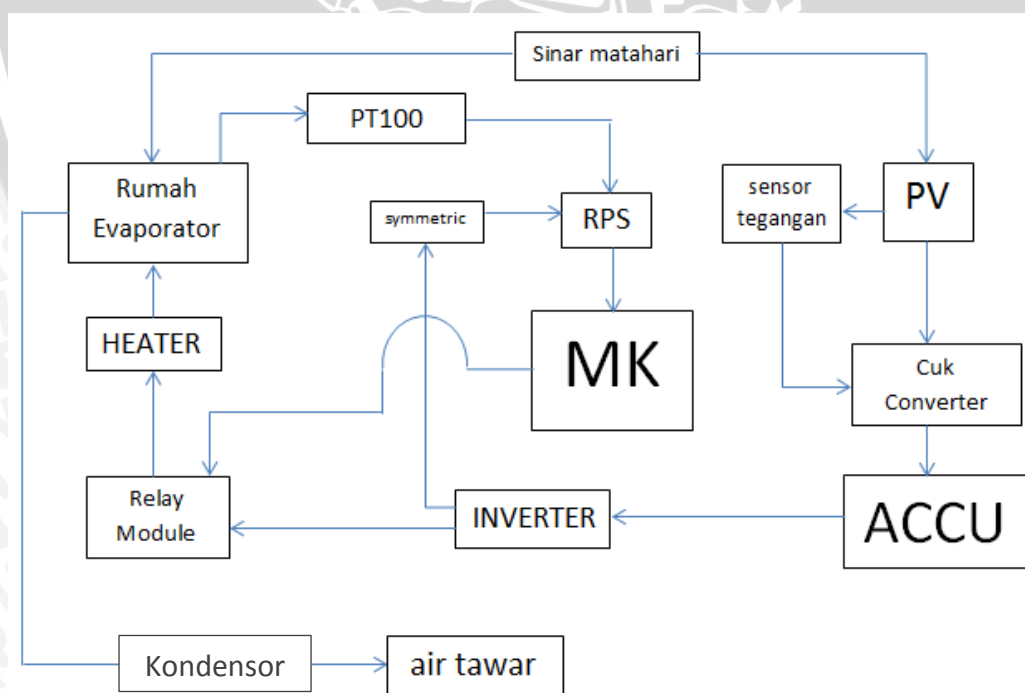
Perancangan alat distilasi air laut tenaga *hybrid* dilakukan secara bertahap sehingga memudahkan dalam analisis setiap bloknnya maupun secara keseluruhan.

Perancangan ini terdiri atas:

1. Perancangan sistem
2. Perancangan perangkat keras (parameter *solar cell*, rangkaian *cuk converter*, rangkaian sensor PT100, rangkaian sistem *microcontroller*, rangkaian pemanas, dan rumah *evaporator*).
3. Perancangan perangkat lunak (*software*) yang terdiri atas program utama, *sub program* sensor tegangan, *sub program* RPS dan sensor suhu PT100, *sub program duty cycle PWM cuk converter*, *sub program* rangkaian *relay module*.

4.1 Perancangan Sistem

Diagram blok perancangan alat distilasi air laut tenaga *hybrid* ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Diagram Blok Sistem

Penjelasan mengenai diagram blok sistem sebagai berikut:

1. Sinar matahari sebagai sumber utama sistem. Sinar matahari akan memberikan energi untuk *solar cell* dan memanaskan rumah *evaporator* secara radiasi.
2. *Solar cell* digunakan untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik.
3. Rangkaian *cuk converter* digunakan sebagai penstabil tegangan keluaran *solar cell*.
4. Sensor tegangan digunakan sebagai sinyal masukan yang akan diolah *microcontroller* untuk PWM *cuk converter*.
5. ATMEGA328 sebagai *Microcontroller* yang digunakan berfungsi untuk pengontrol dan pengolah data.
6. *Accu* sebagai sumber daya sistem.
7. *Relay module* digunakan untuk menyalakan atau mematikan rangkaian pemanas.
8. *Inverter* mengubah tegangan 12 volt DC menjadi 220 volt AC yang kemudian digunakan untuk menyuplai pemanas.
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. Air laut di dalam rumah *evaporator* akan menguap dan melewati kondensor sehingga menghasilkan air tawar.

4.2 Perancangan Perangkat Keras

4.2.1 Parameter *Solar Cell*

Parameter-parameter *solar cell* yang digunakan didapatkan dari spesifikasi *solar cell*. Parameter *solar cell* ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

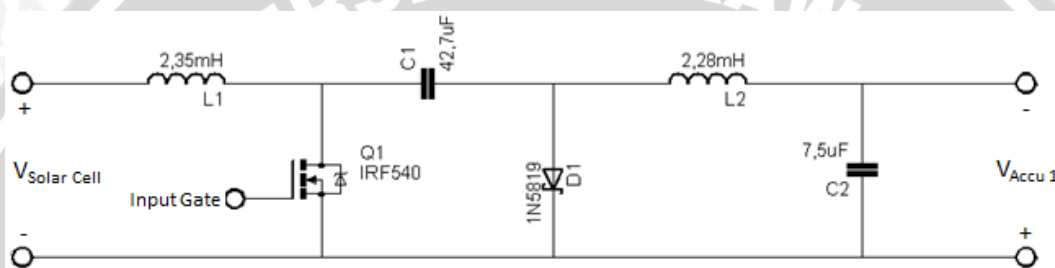
Tabel 4. 1 Parameter *Solar Cell*

Parameter <i>Solar Cell</i>	Nilai
<i>Maximum Power</i> (P_{max})	50 <i>Watt-Peak</i>
<i>Short Circuit Current</i> (I_{sc})	3,12A
<i>Maximum Power Current</i> (I_{mpp})	2,92A
<i>Open Circuit Voltage</i> (V_{oc})	21,63V
<i>Nominal Voltage</i> (V_{mpp})	17,13V

Parameter-parameter yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1 digunakan untuk perancangan rangkaian *cuk converter*.

4.2.2 Perancangan Rangkaian *Cuk Converter*

Rangkaian *Cuk converter* adalah rangkaian yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan masukan. Tegangan keluaran rangkaian *cuk converter* terbalik polaritasnya dengan tegangan masukan. Tegangan keluaran perancangan *cuk converter* yang diinginkan yaitu sebesar 15 volt. Rangkaian *cuk converter* terdiri dari 2 kapasitor (C_1 dan C_2) dan 2 buah induktor (L_1 dan L_2). Rangkaian *cuk converter* ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Skema Rangkaian *Cuk Converter*

Keluaran *solar cell* berpolaritas positif dihubungkan dengan kaki induktor $L_1 = 2,35\text{mH}$, sedangkan kaki Induktor $L_1 = 2,35\text{mH}$ yang lain dihubungkan dengan kaki *drain* MOSFET IRF540 dan kaki polaritas positif kapasitor $C_1 = 42,7\mu\text{F}$. Kaki polaritas negatif kapasitor $C_1 = 42,7\mu\text{F}$ dihubungkan dengan kaki anoda dioda *schottky* 1N5819 dan kaki induktor $L_2 = 2,28\text{mH}$. Kaki induktor $L_2 = 2,28\text{ mH}$ yang lain dihubungkan dengan kaki polaritas negatif kapasitor $C_2 = 7,5\mu\text{F}$ dan salah satu kaki beban berupa *accu*. Polaritas negatif *solar cell* dihubungkan dengan kaki *source* MOSFET IRF540, kaki katoda dioda *schottky* 1N5819, kaki polaritas positif kapasitor $C_2 = 7,5\mu\text{F}$, dan kaki beban yang lain. Kaki *gate* MOSFET IRF540 akan menerima masukan dari rangkaian *driver* MOSFET. Perancangan rangkaian *cuk converter* untuk mendapatkan nilai-nilai dan komponen-komponen yang telah disebutkan adalah sebagai berikut:

4.2.2.1 Perhitungan Induktor

Ripple arus perancangan ditentukan sebesar 5%. Arus rata-rata yang melewati induktor L_1 sebesar 2,92 ampere didapat dari *maximum power current* (I_{mpp}) *solar cell*, maka perubahan arus induktor L_1 (ΔI_1) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta I_1 = 0,05 \cdot I_{L1} = 0,05 \cdot 2,92 = 0,146A$$

Nilai induktor ditentukan melalui perubahan arus induktor yang tidak lebih dari 5% terhadap arus induktor rata-rata, nilai V_s didapatkan dari *nominal voltage* (V_{mpp}) *solar cell*, nilai *duty cycle* (D) sebesar 1 untuk mendapatkan nilai induktor L_1 maksimal, dan nilai frekuensi (f) perancangan sebesar 50kHz. Persamaan (2-12) digunakan untuk mendapatkan nilai induktor L_1 .

$$\Delta I_1 = \frac{V_s \cdot D}{L_1 \cdot f}$$

$$L_1 = \frac{V_s \cdot D}{\Delta I_1 \cdot f}$$

$$L_1 = \frac{17,13 \cdot 1}{0,146 \cdot 50000} = 2,35mH$$

Arus rata-rata yang melewati induktor L_2 yang diinginkan dalam perancangan sebesar 3 ampere dan *ripple* arus sebesar 5%, maka perubahan arus induktor L_2 (ΔI_2) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta I_2 = 0,05 \cdot I_{L2} = 0,05 \cdot 3 = 0,15A$$

Persamaan (2-13) digunakan untuk mendapatkan nilai induktor L_2 .

$$L_2 = \frac{17,13 \cdot 1}{0,15 \cdot 50000} = 2,28mH$$

4.2.2.2 Perhitungan Kapasitor

Tegangan rata-rata yang melewati kapasitor C_1 sebesar:

$$V_{C1} = V_s + V_o = 17,13 + 15 = 32,13V$$

V_s adalah *nominal voltage* (V_{mpp}) *solar cell* dan V_o adalah tegangan keluaran yang diinginkan dalam perancangan.

Diinginkan *ripple* tegangan pada kapasitor C_1 tidak lebih dari 5% sehingga nilai *ripple* tegangan maksimumnya sebesar:

$$\Delta V_{C1} = 0,05 \times 32,13 = 1,6065V$$

Nilai P_o didapat dari *maximum power* (P_{max}) *solar cell*, maka nilai R pengganti beban sebesar:

$$R = \frac{V_o^2}{P_o} = \frac{15^2}{50} = 4,5\Omega$$

Nilai C_1 dapat dihitung menggunakan persamaan (2-12)

$$\Delta V_{C1} = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C_1 \cdot f}$$

$$C_1 = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot \Delta V_{C1} \cdot f}$$

$$C_1 = \frac{15.1}{4,5 \cdot 1,6065 \cdot 50000} = 41,5\mu F$$

Nilai C_2 didapatkan menggunakan persamaan (2-13)

$$\Delta V_{C2} = \frac{V_s \cdot D}{8 \cdot f^2 \cdot C_2 \cdot L_2}$$

$$C_2 = \frac{V_s \cdot D}{8 \cdot f^2 \cdot \Delta V_{C2} \cdot L_2}$$

$$C_2 = \frac{V_s \cdot D}{8 \cdot f^2 \cdot \frac{\Delta V_o}{V_o} \cdot L_2}$$

$$C_2 = \frac{17,13.1}{8 \cdot 50000^2 \cdot 0,05 \cdot (2.28 \cdot 10^{-3})} = 7,5\mu F$$

Pengaruh frekuensi pada perancangan adalah semakin besar frekuensi yang digunakan maka semakin kecil *ripple* arus induktor L_1 dan L_2 serta semakin kecil *ripple* tegangan kapasitor C_1 dan C_2 .

4.2.2.3 Pemilihan Dioda

Dioda yang digunakan adalah dioda *Schottky* karena memiliki tegangan maju yang rendah dan memiliki *reverse recovery time* yang cepat. Saat kondisi dioda *off*, maka *maximum peak repetitive reverse voltage* (V_{RRM}) dioda sama dengan tegangan rata-rata kapasitor (C_1), yaitu



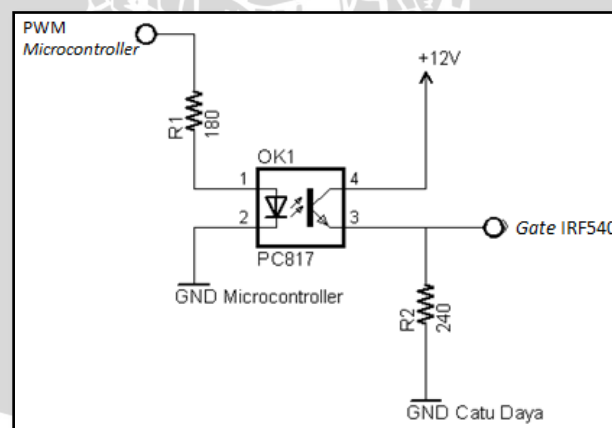
$V_{CI} = V_{RRM} = 32,13$ volt. Digunakan dioda tipe 1N5819 karena memiliki *maximum peak repetitive reverse voltage* (V_{RRM}) sebesar 40 volt.

4.2.2.4 Perancangan Rangkaian *Driver* MOSFET

Driver MOSFET digunakan untuk membangkitkan pulsa *gate* MOSFET pada rangkaian *cuk converter* serta memisahkan tegangan 5 volt *microcontroller* dengan tegangan 12 volt untuk *gate* MOSFET. *Optocoupler* yang digunakan tipe PC817 yang berfungsi sebagai pengaman *microcontroller* jika terjadi arus balik dari rangkaian *cuk converter*. *Optocoupler* PC817 memiliki *rise time* sebesar 4 μ s dan *fall time* sebesar 3 μ s sehingga dapat meneruskan sinyal dengan frekuensi tinggi. *Optocoupler* PC817 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. *Rise time* = 4 μ s
2. *Fall time* = 3 μ s
3. $I_F = 20$ mA
4. $V_{Fmax} = 1,4$ V
5. $I_{Cmax} = 50$ mA
6. $V_{CEmax} = 0,2$ V

Didapatkan perancangan *driver* MOSFET seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Skema Rangkaian *Driver* MOSFET

Pin PWM *microcontroller* ini dihubungkan dengan kaki resistor $R_1=180\Omega$, sedangkan kaki resistor $R_1 = 180\Omega$ yang lain dihubungkan dengan pin 1 (anoda) PC817. Pin 2 (katoda) PC817 dihubungkan dengan

ground microcontroller. Pin 4 (kolektor) PC817 dihubungkan dengan catu daya +12V. Pin 3 (emitor) PC817 dihubungkan dengan kaki resistor $R_2 = 240\Omega$ dan sebagai *output* yang akan dihubungkan dengan kaki *gate* MOSFET IRF540, sedangkan kaki resistor $R_2 = 240\Omega$ yang lain dihubungkan dengan *ground* catu daya. Perancangan rangkaian *driver* MOSFET untuk mendapatkan nilai-nilai dan komponen-komponen yang telah disebutkan adalah sebagai berikut:

Nilai resistor pada kaki anoda PC817 didapatkan menggunakan Persamaan (4-1):

$$-V_{PWM\ microcontroller} + I_F \cdot R_1 + V_{Fmax} = 0 \quad (4-1)$$

$$-5 + (20 \cdot 10^{-3}) \cdot R_1 + 1,4 = 0$$

$$-3,6 = -(20 \cdot 10^{-3}) \cdot R_1$$

$$R_1 = \frac{-3,6}{-(20 \cdot 10^{-3})} = 180\Omega$$

Nilai resistor pada kaki emitor PC817 didapatkan menggunakan Persamaan (4-2):

$$-12 + V_{CE\ saturasi} + I_{Cmax} \cdot R_2 = 0 \quad (4-2)$$

$$-12 + 0 + (50 \cdot 10^{-3}) \cdot R_2 = 0$$

$$R_2 = \frac{-12}{-(50 \cdot 10^{-3})} = 240\Omega$$

4.2.2.5 Pemilihan MOSFET

Tegangan *drain-source* (V_{DS}) MOSFET dapat mencapai 17,13 volt didapat dari *nominal voltage* (V_{mpp}) *solar cell*. Digunakan MOSFET tipe IRF540 dengan nilai maksimum $I_D = 28A$ dan $V_{DS} = 100V$.

4.2.2.6 PWM Cuk Converter

Gelombang PWM yang dihasilkan oleh *microcontroller* merupakan fitur 16-bit *Timer/Counter 1* yang dioperasikan pada *Fast Correct PWM mode*. Frekuensi yang dibutuhkan 50kHz dengan komponen *crystal* yang terpasang pada mikrokontroler sebesar 11,0592MHz serta menggunakan

prescaler (N) sebesar 1. Berdasarkan *datasheet* ATMEGA 32 nilai TOP pada *Fast Correct PWM mode* ditunjukkan dalam Persamaan (4-3):

$$(TOP + 1) = \frac{f_{clkI/O}}{N \cdot f_{PWM}} \quad (4-3)$$

$$(TOP + 1) = \frac{11,0592 \cdot 10^6}{1.50 \cdot 10^3}$$

$$(TOP + 1) = 221$$

$$TOP = 220$$

Nilai *duty cycle* dikeluarkan pada pin OCR1A, maka nilai TOP dimasukkan pada *register* ICR1 dan perubahan *duty cycle* dimasukkan pada *register* OCR1A. Nilai *duty cycle* dipengaruhi oleh nilai TOP. Semakin kecil nilai resolusi *duty cycle* tiap bit, maka semakin akurat nilai *duty cycle* dalam bentuk digital. Besar *range* OCR1A sama dengan nilai TOP sehingga resolusi dari perubahan *duty cycle* setiap bit sebesar:

$$Resolusi_{duty\ cycle} = \frac{100\ \%}{220} = 0.45\ \%/bit$$

Artinya setiap kenaikan 1 bit maka nilai *duty cycle* akan naik sebesar 0.45%.

4.2.2.7 Perancangan Sensor Tegangan

Sensor tegangan dipasang pada keluaran *solar cell* menuju *microcontroller*. Sensor tegangan akan memberikan sinyal masukan untuk PWM *cuk converter* agar diketahui tegangan masukan dari *solar cell*. Sensor tegangan yang digunakan memiliki *input range* 0-25 volt dan *output range* 0-5 volt. Sensor ini membutuhkan catu 5 volt.

4.2.3 Perancangan Rangkaian Pemanas

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

4.2.3.1 Perancangan rangkaian *inverter*

Rangkaian *inverter* dibutuhkan untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. *Inverter* yang digunakan memiliki kapasitas 300 Watt. *Inverter* akan memberikan masukan ke elemen pemanas dan suplai untuk rangkaian RPS dan rangkaian isolasi *cuk converter*.

4.2.3.2 Perancangan *relay module*

Relay module digunakan untuk memutus dan menghubungkan aliran daya dari *accu* ke *inverter* berdasarkan perintah dari *microcontroller*.

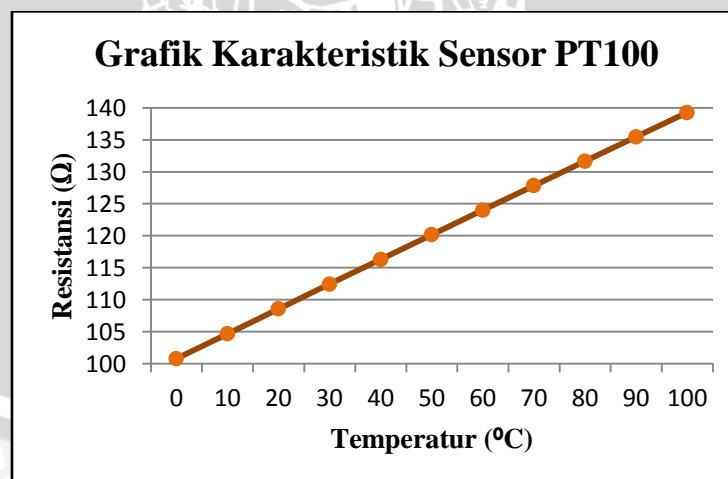
4.2.4 Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100

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

4.2.4.1 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 tenaga *hybrid* ini dirancang untuk rentang pembacaan suhu antara 0-100° Celcius. Gambar 4.4 menunjukkan grafik resistansi PT100 terhadap perubahan suhu pada rentang suhu 0-100° Celcius.



Gambar 4. 4 Grafik Karakteristik Sensor PT100 (*Datasheet*)

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

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

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

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

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

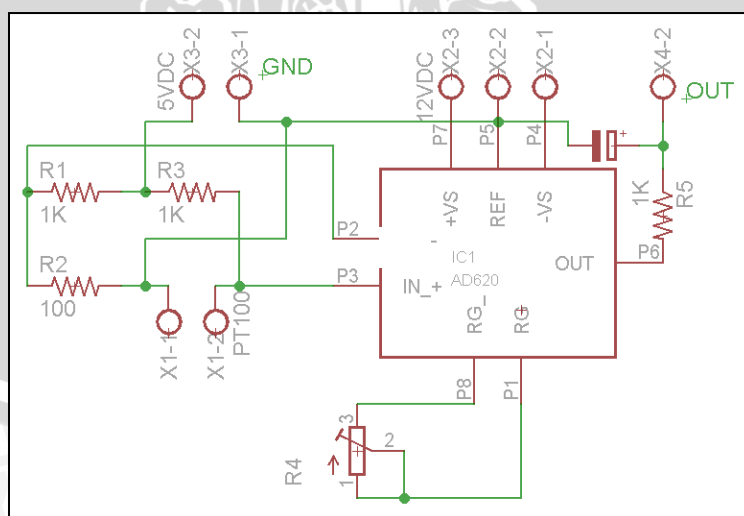
dengan:

R_{PT100} = Resistansi Sensor PT100 (Ω)

T = 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 4.5 menunjukkan *schematic* lengkap dari rangkaian pengondisi sinyal PT100.



Gambar 4. 5 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 (Perancangan)

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:

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

$$R_{pt100} = 100 \Omega \tag{4.5}$$

Pada suhu 50° Celcius:

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

$$R_{pt100} = 138,5 \Omega \tag{4.6}$$

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:

$$V_a = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 V \tag{4-7}$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 \tag{4-8}$$

$$\Delta V_0 = 0 V \tag{4-9}$$

Pada suhu 100° Celcius:

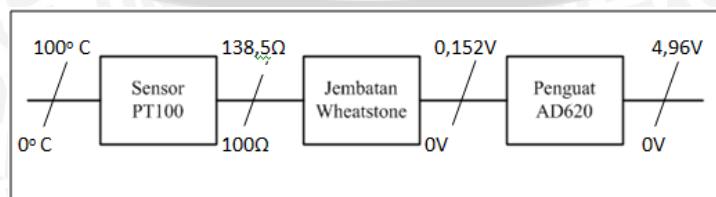
$$V_a = \frac{138,5}{1138,5} \times 4,94 = 0,602 V \tag{4-10}$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 V \tag{4-11}$$

$$\Delta V_{100} = 0,152 V \tag{4-12}$$

2. Penguat AD620

Untuk mempermudah penghitungan perancangan rangkaian pengondisi sinyal PT100, maka dibuatlah ilustrasi skema *input/output* seperti pada Gambar 4.6 berdasarkan hasil penghitungan pada Persamaan (4-9) dan (4-12).



Gambar 4. 6 Skema *Input Dan Output* Rangkaian Pengondisi Sinyal (Perancangan)

Berdasarkan Gambar 4.6, 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 4-13.

$$G = \frac{4,94}{\Delta V_{100} - \Delta V_0} \quad (4-13)$$

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

Besarnya penguatan yang dilakukan AD620 diatur dengan memberikan nilai R_G yang sesuai. Besarnya R_G ditentukan dengan menggunakan Persamaan 4-14. Rumus tersebut didapat dari *datasheet* AD620.

$$R_G = \frac{49.400\Omega}{G-1} \quad (4-14)$$

$$R_G = \frac{49.400\Omega}{33,068-1} = 1540,47\Omega \approx 1540 \Omega$$

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 4-15.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4-15)$$

$$f_c = \frac{1}{(2\pi)(1k\Omega)(100\mu F)} \quad (4-16)$$

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

dimana :

f_c = Frekuensi *cut-off* (Hz)

R = Resistansi (Ω)

C = Kapasitansi (F)

4.2.5 Perancangan Sistem Microcontroller

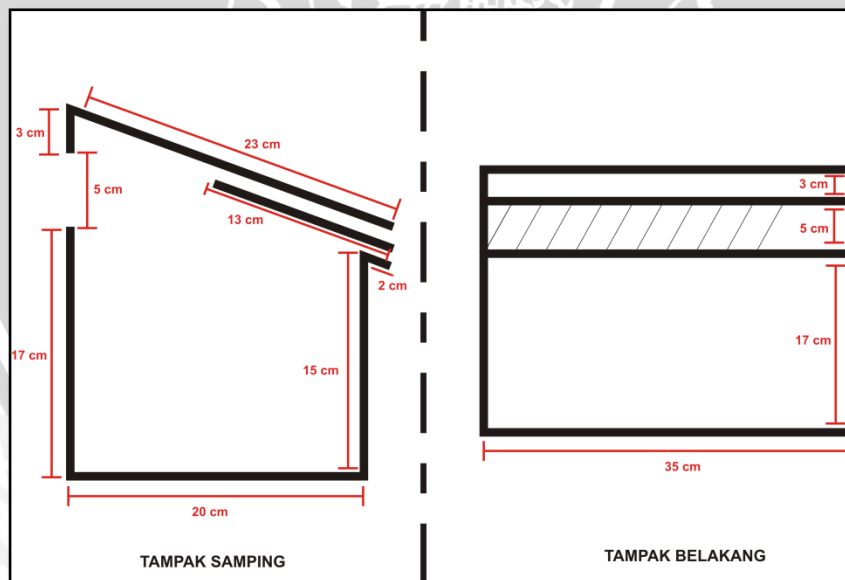
Perancangan sistem ini menggunakan *Microcontroller* Arduino Uno atau ATMEGA 328. *Microcontroller* berfungsi untuk mengolah data masukan dari sensor suhu PT100 dan untuk mengatur rangkaian *relay module* agar dapat memutuskan dan mengalirkan arus sesuai perencanaan. Fungsi setiap pin sistem minimum *microcontroller* Arduino Uno adalah sebagai berikut:

1. Pin A.0 digunakan untuk *analogRead* temperatur.
2. Pin A.1 digunakan untuk *analogRead* sensor tegangan
3. Pin 13 digunakan untuk *relay module*.

4.2.6 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 20 cm.

Rumah *evaporator* terbuat dari kaca bening 3 mm dan didesain agar dapat kedap air. Gambar 4.7 menunjukkan desain dari rumah *evaporator*.

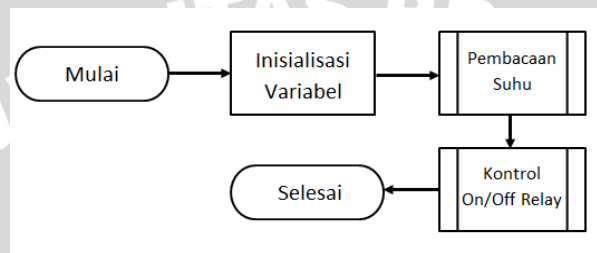


Gambar 4. 7 Gambar Perancangan Rumah *Evaporator*

4.3 Perancangan Perangkat Lunak

4.3.1 Program Utama

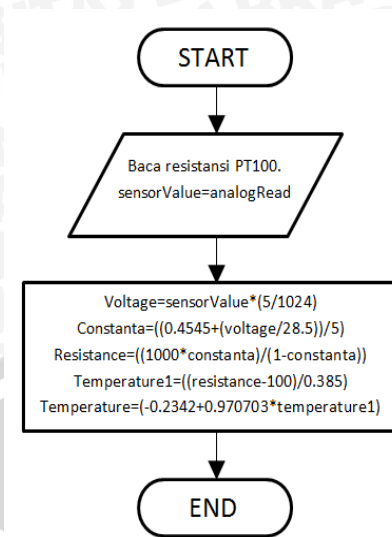
Tujuan program utama adalah mengatur urutan kerja sistem yang diwujudkan dengan melalui algoritma sehingga sistem mampu menjalankan fungsinya dengan baik. Tugas yang harus dikerjakan oleh program utama meliputi pengambilan data sensor suhu. Data hasil pembacaan menjadi acuan agar *microcontroller* memberikan sinyal *low* atau *high* kepada rangkaian *relay module* yang akan menyambung atau memutuskan arus dari *inverter* ke beban. Algoritma program utama ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 *Flow Chart* Algoritma Program Utama

4.3.2 Sub Program Sensor Suhu PT100 dan RPS

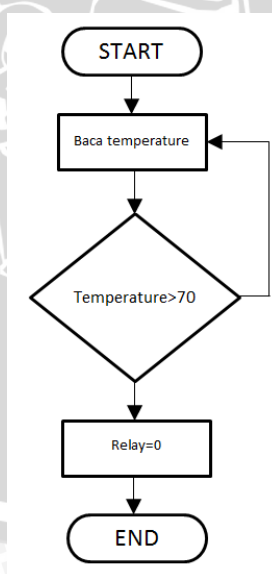
Pembacaan resistansi pada rangkaian PT100 dilewatkan pada rangkaian jembatan *wheatstone*. Tegangan keluaran dari jembatan *wheatstone* memiliki rentang antara 0 sampai 0,152 volt. Rentang tegangan ini dimasukkan pada penguat instrumen AD620 sehingga menjadi rentang 0 sampai 5 volt. Pembacaan sinyal *analog* dikalikan dengan konstanta dan dibagi dengan penguatan AD620 sehingga didapat nilai suhu. Gambar 4.9. menunjukkan *flowchart* dari program sensor suhu PT100 dan RPS.



Gambar 4. 9 Flow Chart Algoritma Sub Program Sensor Suhu PT100 Dan RPS

4.3.3 Sub Program Kontrol On/Off Relay

Pembacaan temperatur digunakan sebagai acuan untuk menyalakan atau mematikan *relay module*. *Set point* yang digunakan adalah 70°C. jika pembacaan temperatur sudah melebihi 70°C, maka *relay* akan secara otomatis membuka. Algoritma *sub* program kontrol on/off *relay* ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Flow Chart Algoritma Sub Program Kontrol On/Off Relay

4.3.4 Program Kontrol *Duty Cycle* PWM

Tegangan yang dihasilkan *solar cell* dibaca oleh sensor tegangan dan diubah menjadi *range* 0-5 volt agar sesuai dengan *range* dari *microcontroller*. Tegangan *solar cell* sangat bergantung pada intensitas cahaya yang diterima, oleh karena itu diperlukan tegangan yang konstan untuk men-charge *accu* sebesar 15 volt yang didapatkan menggunakan rangkaian *cuk converter* dengan mengatur nilai *duty cycle*. Nilai *duty cycle* dapat ditentukan secara otomatis oleh *microcontroller* mengacu pada persamaan (2-10) dan memasukan nilai parameter ADC *solar cell* yang dikeluarkan melalui pin ORC1A. Nilai ADC tegangan keluaran 15 volt didapatkan melalui:

$$ADC_{15V} = \frac{15}{23} \cdot 255 = 166,3 \approx 166$$

Nilai *duty cycle* ditentukan menggunakan persamaan (2-10):

$$V_o = -\frac{D}{1-D} \cdot V_s$$

$$ADC_{15V} = -\frac{D}{1-D} \cdot ADC_{out}$$

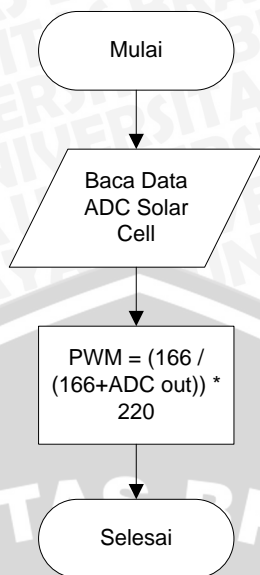
$$166 = -\frac{D}{1-D} \cdot ADC_{out}$$

$$D = \frac{166}{166 + ADC_{out}}$$

Range PWM yang digunakan sebesar 0-220. Nilai *duty cycle* mempengaruhi nilai PWM yang digunakan. Nilai PWM yang digunakan ditunjukkan dalam Persamaan (4-17).

$$PWM = \frac{166}{166 + ADC_{out}} \cdot 220 \quad (4-17)$$

Persamaan (4-17) diolah oleh *microcontroller* sehingga diperoleh tegangan konstan pada keluaran *cuk converter*. *Flow chart sub* program kontrol *duty cycle* PWM ditunjukkan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 *Flow Chart* Algoritma Sub Program Kontrol Duty Cycle PWM



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok kemudian secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian *solar cell*.
2. Pengujian rangkaian *cuk converter*.
3. Pengujian *pulse width modulation cuk converter*.
4. Pengujian rangkaian sensor tegangan.
5. Pengujian rangkaian PT100 dan RPS.
6. Pengujian rangkaian *relay module*.
7. Pengujian rangkaian *inverter*.
8. Pengujian keseluruhan sistem.

Pengujian masing-masing blok akan membandingkan antara teori dan praktek. Setiap pengujian akan dihasilkan error rata-rata yang didapat menggunakan Persamaan (5-2).

$$\text{Error (\%)} = \frac{|\text{Teori} - \text{Praktek}|}{\text{Teori}} \cdot 100\% \quad (5-1)$$

$$\text{Error rata - rata (\%)} = \frac{\sum_{n=1}^n \text{Selisih (\%)}}{n} \quad (5-2)$$

5.1 Pengujian Solar Cell

5.1.1 Tujuan

Tujuan pengujian *solar cell* untuk mengetahui arus *short circuit* (I_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) yang dihasilkan *solar cell*. Pengujian dilakukan hari Sabtu, 15 Maret 2014 pada kondisi suhu lingkungan 25°C , saat 1-1.287 AM. Lokasi pengujian berada di 7.949386 LS dan 112.611912 BT.

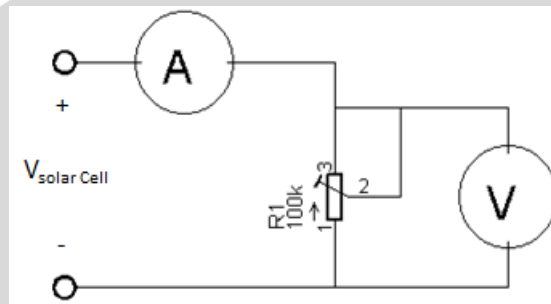
5.1.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian *solar cell* sebagai berikut:

1. *Solar cell* 50 Wp tipe *polycrystalline*.
2. Amperemeter.
3. *Variable Resistor*.
4. Voltmeter.

5.1.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur arus *short circuit* (I_{SC}) dan tegangan *open circuit* (V_{OC}) yang dihasilkan *solar cell*. Rangkaian pengujian *solar cell* ditunjukkan dalam Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian *Solar Cell*

Prosedur pengujian *solar cell* sebagai berikut:

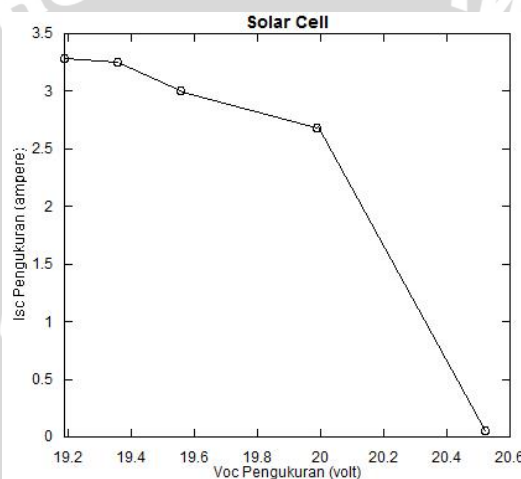
1. Rangkai rangkaian pengujian *solar cell* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.1.
2. Pengukuran arus *short circuit* (I_{SC}) dilakukan dengan cara mengatur nilai *variable resistor* hingga nilai resistansinya sebesar 0Ω .
3. Pengukuran tegangan *open circuit* (V_{OC}) dilakukan dengan cara mengatur nilai *variable resistor* hingga nilai resistansinya sangat besar.

5.1.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian *solar cell* menghasilkan arus *short circuit* (I_{SC}) dan tegangan *open circuit* (V_{OC}) seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.1 dan Gambar 5.2.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian *Solar Cell*

Intensitas Cahaya (LUX)	I _{SC} Pengukuran (ampere)	V _{OC} Pengukuran (volt)
45300	0,049	20,52
72200	2,68	19,99
83500	3,01	19,56
93500	3,25	19,36
87400	3,28	19,19



Gambar 5. 2 Grafik Pengujian *Solar Cell*

Tabel 5. 2 Perbandingan Nilai Parameter *Solar Cell*

Parameter <i>Solar Cell</i>	Nilai Spesifikasi	Nilai Pengukuran
<i>Short Circuit Current (I_{SC})</i>	3,12A	3,28A
<i>Open Circuit Voltage (V_{OC})</i>	21,63V	20,52V

Arus *short circuit* (I_{SC}) *solar cell* yang digunakan sebesar 3,12 ampere, sedangkan arus *short circuit* (I_{SC}) maksimum pengukuran sebesar 3,28 ampere seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.2, sehingga dapat disimpulkan terdapat perbedaan sebesar 0,16 ampere dari hasil pengukuran. Tegangan *open circuit* (V_{OC}) *solar cell* yang digunakan sebesar 21,63 volt, sedangkan tegangan *open*

circuit (V_{OC}) maksimum pengukuran sebesar 20,52 volt seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.2, sehingga dapat disimpulkan terdapat perbedaan sebesar 1,11 volt dari hasil pengukuran.

Perhitungan efisiensi (η) diuraikan sebagai berikut:

nilai intensitas cahaya maksimal (LUX) pada saat pengujian = 93500. Integral dari kerapatan daya terhadap seluruh panjang gelombang mendekati 970 W/m^2 . untuk produk *photovoltaic*, dibulatkan menjadi 1000 W/m^2 . Kemudian ϕ ditetapkan sebesar 48,2° sehingga didapat AM senilai 1,5.

Parameter *solarcell* yang didapat:

Luas penampang (A)	= 0,4375 m^2
Daya radiasi yang diterima (P_{in})	= 437,5 Watt
Tegangan <i>Open Circuit</i> (V_{OC})	= 19,36 V
Arus <i>Short Circuit</i> (I_{OC})	= 3,25 A
Tegangan <i>Load Max</i> ($V_{LoadMax}$)	= 19,12 V
Arus <i>Load Max</i> ($I_{LoadMax}$)	= 2,33 A

Mencari nilai FF didapat berdasarkan Persamaan (5-3):

$$FF = \frac{V_{LoadMax} \times I_{LoadMax}}{V_{OC} \times I_{OC}} \times 100\% \quad (5-3)$$

$$FF = \frac{19,12 \times 2,33}{19,36 \times 3,25} \times 100\%$$

$$FF = 71\%$$

Sehingga berdasarkan Persamaan (5-4) didapat daya keluaran maksimal:

$$P_{Out} = FF \times V_{OC} \times I_{SC}$$

$$P_{Out} = 71\% \times 3,25 \times 19,36$$

$$P_{Out} = 44,6732 \text{ Watt}$$

Dengan memasukkan Persamaan (5-5), maka nilai efisiensi:

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% \quad (5-5)$$

$$\eta = \frac{44,6732}{437,5} \times 100\%$$

$$\eta = 10,21 \%$$

5.2 Pengujian Rangkaian Cuk Converter

5.2. Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian *cuk converter* untuk mengetahui apakah rangkaian *cuk converter* dapat mengeluarkan tegangan sesuai dengan Persamaan (2-10).

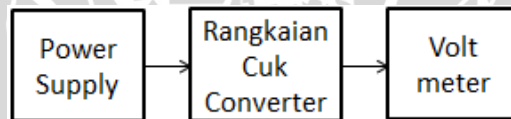
5.2.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian *cuk converter* sebagai berikut:

1. *Power supply*.
2. Rangkaian *cuk converter*.
3. Voltmeter.

5.2.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran rangkaian *cuk converter*. Diagram blok pengujian rangkaian *cuk converter* ditunjukkan dalam Gambar 5.3.



Gambar 5. 3 Diagram Blok Pengujian Rangkaian *Cuk Converter*

Prosedur pengujian rangkaian *cuk converter* sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian *cuk converter* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.3.
2. Tegangan *power supply* yang digunakan sebesar 10 volt. Tegangan *power supply* sebagai tegangan masukan rangkaian *cuk converter*.
3. Atur *duty cycle* yang digunakan rangkaian *cuk converter*.
4. Ukur tegangan keluaran rangkaian *cuk converter* menggunakan voltmeter.
5. Ulangi langkah 3 dengan nilai *duty cycle* yang bervariasi.

5.2.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian rangkaian *cuk converter* menghasilkan tegangan keluaran yang berbeda fasa dengan tegangan masukan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Rangkaian *Cuk Converter*

Duty Cycle (%)	V _o Perhitungan (volt)	V _o Pengukuran (volt)	Selisih (volt)	Error (%)
30	-4,29	-4,83	0,54	12,70
32	-4,71	-5,20	0,49	10,50
34	-5,15	-5,46	0,31	5,99
36	-5,63	-5,88	0,26	4,53
38	-6,13	-7,12	0,99	16,17
40	-6,67	-7,73	1,06	15,95
42	-7,24	-8,22	0,98	13,51
44	-7,86	-8,73	0,87	11,11
46	-8,52	-9,82	1,30	15,28
48	-9,23	-9,89	0,66	7,14
50	-10,00	-10,51	0,51	5,10
52	-10,83	-11,87	1,04	9,57
54	-11,74	-12,57	0,83	7,08
56	-12,73	-12,88	0,15	1,20
58	-13,81	-14,03	0,22	1,60
60	-15,00	-15,22	0,22	1,47
Error Rata-rata				8,68

Pengujian rangkaian *cuk converter* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 8,68% dan selisih tegangan antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 16,17 volt.

5.3 Pengujian *Pulse Width Modulation Cuk Converter*

5.3.1 Tujuan

Tujuan pengujian PWM *cuk converter* untuk mengetahui apakah PWM yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan yaitu sebesar 50 kHz dengan nilai *duty cycle* yang bervariasi.

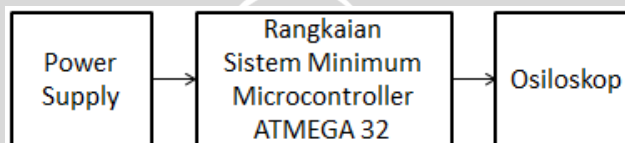
5.3.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian PWM *cuk converter* sebagai berikut:

1. *Power supply*
2. Rangkaian sistem Arduino Uno.
3. Osiloskop.

5.3.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan pin D5 *microcontroller* dengan osiloskop. Diagram blok pengujian PWM *cuk converter* ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Diagram Blok Pengujian PWM *Cuk Converter*

Prosedur pengujian PWM *cuk converter* sebagai berikut:

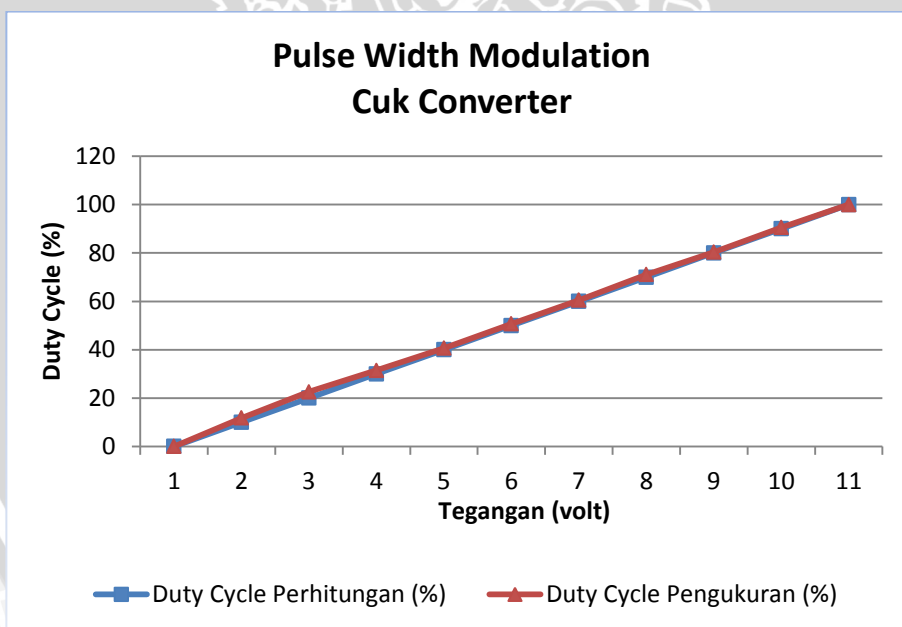
1. Rangkai rangkaian pengujian PWM *cuk converter* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.4.
2. Tulis *microcontroller* dengan *duty cycle* PWM yang bervariasi.
3. Hasil pengujian PWM *cuk converter* dapat dilihat pada osiloskop.

5.3.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian PWM *cuk converter* menghasilkan sinyal dengan frekuensi 50kHz. Hasil pengujian PWM *cuk converter* ditunjukkan dalam Tabel 5.4 dan Gambar 5.5.

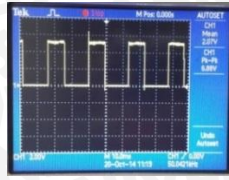
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian PWM Cuk Converter

No.	Duty Cycle Perhitungan (%)	Duty Cycle Pengukuran (%)	Vo (volt)	Selisih (%)	Error (%)
1	0	0	0	0	0
2	10	11,78	0,60	1,78	15,11
3	20	22,59	1,15	2,59	11,46
4	30	31,43	1,60	1,43	4,55
5	40	40,67	2,07	0,67	1,64
6	50	50,68	2,58	0,68	1,34
7	60	60,51	3,08	0,51	0,83
8	70	71,11	3,62	1,11	1,56
9	80	80,35	4,09	0,35	0,43
10	90	90,56	4,61	0,56	0,62
11	100	100	5,09	0	0
Rata-rata				0,88	3,41

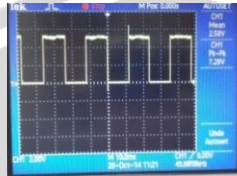


Gambar 5. 5 Grafik Pengujian PWM Cuk Converter

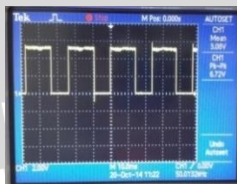
Bentuk gelombang PWM dengan *duty cycle* 40% ditunjukkan dalam Gambar 5.6. Bentuk gelombang PWM dengan *duty cycle* 50% ditunjukkan dalam Gambar 5.7. Bentuk gelombang PWM dengan *duty cycle* 60% ditunjukkan dalam Gambar 5.8.



Gambar 5. 6 Hasil Pengujian *Duty Cycle* PWM 40%



Gambar 5. 7 Hasil Pengujian *Duty Cycle* PWM 50%



Gambar 5. 8 Hasil Pengujian *Duty Cycle* PWM 60%

Pengujian PWM *cuk converter* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 3,41% dan selisih *duty cycle* antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 0,8 %.

5.4 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

5.4.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian sensor tegangan ini adalah untuk mengetahui apakah rangkaian sensor tegangan dapat mengeluarkan tegangan sesuai dengan *datasheet* sensor.

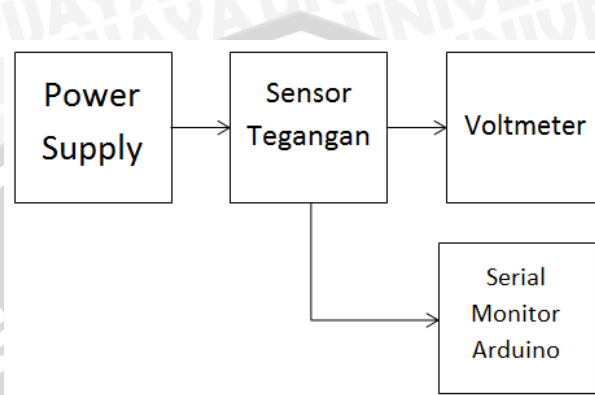
5.4.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian sensor tegangan adalah sebagai berikut:

1. *Power supply*.
2. Rangkaian sensor tegangan.
3. Voltmeter.

5.4.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran rangkaian sensor tegangan. Diagram blok pengujian sensor tegangan ditunjukkan dalam Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Prosedur pengujian rangkaian sensor tegangan sebagai berikut:

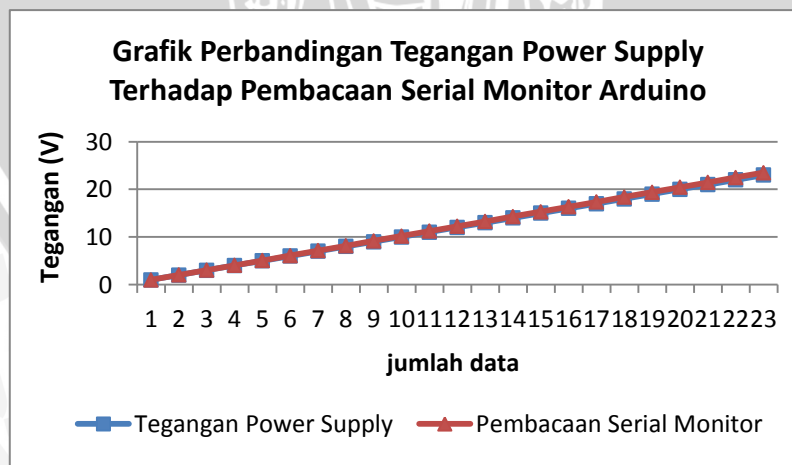
1. Rangkai rangkaian pengujian sensor tegangan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.9.
2. Tegangan *power supply* yang digunakan bervariasi antara 0-23 volt. Tegangan *power supply* sebagai tegangan masukan rangkaian sensor tegangan.
3. Tegangan keluaran sensor tegangan diukur menggunakan voltmeter dan kemudian dibandingkan dengan pembacaan melalui *serial monitor* Arduino.

5.4.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian rangkaian sensor tegangan menghasilkan tegangan keluaran seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.5 dan Gambar 5.10.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Tegangan Power Supply	Pembacaan Sensor Tegangan	Pembacaan Serial Monitor	selisih	error
1	0,2	1,00	0	0
2	0,42	2,03	0,03	1,47
3	0,63	3,03	0,03	0,99
4	0,86	4,05	0,05	1,23
5	1,07	5,07	0,07	1,38
6	1,28	6,10	0,10	1,64
7	1,49	7,13	0,13	1,82
8	1,64	8,15	0,15	1,84
9	1,84	9,18	0,18	1,96
10	2,05	10,20	0,20	1,96
11	2,25	11,23	0,23	2,04
12	2,44	12,25	0,25	2,04
13	2,64	13,27	0,27	2,03
14	2,84	14,30	0,30	2,10
15	3,02	15,32	0,32	2,09
16	3,27	16,35	0,35	2,14
17	3,43	17,37	0,37	2,13
18	3,64	18,40	0,40	2,17
19	3,89	19,42	0,42	2,16
20	4,03	20,45	0,45	2,20
21	4,23	21,47	0,47	2,19
22	4,43	22,50	0,50	2,22
23	4,63	23,52	0,52	2,21
Rata-rata			0,25	1,83



Gambar 5. 10 Grafik Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Pengujian rangkaian sensor tegangan menghasilkan *error* rata-rata sebesar 1,83% dan selisih tegangan antara catu daya dan pembacaan sensor paling besar adalah 0,52 volt.

5.5 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu PT100 dan RPS

5.5.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian sensor suhu PT100 dan RPS ini adalah untuk mengetahui kemampuan pembacaan sensor terhadap perubahan suhu dengan melihat perubahan resistansi sensor suhu PT100 dan kemampuan rangkaian penguat sinyal RPS. Rangkaian RPS dihitung dengan metode jembatan *wheatstone*.

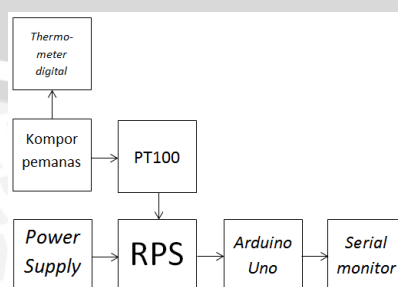
5.5.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian sensor Suhu PT100 dan RPS:

1. *Power supply*.
2. Sensor Suhu PT100.
3. RPS.
4. Kompor pemanas berisi air.
5. *Thermometer digital*.
6. Arduino Uno.

5.5.3 Prosedur Pengujian

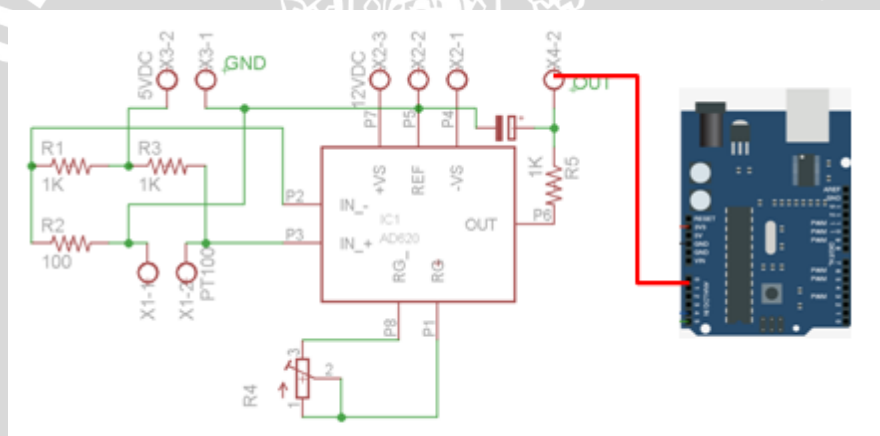
Pengujian dilakukan dengan mengukur suhu dengan *thermometer digital* kemudian dibandingkan dengan keluaran sensor suhu PT100. Diagram blok pengujian rangkaian sensor suhu PT100 dan RPS ditunjukkan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Sensor Suhu PT100 Dan RPS

Prosedur pengujian rangkaian sensor suhu PT100 dan RPS sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian sensor suhu PT100 dan RPS seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.12.
2. Nyalakan kompor pemanas yang berisi air.
3. Mengamati dan mencatat setiap perubahan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu berdasarkan suhu termometer acuan.
4. Setelah Arduino Uno dihubungkan dengan PC, catu rangkaian pengondisi sinyal. Hidupkan *serial monitor* pada *software* Arduino.
5. Kemudian bandingkan perubahan suhu pada *thermometer* dan hasil pembacaan suhu *serial monitor*.



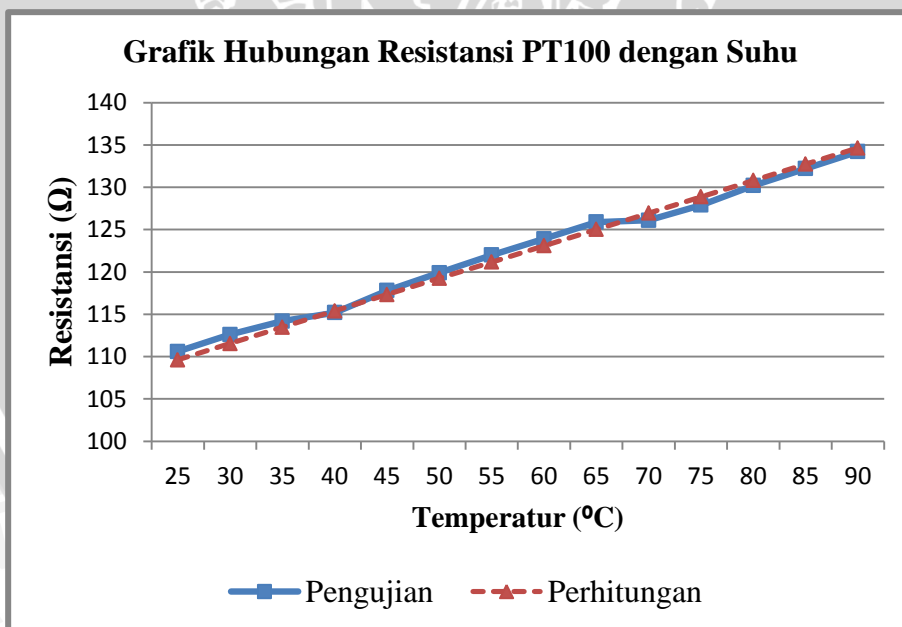
Gambar 5. 12 Rangkaian Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal

5.5.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian resistansi sensor PT100 ditunjukkan dalam Tabel 5.6 dan Gambar 5.13. Hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal dan sensor suhu PT100 ditunjukkan dalam Tabel 5.7, Tabel 5.8, Gambar 5.14 dan Gambar 5.15.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Sensor PT100 (Perancangan)

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%



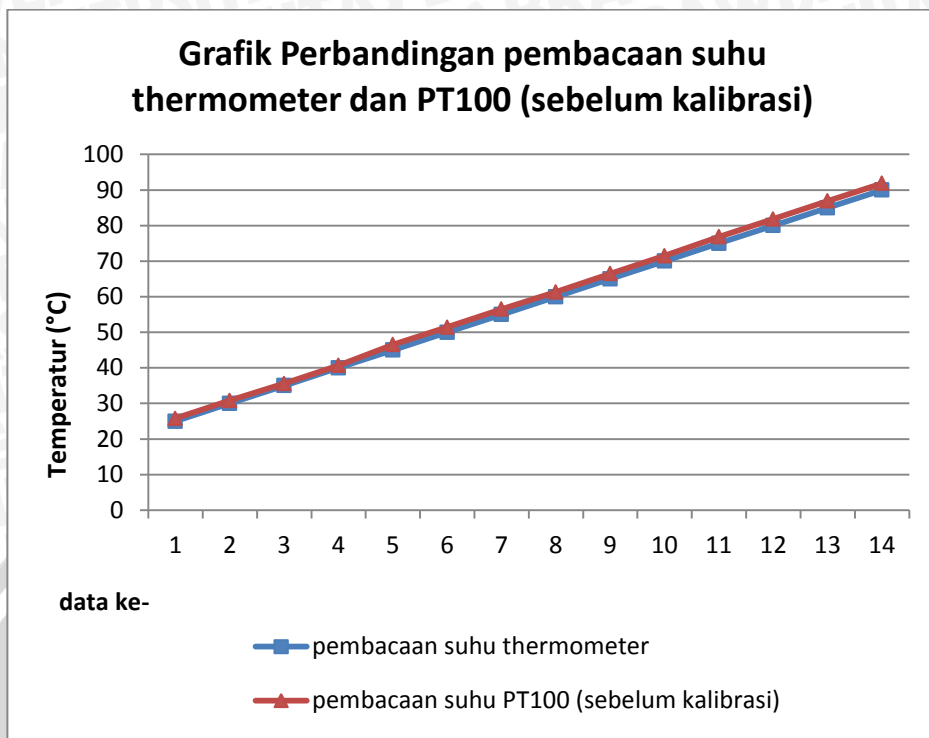
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu (Perancangan)

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Suhu PT100 (Sebelum Kalibrasi)

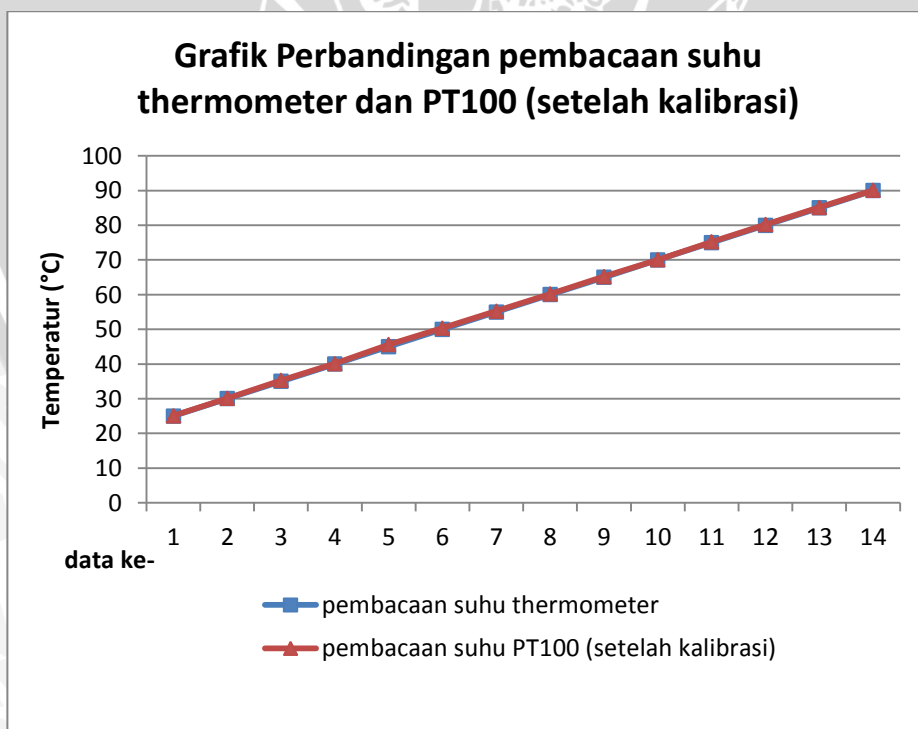
No.	Suhu pembacaan termometer (°C)	Suhu pembacaan serial monitor (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	25,00	25,80	0,80	3,10
2	30,00	30,84	0,84	2,72
3	35,00	35,61	0,61	1,71
4	40,00	40,69	0,69	1,69
5	45,00	46,55	1,55	3,33
6	50,00	51,41	1,41	2,74
7	55,00	56,51	1,51	2,67
8	60,00	61,31	1,31	2,13
9	65,00	66,51	1,51	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

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Suhu 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. 14 Grafik Pengujian Rangkaian Sensor PT100 (Sebelum Kalibrasi)



Gambar 5. 15 Grafik Pengujian Rangkaian Sensor PT100 (Setelah Kalibrasi)

Pengujian rangkaian sensor suhu PT100 (setelah kalibrasi) menghasilkan *error* rata-rata sebesar 0,42% dan selisih pembacaan *thermometer* dan pembacaan sensor suhu PT100 (setelah kalibrasi) paling besar adalah 0,60°C.

5.6 Pengujian Rangkaian *Relay Module*

5.6.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian *relay module* ini adalah untuk mengetahui rangkaian *relay module* bekerja dengan baik.

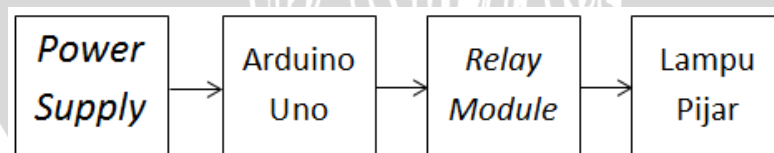
5.6.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian *relay module*:

1. *Power supply*.
2. *Relay module*.
3. Lampu pijar
4. Arduino Uno.

5.6.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan melihat lampu pijar menyala dan padam sesuai dengan program yang dijalankan. Program yang dibuat adalah untuk menyalakan lampu selama 2 detik dan memadamkan lampu 2 selama 2 detik. Diagram blok pengujian dapat dilihat dalam Gambar 5.16.



Gambar 5. 16 Diagram Blok Pengujian Rangkaian *Relay Module*

Prosedur pengujian rangkaian *relay module* sebagai berikut:

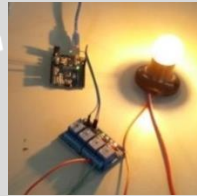
1. Rangkai rangkaian pengujian *relay module* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.16.
2. Tegangan *power supply* bernilai 5 volt disambungkan ke Arduino Uno. Masukkan *program* untuk menyalakan dan mematikan lampu. Lampu

pijar diatur agar menyala selama 2 detik dan padam selama 2 detik secara otomatis.

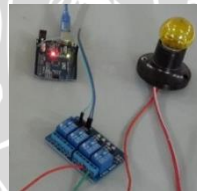
3. *Relay Module* dihubungkan ke Arduino Uno. Dan lampu pijar dihubungkan ke *relay module*.

5.6.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian rangkaian *relay module* ditunjukkan dan Gambar 5.17 dan Gambar 5.18.



Gambar 5.17 Gambar Pengujian Rangkaian *Relay Module* (Lampu Pijar ON)



Gambar 5.18 Gambar Pengujian Rangkaian *Relay Module* (Lampu Pijar OFF)

Pengujian rangkaian *relay module* menunjukkan bahwa *relay module* bekerja dengan baik atas perintah dari *microcontroller*. Lampu pijar dapat menyala dan padam sesuai dengan program yang dijalankan.

5.7 Pengujian Rangkaian *Inverter*

5.7.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian *inverter* ini adalah untuk mengetahui keluaran dari inverter adalah tegangan sinusoida.

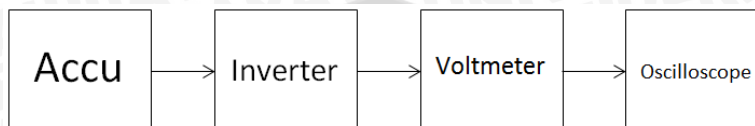
5.7.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian transistor:

1. *Accu*.
2. Rangkaian *inverter*.
3. Voltmeter.
4. *Oscilloscope*

5.7.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memberi catu pada *inverter*. Kemudian melihat apakah keluaran inverter memiliki tegangan sinusoida.. Diagram blok pengujian rangkaian *inverter* ditunjukkan dalam Gambar 5.19.



Gambar 5. 19 Diagram Blok Pengujian Rangkaian *Inverter*

Prosedur pengujian rangkaian *inverter* sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian *inverter* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.19.
2. Tegangan *power supply* diukur dengan voltmeter kemudian dihubungkan pada rangkaian *inverter*.
3. Tegangan keluaran rangkaian *inverter* dihubungkan dengan voltmeter dan *oscilloscope*.
4. Amati bentuk gelombang tegangan keluaran dari *inverter*.

5.7.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian rangkaian *inverter* yang digunakan sebagai pengubah tegangan 12 volt DC menjadi 228,6 volt AC mendapatkan hasil gelombang kotak. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.20.



Gambar 5. 20 Gambar Pengujian Rangkaian *Inverter*

5.8 Pengujian Keseluruhan Sistem

5.8.1 Tujuan

Tujuan pengujian keseluruhan sistem untuk menganalisis apakah sistem telah bekerja sesuai dengan perancangan. Parameter yang diuji adalah besarnya radiasi matahari, nilai tegangan keluaran *cuk converter*, sistem *on/off heater*, dan laju volume air tawar yang dihasilkan.

5.8.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menghitung besarnya radiasi matahari, mengukur tegangan keluaran dari *cuk converter*, mengamati sistem *on/off heater*, serta mengukur volume air tawar yang dihasilkan dalam rentang waktu yang ditentukan. Pengujian keseluruhan ini dilakukan selama 10 jam pada pagi sampai sore hari dengan *setpoint* 70°C.

5.8.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Radiasi matahari yang mengenai rumah *evaporator* dapat dihitung dengan mengetahui luasannya. Jika luas (A) rumah *evaporator* adalah 0,07m², suhu (T) terukur sebesar 30°C, dan konstanta Stefan-Boltzmann (σ) adalah 5,67. 10⁻⁸, maka besar radiasinya berdasarkan Persamaan (2-3) adalah:

$$Q = \sigma AT^4$$

$$Q = 5,67 \cdot 10^{-8} \times 0,07 \times (273 + 30)^4$$

$$Q = 33,4 \text{ Watt}$$

Radiasi matahari yang menembus kaca bening di asumsikan senilai 90%. Sehingga,

$$Q = 33,4 \text{ Watt} \times 90\%$$

$$Q = 30,06 \text{ Watt}$$

Elemen pemanas yang digunakan sebesar 154 Watt. Sehingga daya total yang digunakan adalah 184,06 Watt.

Pada pengujian didapatkan hasil air tawar seperti pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9 Hasil Air Tawar

Waktu (menit)	Air Tawar (ml)
0	0
10	0
20	4
30	7
40	7
50	9
60	11
70	10
80	13
90	11
100	12
110	15
120	17

Setelah 2 jam, air tawar yang dihasilkan relatif konstan dengan rata-rata 16 ml per 10 menitnya. Sehingga total air tawar yang dihasilkan dalam waktu 10 jam adalah 1,076 liter.

Efisiensi yang dihasilkan dihitung dengan Persamaan (5-6):

$$\eta = \frac{Volume_{input}}{Volume_{output}} \times 100\% \tag{5-6}$$

$$\eta = \frac{3,5 \text{ liter}}{1,076 \text{ liter}} \times 100\%$$

$$\eta = 30,74 \% \approx 31\%$$

Perbandingan hasil produksi dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 5.10

Tabel 5. 10 Perbandingan Hasil Penelitian

No.	Penelitian (tahun)	Perlakuan		Dimensi (m ²)	Produksi (liter/hari/m ²)
		Vakum	Pemanas		
1.	Marsum (2004)	-	-	0,4512	4,16
2.	Kimpraswi (2005)	-	-	n/a	6-7
3.	Sugeng A (2005)	-	-	1	3,942
4.	Rizqi R.H (2011)	-	-	3,08	3,2
5.	Hangga (2012)	(-10cmHg)	-	0,7644	7,2
6.	Fitra R.I (2014)	-	(150 Watt)	0,07	15,37
7.	Goswami (2004)	(-71cmHg)	-	0,2	22,8

Dari hasil pengujian terlihat bahwa efisiensi hasil air tawar mendekati 31% dengan total daya penggunaan dari radiasi matahari langsung dan elemen pemanas bantuan sebesar 184,06 Watt.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan perancangan dan pembuatan sistem distilasi tenaga *hybrid* ini dapat diimplementasikan dengan baik. Setelah dilakukan pengujian diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. Air tawar yang dihasilkan selama rentang waktu 10 jam dan dengan *setpoint* suhu 70°C adalah 1,076 liter dan didapatkan efisiensi hasil sebesar 30,74%
2. Daya yang diberikan matahari langsung sebesar 30,06 Watt dan Daya dari pemanas bantuan adalah 154 Watt. Sehingga total daya yang digunakan sistem adalah 184,06 Watt.
3. Efisiensi yang dihasilkan *solar cell* sebesar 10,21%. Dan *error* yang dihasilkan pada masing-masing rangkaian:
 - a. Pada rangkaian *cuk converter* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 8,68%.
 - b. Pada PWM *cuk converter* menghasilkan *error* rata-rata sebesar 3,41%.
 - c. Pada rangkaian sensor tegangan menghasilkan *error* rata-rata sebesar 1,83%.
 - d. Pada rangkaian sensor suhu PT100 setelah kalibrasi menghasilkan *error* rata-rata sebesar 0,42%.

6.2 Saran

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

1. Pemilihan dan pembuatan induktor sebaiknya menggunakan alat yang presisi dan diperlukan tes frekuensi agar dapat memperkecil persentase kesalahan.
2. Sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memanfaatkan tekanan untuk menambah efisiensi dari air tawar yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernasconi, G. 1995. *Teknologi Kimia Bagian 2*. Diterjemahkan oleh : Handoyo. L. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Cook, T.M. dan Cullen, D.J. 1986. *Industri Kimia, Operasi Aspek-aspek Keamanan dan Kesehatan*. P.T. Gramedia. Jakarta.
- Duffie, J.A dan William, A.B. 1980. *Solar Engineering of Thermal Process*. John Wiley and Sons. New York.
- Holman, J.P. 1984. *Perpindahan Kalor*. Terjemahan oleh Jasfi. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Jansen, T. J. 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Terjemahan oleh Arismunandar. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Kreider, J.F. 1980. *Principles of Solar Engineering*. Hemisphere Pub, Co, New York.
- Kreith, F. 1986. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Terjemahan oleh Prijono, A. Penerbit Erlangga: 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
- Linsley, R.K dan Franzini, B.J. 1995. *Teknik Sumber Daya Air*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Mohammed, Latifah, Norshafinash Saudin, dkk. 2012. *Cuk Converter as a LED Lamp Driver*. 2012 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), Kota Kinabalu Sabah, Malaysia.

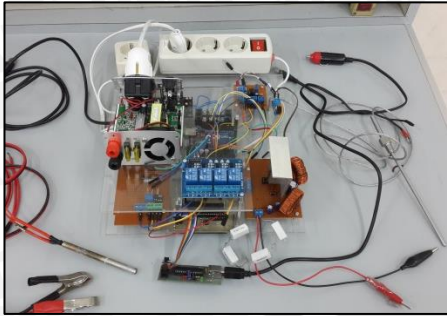
- Mohan, Ned, Tore M. Underland, William P. Robbins. 2003. *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Mukund, R. Patel. 2006. *Wind and Solar Power Systems : Design, Analysis, and Operation*. New York: Taylor & Francis Group
- Pitts, D, R, & L, E, Sissom. 1977. *Teori dan Soal-soal Perpindahan Kalor*. Terjemahan oleh Jasfi. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Said, Nusa Idaman. 2008. *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Sears, F. W dan Zemansky. 1962. *Mekanika, Panas dan Bunyi*. Terjemahan oleh Soerdjana dan Amir Achmad. Bandung: Binacipta.
- Sudjito dan P. Raharja. 2001. *Prospek Aplikasi Teknologi Distilasi Air Laut Tenaga Matahari*. Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik (*Engineering*) Universitas Brawijaya Vol.13-No.2
- Tanusekar, Hangga H. 2013. *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Alat Desalinasi Sistem Penyulingan Menggunakan Panas Matahari Dengan Pengaturan Tekanan Udara*. Skripsi Universitas Brawijaya.
- Wenham, Green, Watt, Corkish. 2007. *Applied Photovoltaics*. UK: TJ International Ltd.

LAMPIRAN

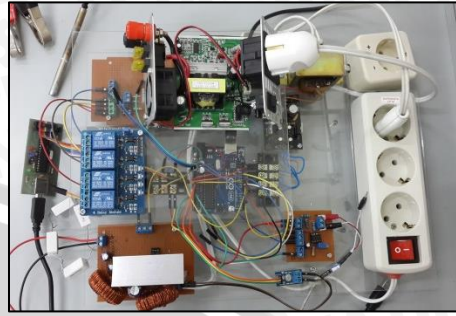


LAMPIRAN I
FOTO ALAT

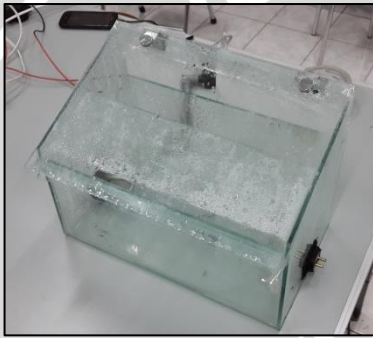




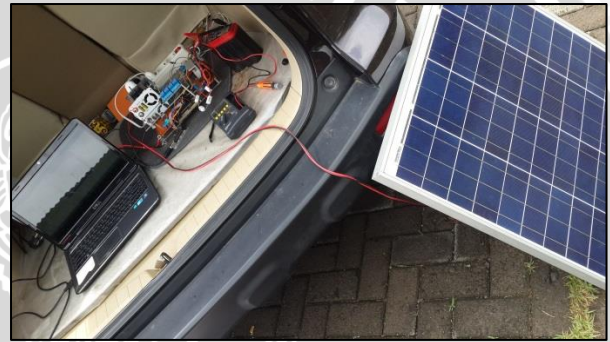
Keseluruhan alat tampak depan



Keseluruhan alat tampak atas



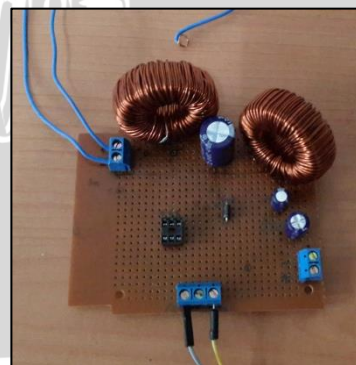
Rumah evaporator



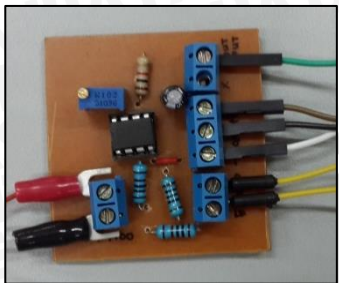
Solar Cell 50 Watt-peak dan Rangkaian sistem



Rumah evaporator, kondensor dan penampungan hasil



Rangkaian cuk converter



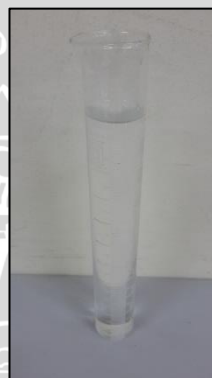
Rangkaian Pengondisi Sinyal



Rangkaian inverter



Rangkaian sensor tegangan



Sample hasil air tawar

LAMPIRAN I DATASHEET

