

**RANCANG BANGUN ALAT EKSTRAKSI BERBASIS
METODE MICROWAVE ASSISTED HYDRODISTILLATION
DENGAN PENAMBAHAN TEMPERATURE CONTROL**

SKRIPSI

Oleh :

**Febriyanti Ariska Amaliyah
NIM. 155100201111001**



**JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG
2019**

**RANCANG BANGUN ALAT EKSTRAKSI BERBASIS
METODE MICROWAVE ASSISTED HYDRODISTILLATION
DENGAN PENAMBAHAN TEMPERATURE CONTROL**

Oleh :

**Febriyanti Ariska Amaliyah
NIM. 15510020111001**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

Teknik



**JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2019

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul TA : Rancang Bangun Alat Ekstraksi berbasis metode *Microwave Assisted Hydrodistillation* dengan Penambahan *Temperature Control*

Nama : Febriyanti Ariska Amaliyah

NIM : 155100201111001

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Utama,

Pembimbing Kedua,




Dr. Ir. Bambang Dwi Argo,
DEA
NIP. 19610710 198601 1 001

Yusuf Wibisono, STP,
M.Sc, Ph.D
NIP. 19800107 200212 1 003

Tanggal Persetujuan:

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Judul TA : Rancang Bangun Alat Ekstraksi berbasis metode *Microwave Assisted Hydrodistillation* dengan Penambahan *Temperature Control*

Nama : Febriyanti Ariska Amaliyah

NIM : 155100201111001

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Dosen Penguji I:



Dr. Ir. Bambang Dwi Argo,

DEA

NIP. 19610710 198601 1 001

Dosen Penguji II



Yusuf Wibisono, STP, M.Sc,

Ph.D

NIP. 19800107 200212 1 003

Dosen Penguji III



La Choviya Hawa, STP., MP.,

Ph.D

NIP. 19780307200012 2 001

Ketua Jurusan



La Choviya Hawa, STP., MP.,

Ph.D

NIP. 19780307200012 2 001

Tanggal Lulus TA:

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lumajang pada tanggal 20 Februari 1997. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menyelesaikan jenjang Sekolah Dasar (SD) di SDN 1 Rojopolo pada tahun 2009, menyelesaikan jenjang sekolah menengah pertama (SMP) di SMPN 1 Jatiroto pada tahun 2012 serta menyelesaikan pendidikan sekolah menengah atas (SMA) di SMAN 2 Lumajang pada tahun 2015. Saat menempuh SMP penulis pernah menjadi finalis Olimpiade Sains Nasional (OSN) Kabupaten lumajang pada bidang biologi. Pada tahun 2015 penulis meneruskan pendidikannya pada program Strata-1 di Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya, penulis mengikuti berbagai kegiatan akademik dan kemahasiswaan seperti menjadi asisten praktikum, mengikuti Lomba Karya Tulis Ilmiah Tingkat Nasional (LKTIN) hingga eksebsi, lomba bisnis plan, organisasi mahasiswa, dan kepanitiaan-kepanitiaan. Penulis menjadi asisten praktikum pada mata kuliah Gambar Teknik dan mata kuliah Teknik Fisika Dasar. Penulis juga mendapatkan beberapa penghargaan dari ajang yang diikuti, antara lain: Pendanaan proposal wirausaha PMW (Program Mahasiswa Wirausaha) pada tahun 2017, Semifinalis National Paper Competition Prima Unram 2017 di Universitas Mataram, penghargaan *bronze medal* pada kegiatan *Young International Innovation Exhibition 2017* yang diadakan di UiTM Negeri Sembilan, Malaysia dan Juara 2 lomba nasional bisnis plan 2018 di Universitas Islam Bandung.

Penulis juga aktif dalam organisasi *Agritech Bussines Centre (ABC)* 2015-2019 sebagai Staff ahli pada bidang Riset dan development. Penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan mahasiswa sebagai staff divisi, koordinator divisi dan steering committee seperti di kegiatan NAFTEX (National Agritech Festival and Exhibition), Orientasi Pengenalan Jurusan (OPJ), TEP, Brawijaya Halal Food Fair, dan Inaugurasi TEP. Riwayat



pengalaman organisasi penulis adalah menjadi staff muda divisi IMMPPG FORKITA pada tahun 2015/2016, menjadi staff magang divisi Riset dan Development ABC (Agritech Bussines Centre) pada tahun 2015/2016 dan staff ahli divisi Riset dan Development ABC 2016/2017.



Untuk mu yang membaca tulisan ini,
ada banyak pertanyaan yang tak memiliki jawab,
ada banyak kejadian yang tidak bisa kita kendalikan,
ada banyak hal yang tidak kita tau,
terkadang tidak perlu bertanya, cukuplah meyakini.

Yakinilah peran yang akan kau ambil, kalau bisa, bermanfaatlah
sebanyak – banyaknya.

Hidup menarik karena kau sendirilah yang membuat pola.



Alhamdulillah, Ya Allah
Karya kecil ini saya persembahkan kepada
Bapak, Ibu, Kakak serta seluruh keluarga besar
Terima Kasih dan Semoga Bermanfaat





PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Febriyanti Ariska Amaliyah

N I M : 155100201111001

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Judul TA : Rancang Bangun Alat Ekstraksi berbasis

Metode Microwave Assisted

Hydrodistillation dengan Penambahan

Temperature Control

Menyatakan bahwa,

TA dengan judul di atas merupakan karya asli penulis tersebut di atas. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar saya bersedia dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Malang, 18 Juli 2019

Pembuat Pernyataan,

Febriyanti Ariska Amaliyah

NIM 155100201111001

FEBRIYANTI ARISKA AMALIYAH. 155100201111001.
Rancang Bangun Alat Ekstraksi Jahe berbasis Metode
***Microwave Assisted Hydrodistillation* dengan Penambahan**
***Temperature Control*. TA. Pembimbing: Dr. Ir. Bambang Dwi**
Argo, DEA. Yusuf Wibisono, M,Sc Ph.D

RINGKASAN

Penelitian tentang minyak atsiri, perasa sintetis dan oleoresin sebagai senyawa aromatik yang dominan telah banyak dilakukan. Menurut data dari Kemendag RI pada tahun 2014 dari 70 tanaman penghasil penghasil minyak atsiri yang ada di dunia, sekitar 40 jenis diantaranya dapat diproduksi di Indonesia. Akan tetapi terdapat fakta ironi dari dunia minyak atsiri di Indonesia yaitu rendahnya kualitas yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor salah satunya kurang maksimalnya proses hilir dalam mengolah potensi yang besar ini. Minyak atsiri yang dihasilkan beberapa tidak memenuhi standar internasional sehingga gagal bersaing di pasar dunia. Karakteristik mutu yang belum terpenuhi minyak atsiri asal Indonesia adalah putaran optik yang masih bernilai positif (+), sedangkan untuk memenuhi syarat internasional putaran optik harus bernilai negatif (-). Metode yang umum dilakukan untuk memisahkan minyak atsiri adalah destilasi secara konvensional yang diketahui tidak optimal dalam mengestrak bahan serta tingginya konsumsi energi yang dibutuhkan untuk memanaskan minyak sehingga kurang ekonomis. Namun, dalam rangka mengurangi waktu ekstraksi, meningkatkan hasil ekstraksi dan biaya produksi beberapa pendekatan baru dilakukan seperti MAE (*Microwave Assisted Extraction*), ekstraksi cairan superkritik dan UAE (*Ultrasound Assisted Extraction*). MAHD (*Microwave Assisted Hidrodestilation*) merupakan pengembangan dari metode yang sudah pernah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat ekstraksi, mengetahui kinerja komponen alat dan mengetahui efektifitas dari alat yang sudah dihasilkan. Pada hasil uji coba kalibrasi suhu yang sudah dilakukan, alat ini stabil mempertahankan



suhu dengan error suhu $\pm 1^{\circ}\text{C}$, dengan efektifitas 90,29% dan nilai rendemen sebesar 1,7095% lebih besar dari proses hidrodestilasi menggunakan pretreatment microwave yaitu 1,64%.

Kata Kunci : *Hydrodistillation, Microwave, Minyak atsiri*



FEBRIYANTI ARISKA AMALIYAH. 155100201111001.
Rancang Bangun Alat Ekstraksi Jahe berbasis Metode
***Microwave Assisted Hydrodistillation* dengan Penambahan**
***Temperature Control*. TA. Pembimbing: Dr. Ir. Bambang Dwi**
Argo, DEA. Yusuf Wibisono, M,Sc Ph.D

SUMMARY

Research on essential oils, synthetic flavorings and oleoresin as dominant aromatic compounds has been carried out. According to data from the Ministry of Trade of the Republic of Indonesia in 2014 40 of 70 essential oil-producing plants in the world can be produced in Indonesia. However, there are irony facts from the field of essential oils in Indonesia, namely the low quality produced. This is caused by many factors, one of them is the lack of downstream processes. Some of the essential oils produced do not meet international standards. Essential oils optical rotation from Indonesia are positive (+), while the requirements must be negative (-). A common method to produce essential oils is conventional distillation which is not efficient and need high consumption of energy . However, in order to reduce extraction time, increase extraction yields and production costs, several new approaches have been taken such as MAE (Microwave Assisted Extraction), supercritical fluid extraction and UAE (Ultrasound Assisted Extraction). MAHD (Microwave Assisted Hydro-distillation) is a development of a method that has already been done. This study aims to design extraction tools, find out the performance of tool components and determine the effectiveness of the tools that have been produced. On the results of the temperature calibration trials that have been carried out, this tool is stable to maintain temperature with an error temperature of ± 1 °C, with an effectiveness of 90.29% and a yield value of 1.7095% greater than the hydro-distillation process using microwave pretreatment which is 1.64%.



Keyword : Essensial Oils, Microwave, Hydrodistillation



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT. yang senantiasa melimpahkan Rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul: “Rancang Bangun Alat Ekstraksi berbasis metode *Microwave Assisted Hydrodistillation* dengan Penambahan *Temperature Control*”. Pada penulisan laporan tugas akhir ini, penulis mendapat masukan dan dukungan dari berbagai pihak yang bermanfaat dan sangat membantu dalam penyelesaiannya. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT. karena atas kehendak-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir skripsi dengan baik
2. Ibu Siti aisah dan Bapak Suparno sebagai orang tua yang selalu memberikan doa-doa terbaik, kasih sayang, nasehat, dan dukungan dalam bentuk moril atau materil.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Dwi Argo DEA selaku dosen pembimbing skripsi pertama dan juga selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberi arahan, bimbingan, motivasi, wawasan dan saran selama mengerjakan tugas akhir ini.
4. Bapak Yusuf Wibisono, STP, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing skripsi dua yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan, motivasi, wawasan dan saran selama mengerjakan tugas akhir ini.
5. Ibu La Choviya Hawa, STP.,MP.,Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan, kritik dan saran kepada penulis.
6. Ibu La Choviya Hawa, STP.,MP.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Keteknikan Pertanian dan Ibu Dr. Eng. Evi Kurniati, MT selaku Sekretaris Jurusan Keteknikan Pertanian Universitas Brawijaya.
7. Teman-teman teknik bioproses 2015 dan umumnya warga TEP 2015 atas bantuan dan dukungan selama penulisan tugas akhir.
8. Serta seluruh pihak yang terlibat dalam pembuatan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dalam



penyusunannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga bisa bermanfaat bagi penulis di kemudian hari.

Malang, 14 Juli 2019



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
COVER	I
LEMBAR PERSETUJUAN	III
LEMBAR PENGESAHAN	IV
RIWAYAT HIDUP	V
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	VIII
RINGKASAN	IX
SUMMARY	XI
KATA PENGANTAR	XIII
DAFTAR ISI	XV
DAFTAR GAMBAR	XVII
DAFTAR TABEL	XVIII
DAFTAR LAMPIRAN	XIX
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Minyak Atsiri.....	4
2.2 Ekstraksi dan Hidrodestilasi.....	4
2.3 Gelombang Mikro (<i>Microwave</i>).....	5
2.4 Sensor <i>Thermocouple</i>	6
2.5 <i>Relay</i>	7
2.6 Kontroler <i>On-Off</i>	7
2.7 Penelitian Terdahulu Tentang Proses hidrodestilasi.....	8
III. METODE PENELITIAN	10
3.1 Tempat dan Waktu.....	10
3.2 Alat dan Bahan.....	10
3.2.1 Alat.....	10
3.2.2 Bahan.....	11
3.3 Metode Perancangan.....	11
3.3.1 Rancangan Struktural.....	12
3.3.2 Rancangan Fungsional.....	14
3.4 Pengujian Alat.....	17



3.4.1 Pengujian Kinerja Komponen Termokontrol	17
3.4.2 Pengujian Efisiensi Alat	17
3.5 Prosedur dan cara kerja alat	17
3.5.1 Tahapan Pembuatan dan Proses Destilasi	17
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Hasil Rancang Bangun Microwave Assisted Hydrodistillation (MAHD)	22
4.1.1 Hasil Rancangan Struktural MAHD	22
4.1.2 Hasil Rancangan Fungsional MAHD	25
4.3 Hasil Pengujian Sistem	27
4.3.1 Pengujian Otomatisasi Relay	27
4.3.2 Hasil Pengujian Sistem Kontrol <i>On/off</i>	29
4.4 Uji Efisiensi Mesin	32
4.5 Perbandingan Metode MAHD dengan Metode Konvensional	34
V. PENUTUP	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Gambar 2.1 Gambar dan Simbol <i>Relay</i>	7
2.	Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian	12
3.	Gambar 3.2 Rancangan Struktural MAHD	13
4.	Gambar 3.3 <i>Microwave Oven</i>	15
5.	Gambar 3.4 Unit Hidrodestilasi	15
6.	Gambar 3.5 Thermocouple tipe K	16
7.	Gambar 3.6 <i>Temperature Controller</i>	16
8.	Gambar 3.7 <i>Relay</i>	17
9.	Gambar 3.8 Proses Perancangan Alat	19
10.	Gambar 3.9 Proses Penggunaan Alat MAHD	20
11.	Gambar 3.10 Skema Kontrol On OFF	21
12.	Gambar 4.1 MAHD dengan Mikrokontroler	22
13.	Gambar 4.2 Boks Kontrol Suhu	23
14.	Gambar 4.3 Termostat	24
15.	Gambar 4.4 Ruang Pemanas <i>Microwave</i>	25
16.	Gambar 4.5 Konektor	26
17.	Gambar 4.6 Rangkaian sistem Kontrol	26
18.	Gambar 4.7 Skema Pengontrolan Suhu	27
19.	Gambar 4.8 Histeresis keluaran alarm	28
20.	Gambar 4.9 Blok Diagram Suhu Terhadap <i>Control Output</i>	28
21.	Gambar 4.10 Grafik Perubahan Suhu terhadap Waktu pada Suhu 50°C, 60°C, 70°C, dan 80°C	30
22.	Gambar 4.11 (a) dan (b) Grafik kebutuhan waktu mencapai <i>setting point</i>	32
23.	Gambar 4.12 Perbandingan Rendemen Metode MAHD dan Konvensional	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu.....	8
2.	Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Microwave Oven</i>	14
3.	Tabel 4.1 Hasil Pengujian Relay	29
4.	Tabel 4.2 Data kebutuhan waktu mencapai suhu <i>setting point</i>	31
5.	Tabel 4.3 Uji Efisiensi Daya	33



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Lampiran. 1 Desain gambar teknik MAHD.....	39
2.	Lampiran. 2 Dokumentasi	42
3.	Lampiran. 3 Data Suhu Pengamatan	43
4.	Lampiran. 4 Perhitungan Efisiensi	47



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak Atsiri adalah ekstrak alami dari jenis tumbuhan tertentu, baik berasal dari daun, bunga, kayu, biji-bijian bahkan putik bunga. Penelitian tentang minyak atsiri, perasa sintetis dan oleoresin sebagai senyawa aromatik yang dominan telah banyak dilakukan. Menurut data dari Kemendag RI pada tahun 2014 dari 70 tanaman penghasil penghasil minyak atsiri yang ada di dunia, sekitar 40 jenis diantaranya dapat diproduksi di Indonesia karena tanaman penghasilnya dapat dibudidayakan dengan pertumbuhan yang cukup baik. Nilai ekspor minyak atsiri merupakan salah satu sumber devisa utama bagi Indonesia. Dalam daftar 10 komoditas potensial dari Kementerian Perdagangan, nilai ekspor minyak atsiri dan kosmetik wewangian berada di sekitar USD 580 juta hingga USD 637 juta selama periode 2011 hingga 2015. Jenis-jenis minyak atsiri yang diekspor antara lain minyak kayu manis, minyak akar wangi, minyak cendana, minyak kemukus, minyak nilam, minyak kenanga, minyak pala, minyak cengkeh, minyak kayu putih. Sekitar 20 diantaranya merupakan minyak potensial yang telah berkembang di pasar serta bernilai ekonomi tinggi.

Akan tetapi terdapat fakta ironi dari dunia minyak atsiri di Indonesia. Indonesia tidak dapat menentukan harga jual yang layak untuk produk yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh begitu banyak faktor salah satunya kurang maksimalnya proses hilir dalam mengolah potensi yang besar ini. Minyak atsiri yang dihasilkan beberapa tidak memenuhi standar internasional sehingga gagal bersaing di pasar dunia. Karakteristik mutu yang belum terpenuhi minyak atsiri asal Indonesia adalah putaran optik yang masih bernilai positif (+), sedangkan untuk memenuhi syarat internasional putaran optik harus bernilai negatif (-). Metode yang umum dilakukan untuk memisahkan minyak atsiri adalah destilasi secara konvensional yang diketahui dapat mengurangi kualitas minyak jahe dikarenakan senyawa penting dalam minyak tidak terekstrak secara optimal serta tingginya konsumsi energi yang dibutuhkan untuk memanaskan minyak sehingga kurang ekonomis. Namun, dalam rangka mengurangi waktu ekstraksi, meningkatkan hasil ekstraksi dan biaya

produksti beberapa pendekatan baru dilakukan seperti MAE (*Microwave Assisted Extraction*), ekstraksi cairan superkritis dan UAE (*Ultrasound Assisted Extraction*). Seperti yang sudah dilaporkan, penelitian oleh (Purwanto,2010) yang menyebutkan bahwa kualitas minyak atsiri dari metode MAE memiliki kadar zingeberin yang lebih tinggi sehingga kualitasnya lebih baik dibandingkan proses destilasi konvensional, dimana kondisi optimal dengan daya 100 W dan rasio pelarut 8:1. Dalam upaya untuk mengambil keunggulan dari metode MAE menggunakan destilasi konvensional atau hidrodestilasi, MAHD (*Microwave Assisted Hidrodestilation*) merupakan pengembangan yang memiliki kelebihan yaitu suhu yang digunakan pada proses dapat dikontrol sehingga mengurangi resiko kerusakan pada bahan dan meningkatkan efektifitas dalam pemecahan sel menggunakan gelombang mikro pada proses ekstraksi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang alat esktraksi minyak atsiri jahe berbasis teknologi *microwave* dengan penambahan temperatur kontrol ?
2. Bagaimana stabilitas suhu pada proses MAHD setelah penambahan temperatur kontrol?
3. Bagaimana menghitung efisiensi dengan mengitung energi yang dikeluarkan dan energi masuk pada alat?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Untuk merancang alat ekstraksi berbasis teknologi MAHD dengan penambahan termperatur kontrol.
- b. Untuk mengetahui stabilitas suhu pada proses MAHD setelah penambahan temperatur kontrol.
- c. Untuk menghitung efisiensi alat mengitung energi yang dikeluarkan dan energi masuk pada alat.

1.4 Manfaat

Sehubungan dengan penelitian yang dilakukan, diharapkan penelitian ini dapat memberi manfaat sebagai berikut:

- a. Untuk Penulis



- Memperluas wawasan dan pandangan penulis dengan teknologi berbasis *microwave* dalam berbagai bidang terutama ekstraksi minyak atsiri jahe.

- Untuk mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi dengan membuat laporan penelitian secara ilmiah dan sistematis.

b. Untuk Masyarakat

- Memberikan wawasan mengenai teknologi yang dapat meningkatkan mutu minyak atsiri jahe. Serta membantu meningkatkan nilai jual tanaman penghasil minyak atsiri.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium
2. Variabel yang diteliti hanya suhu dan daya destilasi dengan menggunakan teknologi gelombang mikro
3. Tidak menjelaskan analisis ekonomi.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Atsiri

Minyak atsiri adalah minyak yang mudah menguap yang terdiri atas campuran zat yang mudah menguap dengan komposisi dan titik didih yang berbeda. *Zingiberinee* merupakan senyawa sesqui-terpen khas minyak atsiri *Zingiberaceae* khususnya jahe yang memberikan aroma minyak jahe. Senyawa khas minyak atsiri jahe lainnya adalah *zingiberol*, *geraniol*, dan *felandren*. Kadar minyak atsiri tumbuhan dipengaruhi oleh tingkat kematangan atau umur panen, bagian organ yang disuling, musim pemanenan, tanah dan iklim, varietas atau spesies yang ditanam serta faktor lingkungan lainnya (Supardan *et.al*, 2009). Sebagian besar minyak atsiri diperoleh dengan cara penyulingan atau hidrodestilasi. Minyak atsiri yang disuling dari jahe berwarna bening sampai kuning tua bila bahan yang digunakan cukup kering. Lama penyulingan dapat berlangsung sekitar 10-15 jam agar minyak dapat tersuling semua. Kadar minyak jahe berkisar antara 1.5-3%. Dewasa ini minyak atsiri banyak digunakan dalam berbagai industri seperti industri parfum, komestik, essence, farmasi dan flavouring agent. Biasanya minyak atsiri yang berasal dari rempah digunakan sebagai flavouring agent makanan dan penyembuhan penyakit dengan *aromatherapi* (Kurniasari *et.al*, 2008).

2.2 Ekstraksi dan Hidrodestilasi

Ekstraksi adalah pemisahan suatu zat dari campurannya dengan pembagian sebuah zat terlarut antara dua pelarut yang tidak dapat tercampur untuk mengambil zat terlarut tersebut dari satu pelarut ke pelarut lain. Proses ekstraksi memiliki dua perbedaan kelarutan bahan (Prasetyo *et.al*, 2015). Sedangkan hidrodestilasi adalah metode destilasi dengan air yang dapat menghasilkan minyak atsiri yang lebih banyak karena rimpang yang akan didestilasi kontak langsung dengan air mendidih (Barki *et.al*, 2017). Tetapi hidrodestilasi memiliki kelemahan antara lain adalah kemungkinan hilangnya komponen-komponen minyak atsiri karena larut dalam air. Penggunaan temperatur yang tinggi pada proses hidrodestilasi akan



menyebabkan komponen-komponen yang sensitif terhadap panas akan mudah rusak sehingga kualitas minyak atsiri yang dihasilkan menjadi rendah. Selain itu, hidrodestilasi membutuhkan energi yang cukup besar. Namun, mengingat proses dan peralatan yang digunakan cukup sederhana, hidrodestilasi masih menjadi pilihan untuk mendapatkan minyak atsiri dari berbagai tumbuhan penghasil minyak atsiri (Supardan *et.al*, 2009). Oleh karena itu penelitian ini mengembangkan pembuatan minyak atsiri menggunakan MAHD (*Microwave Assisted Hidrodestillation*).

2.3 Gelombang Mikro (*Microwave*)

Microwave bekerja dengan memanfaatkan gelombang mikro yang dilewatkan pada molekul air, lemak, dan gula yang biasa terdapat dalam bahan, molekul ini akan menyerap gelombang elektromagnetik. Proses penyerapan energi yang terjadi disebut dengan pemanasan dielektrik (*dielectric heating*). Molekul yang terdapat dalam bahan makanan bersifat elektik dipol yaitu terdapat muatan negatif dan positif pada sisi berbeda yang akibatnya jika medan elektrik diinduksikan melalui gelombang mikro pada masing-masing sisi akan berputar untuk saling mensejajarkan. Pergerakan tersebut akan menimbulkan panas seiring dengan timbulnya gesekan antara molekul lainnya, sehingga panas yang dihasilkan pada proses tersebut berfungsi sebagai agen pemanasan bahan dalam *microwave* (Kurniasari dkk, 2008).

Menurut Uquiche dkk. (2008) sifat dielektrik dari gelombang mikro yang dipancarkan *microwave* mampu menggoyang air dan zat-zat lain pada vakuola dan organel lain dalam jaringan sehingga sel mengalami kerusakan karena adanya penekanan dan kandungan didalamnya terdorong kepermukaan dinding sel. Gelombang mikro yang digunakan *microwave* mampu memecah membran sel dan akan membentuk pori yang permanen sehingga akan meningkatkan hasil ekstraksi. Keunggulan yang dimiliki oleh *microwave* ialah mampu mempersingkat waktu proses dan menurunkan penggunaan energi, hal ini dikarenakan adanya interaksi molekul dengan gelombang elektromagnetik tersebut menghasilkan panas yang cepat dan seragam pada bahan yang keras sekalipun.



2.4 Sensor *Thermocouple*

Energi panas dan “*Couple*” yang berarti pertemuan dari dua buah benda.

Thermocouple adalah transduser aktif suhu yang tersusun dari dua buah logam berbeda dengan titik pembacaan pada pertemuan kedua logam dan titik yang lain sebagai outputnya.

Thermocouple merupakan salah satu sensor yang paling umum digunakan untuk mengukur suhu karena relatif murah namun akurat yang dapat beroperasi pada suhu panas maupun dingin (Permadi *et al*, 2009).

Menurut Permadi *et al*, 2009, termokopel merupakan sambungan (*junction*) dua jenis logam atau campuran yang salah satu sambungan logam tadi diberi perlakuan suhu yang berbeda dengan sambungan lainnya. Sambungan logam pada termokopel terdiri dari dua sambungan, yaitu :

- *Reference junction* (*cold junction*), merupakan sambungan acuan yang suhunya dijaga konstan dan biasanya diberi suhu yang dingin.
- *Measuring junction* (*hot junction*), merupakan sambungan yang dipakai untuk mengukur suhu.

Tipe-Tipe Termokopel

Tersedia beberapa jenis termokopel, tergantung aplikasi penggunaannya

- Tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy))
Termokopel untuk tujuan umum. Lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Tipe E (Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy))
Tipe E memiliki output yang besar ($68\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.
- Tipe J (Iron / Constantan)
Rentangnya terbatas (-40 hingga $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$) membuatnya kurang populer dibanding tipe K Tipe J memiliki sensitivitas sekitar $\sim 52\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy))

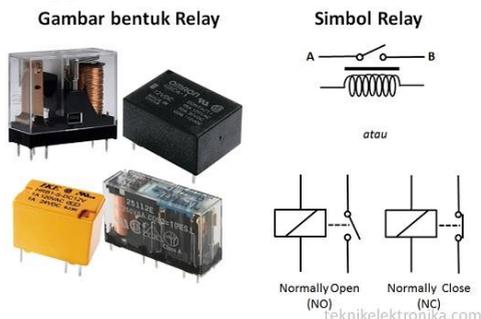
Stabil dan tahanan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sensitifitasnya sekitar 39



$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ pada 900°C , sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K (Setiawan *et al*, 2011).

2.5 Relay

Relay adalah Saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *electromechanical* (elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni elektromagnet (*Coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak Saklar/*Switch*). *Relay* menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi (Saleh, 2017).



Gambar 2.1 Gambar dan Simbol *Relay*

2.6 Kontroler On-Off

Pada kontrol *On-Off*, elemen penggerak hanya mempunyai dua posisi yang tetap. Kontrol *On-Off* relatif sederhana dan murah oleh karena itu banyak digunakan di industri. Sinyal kontrol ini akan tetap mempertahankan suatu keadaan dan akan berubah kekeadaan yang lainnya tergantung pada nilai *error* yang dihasilkan. Misal sinyal keluaran kontroler adalah $m(t)$ dan sinyal *error* penggerak adalah $e(t)$. Pada kontrol *On-Off*, sinyal $m(t)$ akan tetap pada harga maksimum atau minimum, bergantung pada sinyal *error* penggerak, positif atau negatif, sedemikian rupa hingga:

$$m(t) = M1, e(t) > 0$$

$$= M2, e(t) < 0$$

Dimana $M1$ dan $M2$ adalah konstanta. Daerah nilai kesalahan penggerak antara posisi *on* dan *off* disebut dengan celah

diferensial. Celah diferensial ini menyebabkan keluaran kontroler $m(t)$ tetap pada kondisinya sampai sinyal error penggerak bergeser sedikit dari harga nol (K. Ogata, 1997).

2.7 Penelitian Terdahulu Tentang Proses hidrodestilasi

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Dari penelitian terdahulu, penulis tidak menemukan penelitian dengan judul yang sama seperti judul penelitian penulis. Namun penulis mengangkat beberapa penelitian sebagai referensi dalam memperkaya bahan kajian pada penelitian penulis. Berikut merupakan hasil penelitian terdahulu terkait dengan penelitian yang dilakukan penulis yang tertera pada **Tabel.2.1**

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Judul	Hasil
2	Mahfud Mahfud	2017/ Departme nt of Chemical Engineeri ng, Faculty of Industrial Engineeri ng, Institut Teknologi Sepuluh Nopembe r	<i>Microwave-</i> <i>assisted</i> <i>Hydrodistillati</i> <i>on for</i> <i>Extraction of</i> <i>Essential Oil</i> <i>from Patchouli</i> <i>(Pogostemon</i> <i>cablin)</i> <i>Leaves</i>	Hidrodistilasi berbantuan <i>microwave</i> (MAHD) menggunakan daun nilam menawarkan keuntungan daripada hydrodistillation konvensional (HD): waktu proses lebih pendek (126 menit vs 417 menit untuk HD); hasil yang lebih baik (dengan MAHD kuantitas EO yang diperoleh lebih tinggi dengan 4,0389% dari pada metode HD).
2	Mohamad Taghi Golmakani, Karamatollah	2007/ <i>Internatio</i> <i>nal</i> <i>Journal of</i> <i>Chemical</i> <i>Engineeri</i> <i>ng and</i>	<i>Comparison</i> <i>of microwave-</i> <i>assisted</i> <i>hydrodistillatio</i> <i>n with</i> <i>the traditional</i> <i>hydrodistillatio</i>	Pada pencitraan menggunakan SEM gelombang mikro menyebabkan kerusakan yang cepat terhadap dinding sel sehingga didapatkan



	<p>Rezaei Universitas Brawijaya</p>	<p><i>Applicatio ns</i> Universitas Brawijaya</p>	<p>n method in the extraction of essential oils from Thymus vulgaris L Universitas Brawijaya</p>	<p>efisiensi ekstraksi yang lebih tinggi pada waktu yang lebih singkat. Konsumsi energi yang secara signifikan lebih rendah dengan MAHD (38%) menjadikan teknologi ini lebih ramah lingkungan daripada HD. Universitas Brawijaya</p>
<p>3 Universitas Brawijaya</p>	<p>Ranitha M., dkk Universitas Brawijaya</p>	<p>2014/ <i>Internatio nal Journal of Chemical Engineeri ng and Applicatio ns</i> Universitas Brawijaya</p>	<p>Comparative Study of Lemongrass (<i>Cymbopogon Citratus</i>) Essential Oil Extracted by Microwave-Assisted Hydrodistillati on (MAHD) and Conventional Hydrodistillati on (HD) Universitas Brawijaya</p>	<p>Penggunaa metodeMAHD menawarkan keunggulan HD konvensional. MAHD membutuhkan waktu ekstraksi yang lebih pendek (masing-masing 90 menit vs 180 menit). Ekstraksi minyak esensial dari Serai (<i>Cymbopogon Citratus</i>) oleh MAHD dioptimalkan kondisinya dengan memberikan manfaat tambahan dari iradiasi microwave dalam isolasi minyak esensial. Universitas Brawijaya</p>



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Dasar, dan Laboratorium Mekatronika Jurusan Keteknikan Pertanian Universitas Brawijaya (UB). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari s.d Mei 2019.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

No.	Material	Spesifikasi	Fungsi
1.	Microwave oven	Electrolux, EMM2308X	Sebagai alat pemanas
2.	Unit Termocouple	Tipe K, chromium alumel	Sebagai sensor pembaca suhu pemanasan
3.	Boiling flask	Pyrex, ukuran 1000 ml	Sebagai tempat bahan saat dipanaskan
4.	Kondensor	Duran, tipe graham	Untuk mendinginkan uap menjadi minyak
5.	Selang	Ukuran $\frac{3}{4}$ dim, bening	sebagai tempat mengalirnya air sirkulasi pada kondenssor
6.	Erlenmeyer	Merk pyrex 250 ml, sambungan asa	untuk wadah minyak atisiri dari kondenssor
7.	Software Solid Work	Versi 2015	untuk menggambar rancangan alat
8.	Themperatur Controller	Omron, E5CC-RX2ASM-800	sebagai termostat untuk sistem kontrol suhu
9.	Water pump	Merk amara SP 1200 A	untuk memompa air pada kondenssor
10.	PTFE	Onda, thread seal tape	sebagai pelapisan pada bagian microwave yang berlubang
11.	Erlenmeyer	Pyrex, ukuran 250 ml	untuk wadah minyak atisiri dari kondenssor



- | | | | |
|-----|--------------|-------------------------|---|
| 12. | Beaker Glass | Pyrex, ukuran 100 ml | sebagai wadah bahan |
| 13. | Relay | Omron, MK2P 220V 8 kaki | Mengatur mekanisme kontrol pada magnetron |

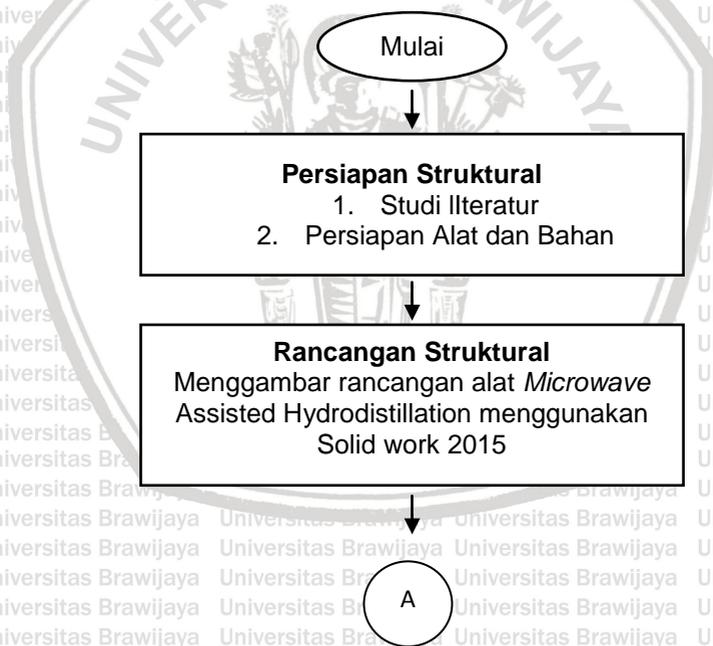
3.2.2 Bahan

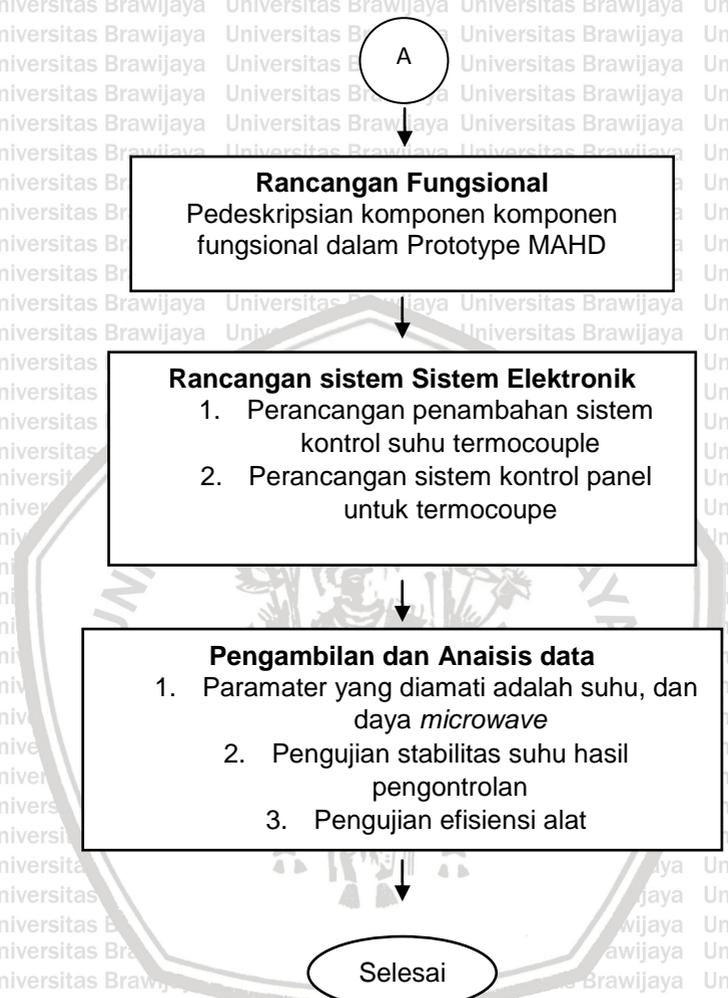
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

No.	Material	Fungsi
1.	Aquades	sebagai pelarut

3.3 Metode Perancangan

Penelitian yang penulis lakukan untuk mendapatkan data hasil dalam skripsi ini dilakukan sesuai pada **Gambar 3.1** merupakan diagram alir dari proses penelitian.





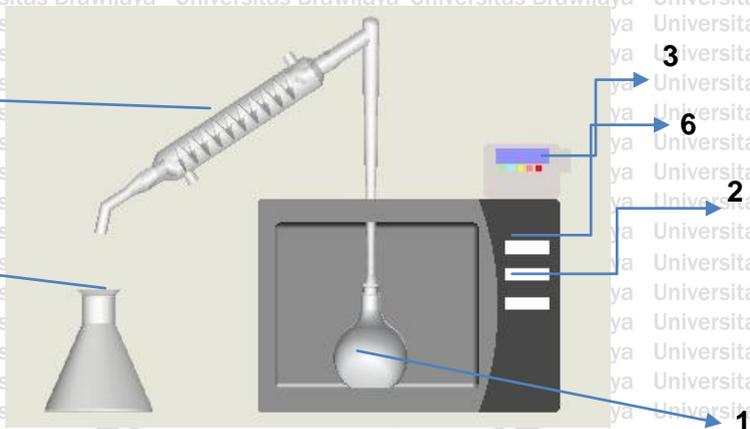
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

3.4 Perancangan Alat

3.3.1 Rancangan Struktural

Rancangan struktural yang dibuat menggunakan *software* Solid Work 2015 dapat dilihat pada **gambar 3.2**





Gambar 3.2 Rancangan Struktural MAHD

Bagian-bagian rancang struktural dari pengering jahe adalah sebagai berikut :

1. *Boiling flask* 1000 ml
2. *Microwave oven*
3. Control Panel *Termocouple*
4. Kondensor
5. Erlenmeyer
6. Tombol *setting*

Microwave oven yang digunakan memiliki dimensi 54.7 x 32.8 x 38.8 cm. Ruang pemanasan pada oven berdimensi panjang 26 cm, lebar 18 cm dan tinggi 13 cm. Secara lengkap dapat dilihat pada **lampiran 1**. Kerangka utama *microwave* terbuat dari plat besi yang dindingnya dilapisi bahan penahan panas. Panas yang dihasilkan adalah berasal gelombang mikro yang dipancarkan sehingga larutan dalam *boiling flask* menguap dan menghasilkan minyak atsiri. Rancang alat ini adalah modifikasi dari *microwave* dengan melubangi bagian atas sehingga silinder kaca bisa melewati dan selanjutnya uap air akan didinginkan oleh kondensor dan diperoleh hasil akhir minyak atsiri. Rangkaian pada alat terdapat beberapa komponen utama seperti *microwave oven*, *boiling flask*, unit kontrol suhu *termocouple*, erlenmeyer, kondensor dan tombol *setting microwave*. Kontrol suhu yang digunakan adalah unit

kontrol suhu *termocouple* yang berfungsi untuk memutuskan aliran panas yang pada hal ini ada sumber pemancar gelombang micro apabila suhu dalam *boiling flask* mencapai batas atas suhu yang ditentukan yaitu 50, 60, 70 dan 80°C. Apabila suhu turun menuju batas minimum maka *relay* akan menyambungkan kembali hubungan. Spesifikasi untuk *microwave* yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1 Spesifikasi *Microwave Oven*

Spesifikasi	Keterangan
Merk	Electrolux
Model	EMM2318X
Voltase	AC-220V/ 50HZ
Daya	800 Watt
Kapasitas	23 L
Berat Kotor	13 Kg

3.3.2 Rancangan Fungsional

Pada rancangan fungsional pembuatan alat destilasi dibuat dari modifikasi *microwave* dapur biasa dengan spesifikasi yang sudah di jelaskan, dengan penambahan kontroler pada pengaturan suhu. Pada bagian dalam *microwave* terdapat beberapa bagian yaitu, pintu kaca tempat mengeluarkan dan memasukkan bahan, tatakan kaca sebagai tempat bahan dan tombol pengaturan untuk pengaturan operasi alat. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada **Gambar 3.3**



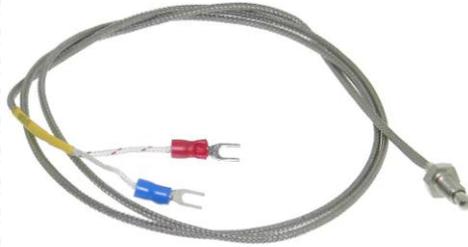
Gambar 3.3 Microwave Oven

Selanjutnya, di dalam bagian dalam *microwave* dimodifikasi untuk menempatkan *boiling flask* yang terhubung dengan kondensor yang berada diluar bagian *microwave*. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada **Gambar 3.4**



Gambar 3.4 Unit Hidrodestilasi

Pada bagian *boiling flask* terdapat *probe termocouple* tipe K yang akan mendeteksi suhu dimana ketika lebih rendah atau lebih tinggi akan memutuskan pemancar gelombang mikro pada *microwave* sehingga suhu akan stabil. Pemilihan sensor ini didasarkan pada lebarnya rentang suhu yang dapat diukur serta ketelitian yang presisi dari suhu yang dihasilkan. Untuk lebih jelasnya bentuk dari *thermocouple* tipe K dapat dilihat pada **Gambar 3.5**



Gambar 3.5 Thermocouple tipe K

Pada bagian *temperature controller* terdapat LCD yang berfungsi sebagai *display* dari pembacaan dan monitoring suhu pada proses pemanasan berlangsung. *Temperature controller* disini berfungsi sebagai pusat pengaturan suhu yang memberikan sinyal untuk memutuskan aliran listrik dari pemancar gelombang mikro sehingga suhu akan tetap stabil sesuai setting point. *Temperature Controller* yang digunakan adalah merk *Omron* dengan tipe **E5CC-RX2ASM-800**. Untuk lebih jelasnya *temperature controller* dapat di lihat pada **Gambar 3.6**



Gambar 3.6 Temperature Controller

Sebagai penghubung antara sistem kontrol dan aktuatur untuk memutus dan menyambungkan arus listrik adalah *relay*.

Jenis dan spesifikasi *relay* yang digunakan pada perancangan alat ini adalah merk omron MK2P 220V 8 kaki. Untuk lebih jelasnya *relay* dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Relay

3.4 Pengujian Alat

3.4.1 Pengujian Kinerja Komponen Termokontrol

Pengujian komponen termokontroler digunakan untuk memastikan bahwa sistem kontrol suhu dapat mempertahankan suhu pada seting poin, pengujian ini dilakukan dengan memantau kenaikan dan penurunan suhu selama proses destilasi berlangsung. Seting poin yang digunakan sebagai uji adalah suhu 50 60 dan 70 kemudian suhu akan di pantau setiap 1 menit dan divisualisasikan kedalam grafik hubungan antara suhu dan waktu.

3.4.2 Pengujian Efisiensi Alat

Pengujian efisiensi alat digunakan untuk mengetahui seberapa efisien kinerja dari alat MAHD dalam memanfaatkan energi input yang digunakan untuk menjalankan rangkaian elektronik yang sudah ditambahkan. Energi input berasal dari terminal *switch* dengan kapasitas 220 volt. Pengukuran efisiensi dapat dilakukan dengan metode *input output*.

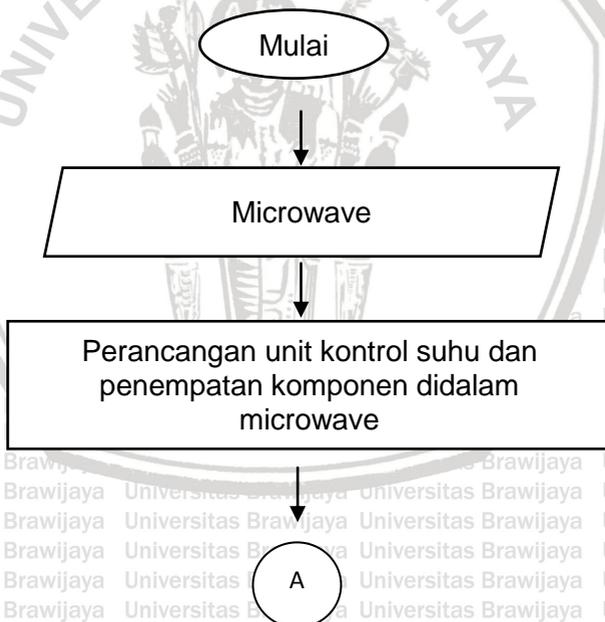
3.5 Prosedur dan cara kerja alat

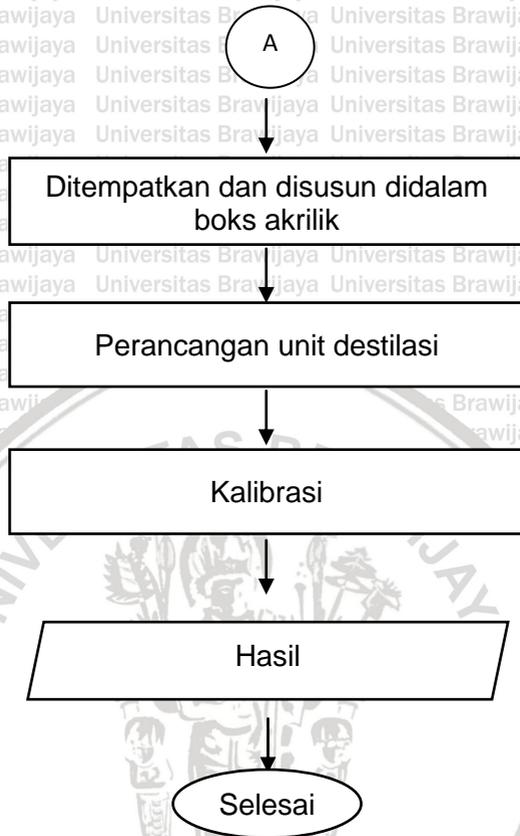
3.5.1 Tahapan Pembuatan dan Proses Destilasi

a. Proses pembuatan alat

Material utama yang digunakan pada proses pembuatan alat adalah *microwave*. Sedangkan komponen lainnya adalah boks kontrol, unit destilasi dan sensor, langkah pertama yang harus

dilakukan adalah dengan membuat lubang pada bagian atas *microwave* sebagai tempat menghubungkan boiling flask didalam *microwave* dan kondensor diluar *microwave*. Kemudian menginstal unit pengatur suhu, memasang komponen seperti relay, kabel jumper dan dihubungkan dengan termostat dan sensor suhu. Unit pengatur suhu dihubungkan dengan komponen dan dirangkai dalam satu tempat di samping *microwave* menggunakan kotak yang terbuat dari material akrilik dengan warna gelap, perancangan boks akrilik juga dilengkapi engsel yang dapat dibuka dan ditutup sehingga memudahkan proses *maintenance*. Langkah selanjutnya adalah melakukan kalibrasi atau pengecekan terhadap komponen yang sudah diinstal, kemudian selesai. Untuk lebih jelasnya proses preparasi sampel akan dijelaskan melalui **gambar 3.8** seperti berikut :





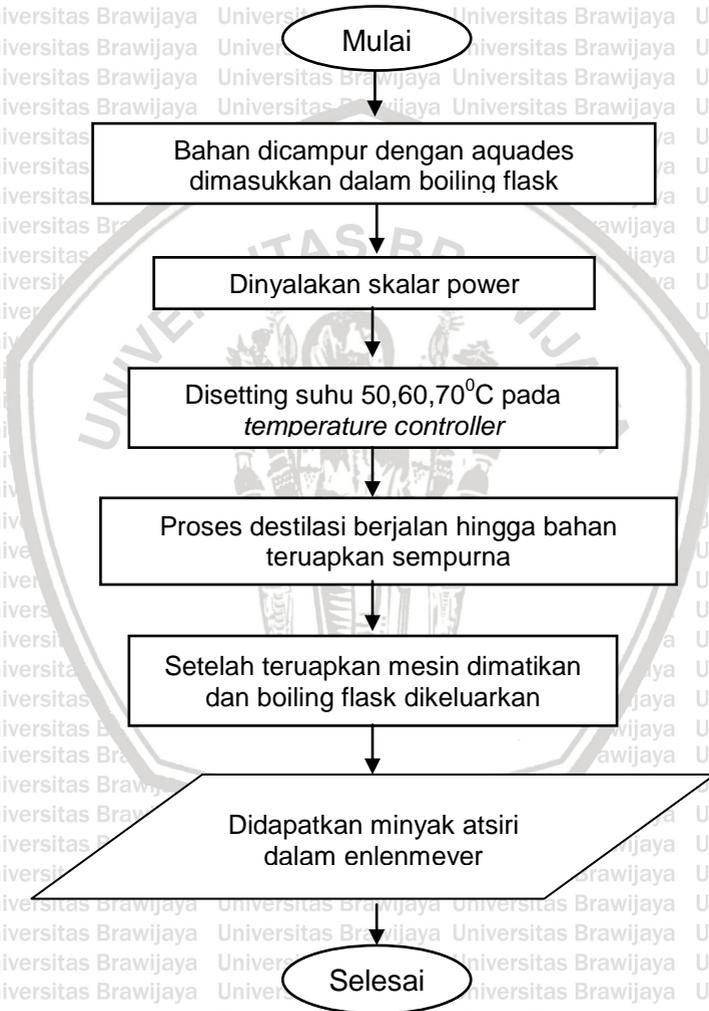
Gambar 3.8 Proses Perancangan Alat

b. Proses Destilasi

Pada proses penyulingan terdapat beberapa tahap yaitu proses persiapan bahan kemudian bubuk hasil pengeringan akan dilarutkan dengan air perbandingan rasio yang sudah ditentukan yang kemudian ditempatkan pada *boiling flask*. Kemudian alat hidroddestilasi dirangkai dan dipastikan bahwa sudah terpasang dengan benar. Langkah selanjutnya saklar dihubungkan dengan sumber daya listrik, kemudian diatur suhu *set point* pada boks kontrol dan daya pada tombol setting pada *microwave* (dalam penelitian ini digunakan daya 600 watt) mangacu pada penelitian sebelumnya. Selanjutnya setelah proses destilasi berlangsung hingga semua bahan sudah



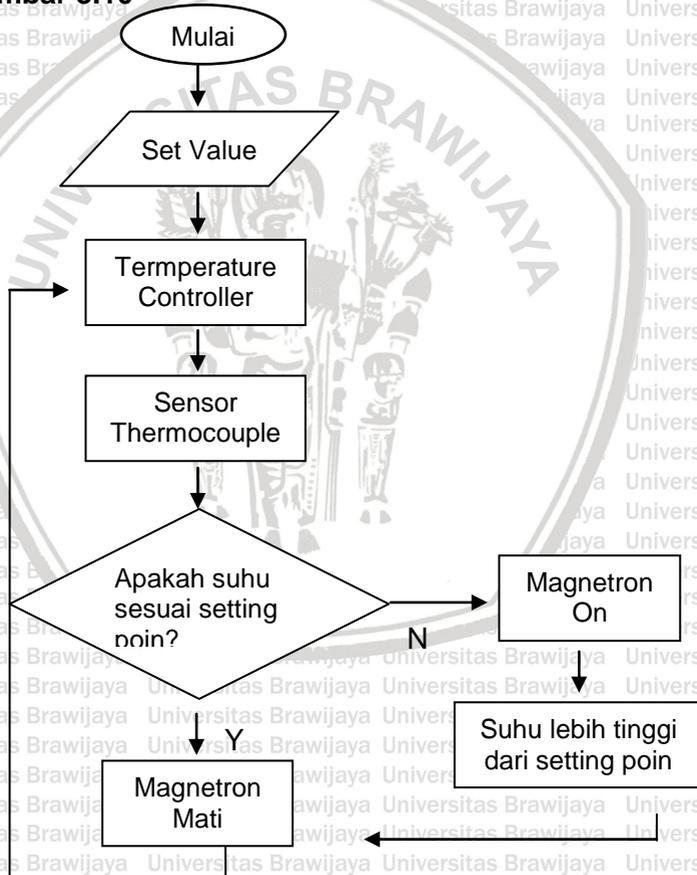
teruapkan maka mesin dimatikan kemudian sisa larutan pada *boiling flask* diambil untuk diukur data secara kualitatif dan kuantitatif. Setelah selesai maka unit kontrol suhu dimatikan dan *microwave* dalam kondisi mati sehingga sisa hasil proses destilasi pada *boiling flask* dapat diambil. Proses penggunaan alat MAHD dapat dilihat pada **Gambar 3.9**



Gambar 3.9 Proses Penggunan Alat MAHD

3.5.2. Blok Diagram Proses Pengontrolan On/Off

Sistem kontrol On/Off memiliki pengertian secara harfiah adalah sistem dengan kondisi On atau Off, tidak ada pilihan lain diantaranya. Proses dimana kondisi On dan Off juga di dapat dari pengolahan data masukan berupa setting *value* dan *present value*. Algoritma *control* dua posisi dengan cara menentukan *setpoint* dan nilai *minimum* dimana ketika suhu menyentuh *setpoint* maka pompa off (bernilai *false*) dan ketika suhu kurang dari nilai minimum maka pompa akan aktif (bernilai *true*). Untuk lebih jelasnya berikut adalah skema pengontrolan secara *on off* pada **Gambar 3.10**



Gambar 3.10 Skema Kontrol On OFF



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancang Bangun Microwave Assisted Hydrodistillation (MAHD)

4.1.1 Hasil Rancangan Struktural MAHD

Rancang bangun alat MAHD dibuat dengan dimensi 95 x 45 x 29,25 cm. Dimensi *microwave* yang digunakan adalah 48,5 x 37 x 29,25 cm. Pada **gambar 4.1** merupakan hasil rancang bangun MAHD.



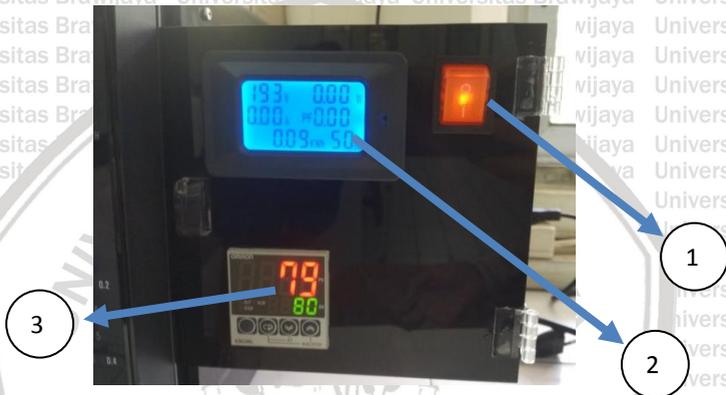
Gambar 4.1 MAHD dengan Mikrokontroler

Bagian- bagian rancangan struktural MAHD adalah sebagai berikut :

1. Kondensor
2. Unit aerator
3. Statif
4. *Microwave*
5. Unit temperatur kontroler
6. *Setting Button*

Prototype MAHD terbuat dari *microwave* merk *electrolux* dengan spesifikasi seperti yang sudah dicantumkan. *Microwave* dilengkapi dengan *setting button* untuk mengatur lama waktu

proses dan daya yang digunakan, tutup depan dari *microwave* terbuat dari kaca bening yang dapat ditembus cahaya. Bagian samping *microwave* dibuat terdapat boks kontrol yang berisi tombol power, lcd dan termostat. Material yang digunakan untuk pembuatan boks adalah akrilik 3 mm berwarna gelap, pada bagian depan terdapat engsel dan kaitan untuk membuka boks apabila diperlukan *maintenance*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.2**



Gambar 4.2 Boks Kontrol Suhu

1. Tombol On/Off
2. LCD
3. Termostat

Boks kontrol berisi komponen yang digunakan untuk sistem kontrol suhu seperti termostat, tombol On/Off, LCD dan kabel jumper untuk dihubungkan kepada *microwave*. Spesifikasi termostat yang digunakan adalah *omron* dengan tipe E5CC-RX2ASM-800. Pemilihan termostat adalah berdasarkan pada kebutuhan sistem kontrol yang diperlukan. Termostat tipe ini merupakan komponen yang bertanggung jawab pada proses kontrol On/Off pada saat proses destilasi berlangsung. Display pada termostat digunakan untuk menampilkan suhu setting dan suhu aktual, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.3**



Gambar 4.3 Termostat

1. PV (*Present Value*)
2. SV (*Setting Value*)
3. Tombol Pengaturan

Fitur utama pada termostat yaitu tampilan dari PV (*Present Value*) yang berfungsi untuk menampilkan nilai suhu aktual yang dihitung oleh sensor *termocouple*, kemudian SV (*Setting Value*) yaitu nilai suhu yang diatur, nilai suhu ini dapat dirubah sesuai kebutuhan. Fitur terakhir adalah tombol pengaturan yang berfungsi untuk mengatur dengan menaikkan dan menurunkan suhu SV. Ketika proses destilasi berlangsung *setting point* diatur sesuai dengan suhu yang dikehendaki, sedangkan nilai suhu aktual pada *boiling flask* yang diukur *termocouple* dimunculkan sebagai *present value*. Perbedaan nilai suhu dari PV dan SV menjadi input masukan untuk relay dalam pembuatan keputusan untuk mekanisme On/Off pada magnetron.

4.1.2 Hasil Rancangan Fungsional MAHD



Gambar 4.4 Ruang Pemanas *Microwave*

1. Ruang Pemanasan
2. Magnetron

Gambar data merupakan bagian *microwave* untuk pemanasan bahan, *boiling flask* akan diletakkan tepat ditengah ruang pemanasan sehingga bahan dapat terpapar gelombang *microwave* yang dihasilkan oleh magnetron, sensor *termocouple* ditempatkan pada bagian dalam *boiling flask* hingga menyentuh bahan guna mengetahui suhu bahan selama proses destilasi berlangsung. Pada bagian pintu *microwave* terbuat dari material kaca sehingga memungkinkan untuk memantau bahan didalam ruang pemanasan. Bagian atas dari ruang pemanasan akan diberi lubang untuk menghubungkan *boiling flask* dengan konektor, untuk ,lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.5**



Gambar 4.5 Konektor

Keterangan :

1. Konektor sebagai penghubung *boiling flask* dan kondensor
2. Sensor *Termocouple* sebagai pembaca nilai suhu pada *boiling flask*

4.2 Hasil Rancangan Sistem Kontrol Otomatis Suhu MAHD

4.2.1 Hasil Rancangan Sistem Elektrik

Selain perancangan secara struktural dan fungsional, terdapat perancangan sistem elektrik sebagai tolak ukur keberhasilan dari sistem pengontrolan otomatis yang sudah dilakukan. Sistem elektrik disusun dari komponen yang sudah disebutkan sebelumnya membentuk suatu fungsi pada mekanisme pengontrolan On/Off. Berikut adalah hasil rancangan sistem elektrik pada pengontrolan suhu, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.6**



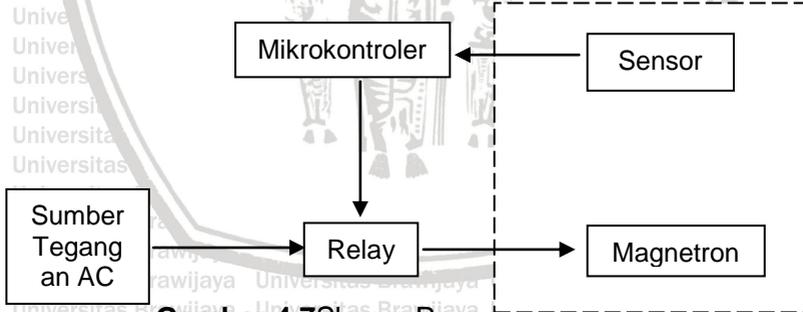
Gambar 4.6Rangkain sistem Kontrol

Gambar diatas adalah adalah rangkaian sistem kontrol yang sudah dibuat untuk pengontrolan suhu secara On/Off.

Komponen sistem kontrol suhu terdiri dari

1. Relay
2. Termsotat
3. Multimeter digital
4. Tombol On/off
5. Termocouple
6. Boks akrilik
7. Kabel *jumper*

Sistem kontrol otomatis dilengkapi multimeter digital untuk memudahkan pengguna membaca data mengenai kuat arus, daya frekuensi dan daya pada prototype. Relay digunakan untuk memutus atau menyambungkan arus listrik yang menuju magnetron sehingga suhu pada ruang pemanasan tetap stabil, relay dihubungkan dengan termostat dimana ketika proses destilasi berlangsung sensor membaca nilai suhu air dalam *boiling flask* dan akan mengirimkan sinyal digital apabila suhu mencapai *setting point* maka *magnetron* akan mati dan akan hidup kembali apabila suhu mencapai *minimum point*. Berikut adalah skema dari sistem kontrol shu otomatis pada prototype MAHD.



Gambar 4.7 Skema Pengontrolan suhu

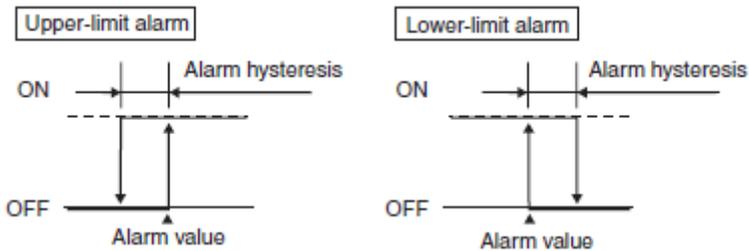
4.3 Hasil Pengujian Sistem

4.3.1 Pengujian Otomatisasi Relay

MAHD merupakan alat yang menggunakan sistem otomatisasi pada pengaturan suhunya. Pengaturan otomatisasi pada sistem menggunakan relay untuk memutus dan

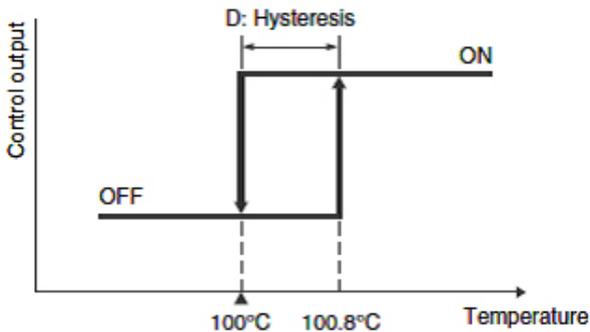


menyambungkan arus listrik dan disambungkan pada termostat sebagai pengelola data input untuk menjadi output pada relay. Berikut adalah diagram histeresis pada termostat untuk menentukan sistem on off pada pengontrolan suhu :



Gambar 4.8 Histeresis keluaran alarm

Dengan kontrol ON / OFF, histeresis digunakan untuk menstabilkan operasi ketika beralih antara ON dan OFF. Fungsi kontrol output (pemanasan) dan output kontrol (pendinginan) diatur dalam Hysteresis, dengan kata lain histeresis merupakan pita suhu yang dibuat antara kondisi suhu pada saat ON dan OFF (Sumber : *Manual Books Omron E5CC*). Sebagai contoh, jika Pengontrol Suhu dengan kisaran suhu 0 hingga 400 ° C memiliki histeresis 0,2%, D akan menjadi 0,8 ° C. Jika titik setel adalah 100 ° C, output akan MATI pada nilai proses 100 ° C dan akan AKTIF pada nilai proses 99,2 ° C. Untuk lebih jelasnya, berikut blok diagram suhu terhadap *control output* dapat dilihat pada **gambar 4.9**



Gambar 4.9 Blok Diagram Suhu Terhadap Control Output



Untuk semua alarm kecuali untuk alarm MV, standarnya adalah $0,2 (^{\circ}\text{C} / ^{\circ}\text{F})$ untuk input suhu dan $0,02\%$ FS, untuk input analog. Standarnya adalah $0,50 (\%)$ untuk alarm MV (Sumber : *Manual Books Omron E5CC*). Untuk pengujian kinerja relay dapat dilihat pada **tabel 4.1**

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Relay

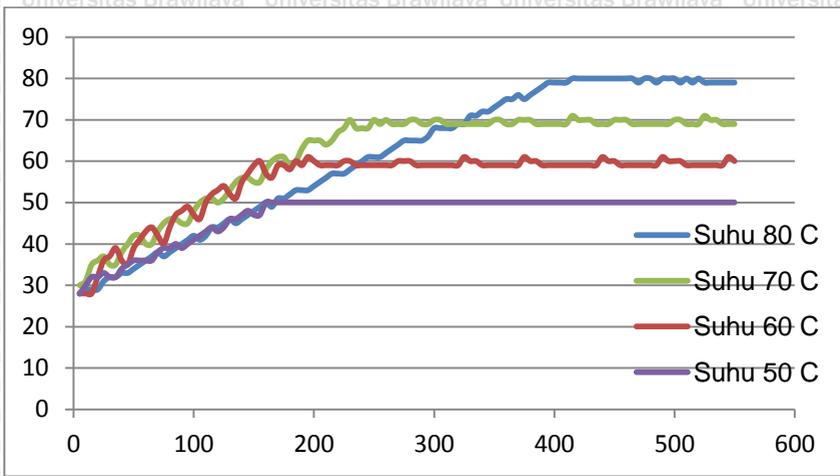
No	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kondisi
1.	$\geq 50^{\circ}\text{C}$	Mati
2.	$1^{\circ}\text{C} - 48^{\circ}\text{C}$	Nyala
3.	$\leq 49^{\circ}\text{C}$	Nyala

Pengujian otomatisasi relay digunakan untuk mengetahui kemampuan relay pada proses pengaturan suhu secara otomatis. Kondisi dimana suhu pada $\geq 50^{\circ}\text{C}$ maka relay mati menunjukkan bahwa ketika suhu mencapai *setting point* maka relay akan memutuskan arus sehingga magnetron akan mati dan akan nyala ketika suhu nya $\leq 49^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa relay dapat bekerja dengan baik yang dalam hal ini adalah untuk mempertahankan suhu pada *setting point* 50°C .

4.3.2 Hasil Pengujian Sistem Kontrol *On/off*

Pengujian sistem kontrol untuk mengetahui keberhasilan komponen pada prototype yakni unit pengontrolan untuk mempertahankan suhu sesuai dengan yang dikehendaki, berikut merupakan grafik yang didapat dari percobaan yang dilakukan selama kurang lebih 10 menit dan dicatat perubahan suhu nya setiap 5 detik. Suhu yang ditunjukkan adalah suhu dari aquades yang diukur oleh termokopel didalam *boiling flask*. Selain untuk mengetahui stabilitas suhu, pengukuran ini adalah untuk mengkalibrasi sistem kontrol suhu dan mengetahui rentang atau simpangan data yang dihasilkan oleh alat sehingga dapat diketahui nilai error suhu selama proses berlangsung. Nilai error ini adalah yang dapat menjadi acuan untuk pemanfaatan prototype sesuai dengan kebutuhan presisi suhu yang diperlukan.





Gambar 4.10 Grafik Perubahan Suhu terhadap Waktu pada Suhu 50°C, 60°C, 70°C, dan 80°C

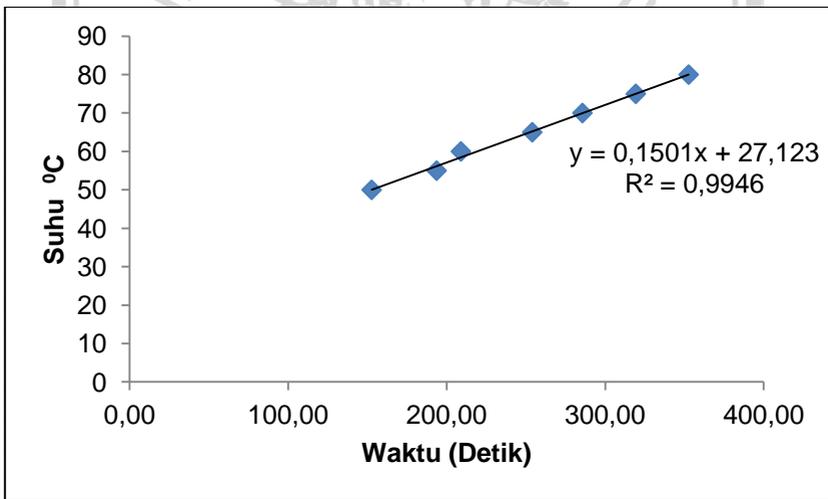
Proses destilasi berlangsung dengan pemanasan dengan mekanisme kontrol On/Off dengan interval 1°C. Hal ini berarti apabila *setting point* yang diberlakukan adalah 60°C, maka suhu maksimal yang dicapai adalah 61°C dan suhu minimal adalah 49°C. Data yang sudah diambil di sajikan dalam bentuk grafik menggunakan *software Microsoft Excel* seperti pada **Gambar 4.8**. Berdasarkan data, untuk *setting point* 60°C diketahui suhu maksimal selama proses berlangsung adalah 61°C, suhu minimal adalah 28°C, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi suhu stabil atau *steady-state* adalah 190 detik dan rata rata suhu selama proses *steady-state* adalah 59,39189°C. Sedangkan pada *setting point* 70°C suhu maksimal selama proses adalah 71°C, suhu minimal adalah 30°C, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady-state* adalah 250 detik dan suhu rata-rata selama proses *steady state* adalah 69,40984°C. Berdasarkan data yang sudah diperoleh dapat disimpulkan bahwa prototype dapat mengontrol suhu dengan interval error pada saat kondisi *steady-state* sebesar 1°C. Pada *setting point* suhu 50°C dan 80°C waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady-state* adalah 155 detik dan 410 detik, atau lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 4.1** :



No	Suhu	Rise time			Mean	Stdev
		1	2	3		
1	50	154	150	154	152,67	2,31
2	55	193	192	196	187,00	9,54
3	60	213	210	204	209,00	4,58
4	65	256	254	252	254,00	2,00
5	70	289	285	283	285,67	3,06
6	75	324	321	313	319,33	5,69
7	80	358	353	347	352,67	5,51

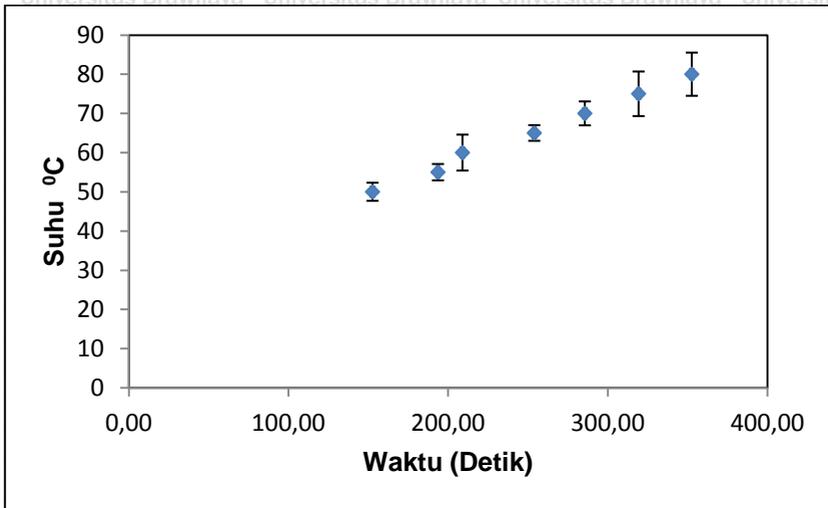
Tabel 4.2 Data kebutuhan waktu mencapai suhu *setting point*

Dari tabel 4.1 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi suhu dari setting point maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi suhu stabil. atau lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.9** :



(a) Grafik dengan persamaan linier





(b) Grafik dengan standar deviasi

Gambar 4.11 (a) dan (b) Grafik kebutuhan waktu mencapai *setting point*

Berdasarkan graik yang sudah dibuat dapat dibuat persamaan linier yang menunjukkan nilai $Y = ax + b$, yang dapat dimanfaatkan sebagai pembantu dalam menentukan *rising time* untuk nilai X atau Y yang lainnya, yang dalam hal ini nilai X adalah suhu pada *setting point* dan nilai Y adalah *rising time* yang diperlukan. Berikut adalah persamaan yang didapat dari plotting data yang sudah dilakukan,:

$$Y = 0,1501X + 27,123$$

Keterangan :

Y = Suhu *setting point*

X = Kebutuhan waktu (*rising time*) untuk mencapai suhu *setting point*.

4.4 Uji Efisiensi Mesin

Uji efisiensi mesin digunakan untuk mengetahui perbandingan antara daya masukan dengan daya yang digunakan oleh komponen sehingga dapat ditentukan efisiensinya dalam persen. Perhitungan daya input dan output



menggunakan metode yaitu menguapkan air pada *boiling flask* dan menghitung volume air yang menguap sehingga diketahui daya outputnya. Untuk daya input dihitung melalui rata-rata arus selama proses, daya masukan dan lama waktu yang dibutuhkan. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3 Uji Efisiensi Daya

Indikator Pengujian	Percobaan
Massa air awal (gr)	349,7
Massa air akhir (gr)	261,1
Voltase (V)	220
Rata- rata arus (I)	1,686
Energi input (J)	222.552
Energi output (J)	200.944,8 J
Efisiensi (100%)	90,29

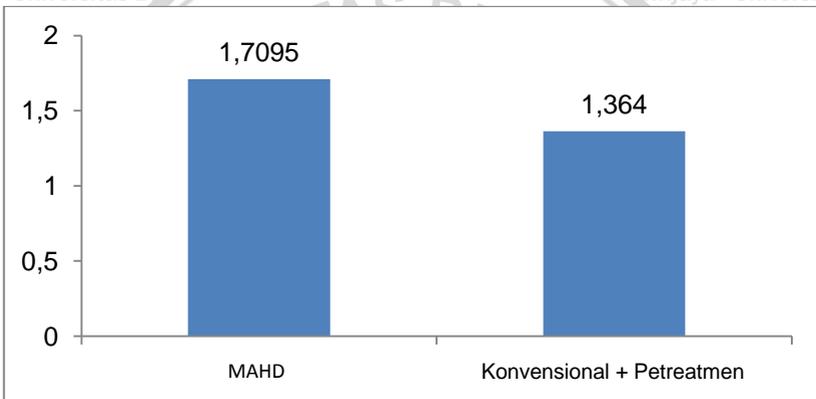
Pengujian efisiensi daya dilakukan selama 10 menit pemanasan air dengan suhu 100°C. Perhitungan daya keluaran menggunakan rumus $Q = mxL$, dimana m merupakan masa air yang diuapkan dan L adalah kalor uap. Sedangkan untuk menghitung daya masukan adalah dengan menggunakan rumus $E = V \times i \times t$, dimana E merupakan energi input, i adalah arus listrik yang digunakan, dan t adalah lama waktu proses berlangsung. Setelah diketahui energi masukan dan keluaran dari mesin dapat dihitung efisiensi dari prototipe menggunakan rumus Efisiensi = Energi input/ Energi Output dan diubah menjadi satuan persen.

Berdasarkan percobaan yang sudah dilakukan, didapatkan data massa air awal adalah 349,7 gr dan massa setelah diberi perlakuan adalah 261,1 gr, sehingga energi outputnya ketika dikalikan dengan kalor uap air adalah sebesar 200.944,8 J. Rata – rata arus yang digunakan adalah 1,686 ampere, daya input adalah 220 V dan proses berlangsung selama 10 menit sehingga energi masukannya adalah sebesar 222.552 J. Sehingga efisiensi yang diperoleh dari perhitungan adalah 90,29 %, untuk perhitungan lengkap dapat dilihat pada **lampiran 4**.



4.5 Perbandingan Metode MAHD dengan Metode Konvensional

Hidrodestilasi menggunakan MAHD menawarkan banyak kelebihan dibandingkan dengan metode konvensional, salah satunya yaitu efektifitas dalam memecah sel dalam bahan sehingga kandungan dalam bahan dapat di ekstrak lebih mudah. Hal ini dibuktikan dengan rendemen dimana nilai rendemen dengan menggunakan metode MAHD nilainya berbeda jika dibandingkan dengan metode hidrodestilasi konvensional yang menggunakan pretreatmen microwave sebelum dilakukan proses, berikut adalah grafik perbandingan dari kedua metode tersebut



Gambar 4.12 Perbandingan rendemen metode MAHD dan konvensional

Berdasarkan grafik dapat disimpulkan bahwa destilasi menggunakan MAHD lebih efisien dalam menghasilkan minyak atsiri dikarenakan menghasilkan rendemen yang lebih banyak. Data pertama adalah rendemen dari penelitian yang dilakukan oleh dimana perlakuan terbaik pada rasio 1:8, daya 600 watt dengan massa bubuk jahe sebesar 40 gram dan air 320 ml menghasilkan rendemen minyak dengan massa 0,6838 gram sehingga rendemennya adalah sebesar 1,7095%. Sedangkan data kedua adalah penelitian yang dilakukan oleh (pahalati,2018) perlakuan dengan rendemen terbaik adalah menggunakan daya 100 watt



pretreatment selama 2 menit dengan sampel sebanyak 100 gram dan air 1,2 L dan menghasilkan rendemen 1,364%. Hal ini menunjukkan metode MAHD menawarkan kelebihan dibandingkan dengan metode konvensional walaupun dengan pretreatment menggunakan microwave, hal ini juga dibuktikan oleh (Golmakani, 2007) dimana destilasi menggunakan MAHD menyebabkan kerusakan yang cepat terhadap dinding sel sehingga didapatkan efisiensi ekstraksi yang lebih tinggi pada waktu yang lebih singkat dan konsumsi energi yang secara signifikan lebih rendah.



V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Dihasilkan rancang bangun alat berbasis metode *Microwave Assisted Hydrodistillation* dengan penambahan sistem kontrol suhu On/Off menggunakan termostat.
2. Hasil sampel uji kontrol On/Of dilakukan pada *setting point* 60°C dan 70°C didapatkan hasil rata-rata suhu selama proses berlangsung (*steady-state*) adalah $59,39189^{\circ}\text{C}$ pada suhu 60°C dan $69,40984^{\circ}\text{C}$ pada suhu 70°C .
3. Hasil uji efisiensi mesin menunjukkan hasil yang optimal yaitu energi output sebesar 222552 dan energi input sebesar 200944,8, sehingga nilai prosentase efisiensinya adalah 90,92%.
4. Perbandingan rendemen dengan metode konvensional + pretreatment *microwave* menunjukkan perbedaan, dimana nilai rendemen menggunakan prototype adalah 1,7095%, lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional yaitu 1,364%.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu ditambahkan sistem pengumpul data atau data logger agar peneliti lebih mudah dalam memonitoring suhu pada saat proses berlangsung. Diperlakukan penambahan fitur *vacuum* untuk menjangkau suhu yang jauh lebih rendah pada saat proses destilasi berlangsung, penutup sambungan unit destilator perlu diperhatikan agar tidak terjadi kebocoran.



DAFTAR PUSTAKA

- Barki, Tt et al. 2017. **Penetapan Kadar Fenol Total dan Pengujian Aktivitas Antioksidan Minyak Jahe Gajah (*Zingiber officinale* var. *officinale*).** *e-Jurnal Pustaka Kesehatan* 5 (3), September 2017: 432-436
- Handayani, D., Paramita, V., Faizah, L. 2015. **Peningkatan Kadar Zingiberen dalam Minyak Jahe dengan Ekstraksi Cair-Cair.** Prosiding Snst Ke-6, 44-50.
- Kementrian Perdagangan Indonesia. 2014. **“Market Brief Tahun 2014 Minyak Atsiri (HS 3301).** Berlin : KBRI indonesia
- Kurniasari, L, I Hartati dan RD Ratnani. 2008. **Kajian Ekstraksi Minyak Jahe Menggunakan Microwave Assisted Extraction (MAE).** *Momentum* 4 (2): 47-52
- Mahfud, M et al. 2017. **Microwave-assisted Hydrodistillation for Extraction of Essential Oil from Patchouli (*Pogostemon cablin*) Leaves.** Institut Teknologi Sepuluh November
- Ogata, K. 2010. **Modern Control Engineering (5th ed).** Prentice Hall inc
- Pahalati, S. 2018. **Pengaruh Pretreatment Microwave Gelombang Mikro) Pada Hidrodistilasi Jahe (*Zingiber Officinal*) Terhadap Rendemen Dan Kadar Zingiberine Dalam Minyak Jahe (Kajian Daya Dan Waktu Pretreatment).** Malang: Universitas Brawijaya
- Permadi, indra et al. 2013. **Pengendalian Temperature pada Plant Electric Furnace menggunakan Sensor dengan Metode Fuzzy.** Universitas Diponegoro
- Prasetyo, AW, Wignyanto, dan Arie Febrianto Mulyadi. 2015. **Ekstraksi Oleoresin Jahe (*Zingiber officinale*, Rosc.) dengan Metode Ekstraksi Sokletasi (Kajian Rasio Bahan dengan Pelarut dan Jumlah Sirkulasi Ekstraksi yang Paling Efisien).** *Jurnal Industria*
- Purwanto, Helmy., Indah Hartati, dan Laeli Kurniawari. 2010. **Pengenmbangan Microwave Assisted Extractor (MAE)**



pada Produksi Minyak Jahe dengan Kadar Zingiberine Tinggi. *Momentum*. 6(2): 9-16

Ranitha M., Abdurahman H. Nour, Ziad A. Sulaiman, Azhari H. Nour, and Thana Raj S.. 2015. **A Comparative Study of Lemongrass (*Cymbopogon Citratus*) Essential Oil Extracted by Microwave-Assisted Hydrodistillation (MAHD) and Conventional Hydrodistillation (HD) Method.** Universitas Kuala Lumpur

Saleh, muhammad. 2017. **Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Relay.** Jakarta : Universitas Mercubuana

Supardan, MD et al. 2009. **Hidrodistilasi Minyak Jahe (*Zingiber officinale Rosc.*) Menggunakan Gelombang Ultrasonik. *Reaktor 12 (4), Desember 2009: 239-244***

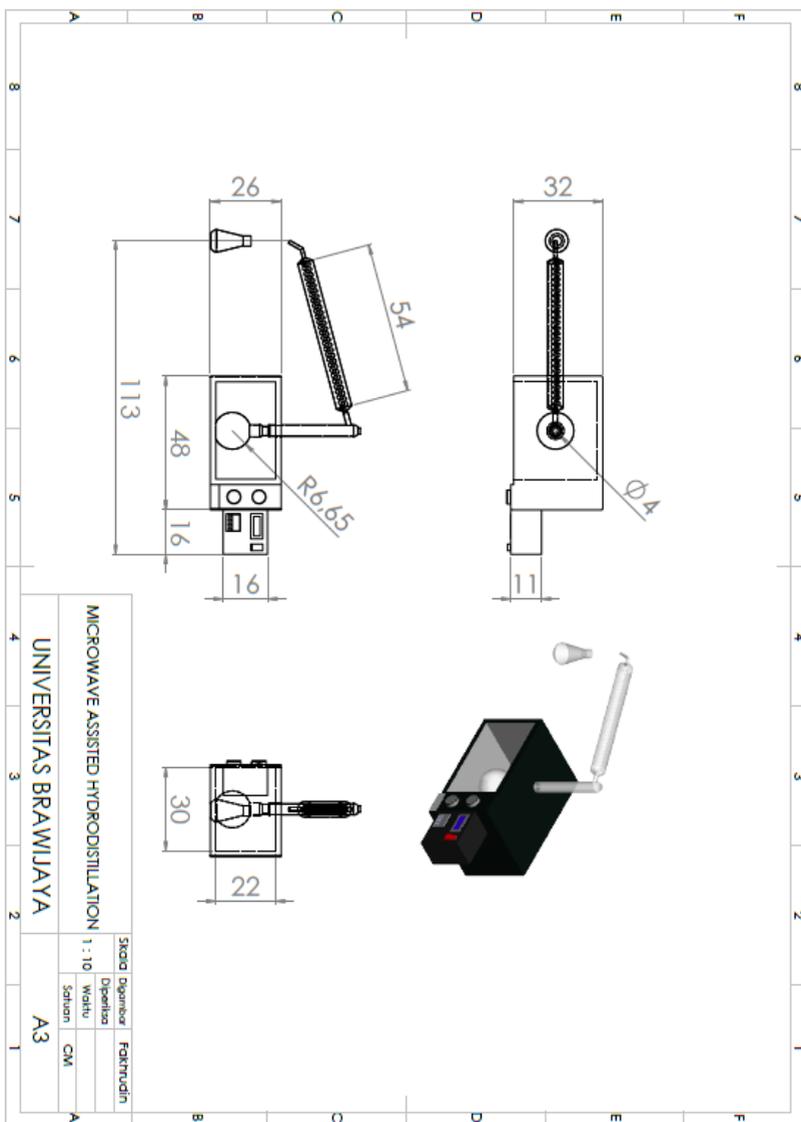
Mohammad-Taghi Golmakani, Karamatollah Rezaei. 2007. **Comparison of microwave-assisted hydrodistillation with the traditional hydrodistillation method in the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L.** University of Tehran

Uquiche, Edgar, Marcia Jerez dan Jaime Ortiz. 2008. **Effect of Pretreatment with Microwaves on Mechanical Extraction Yield and Quality of Vegetable Oil From Chilean Hazelnuts (*Gevuina avellana* Mo).** *Innovative Food Science & Emmerging Technologies 9(4): 495-500*

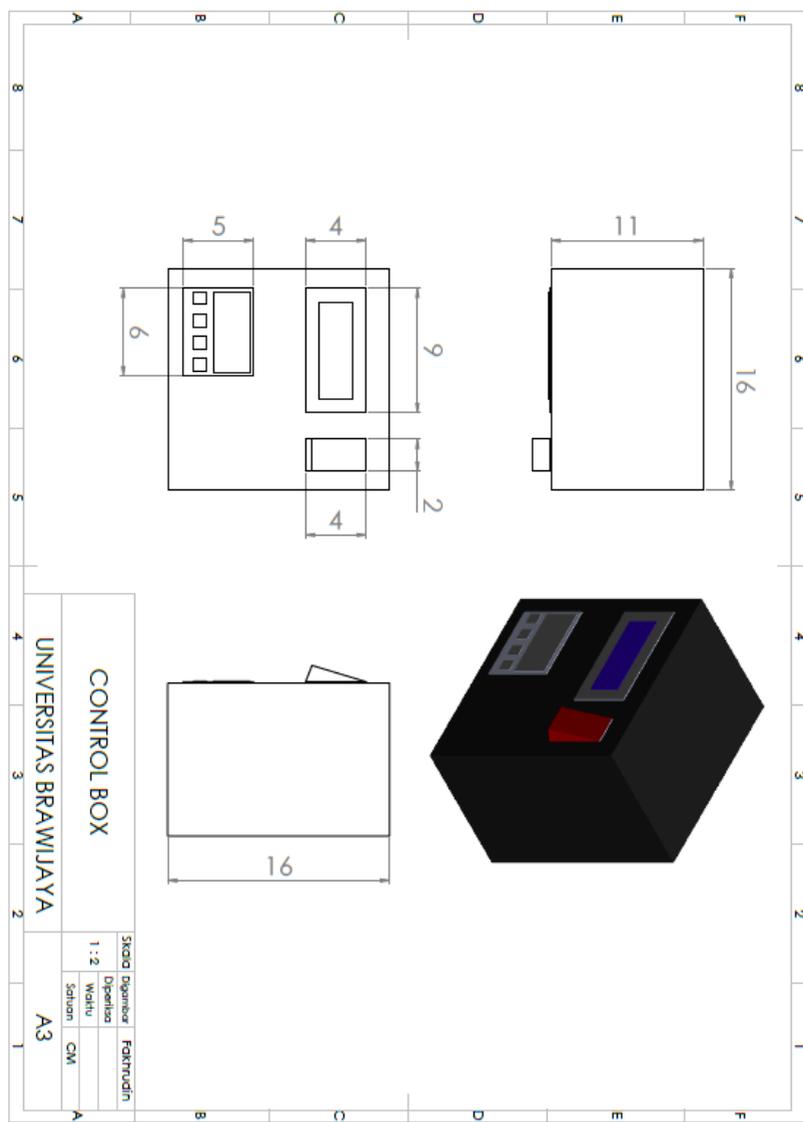


Lampiran. 1 Desain gambar teknik MAHD

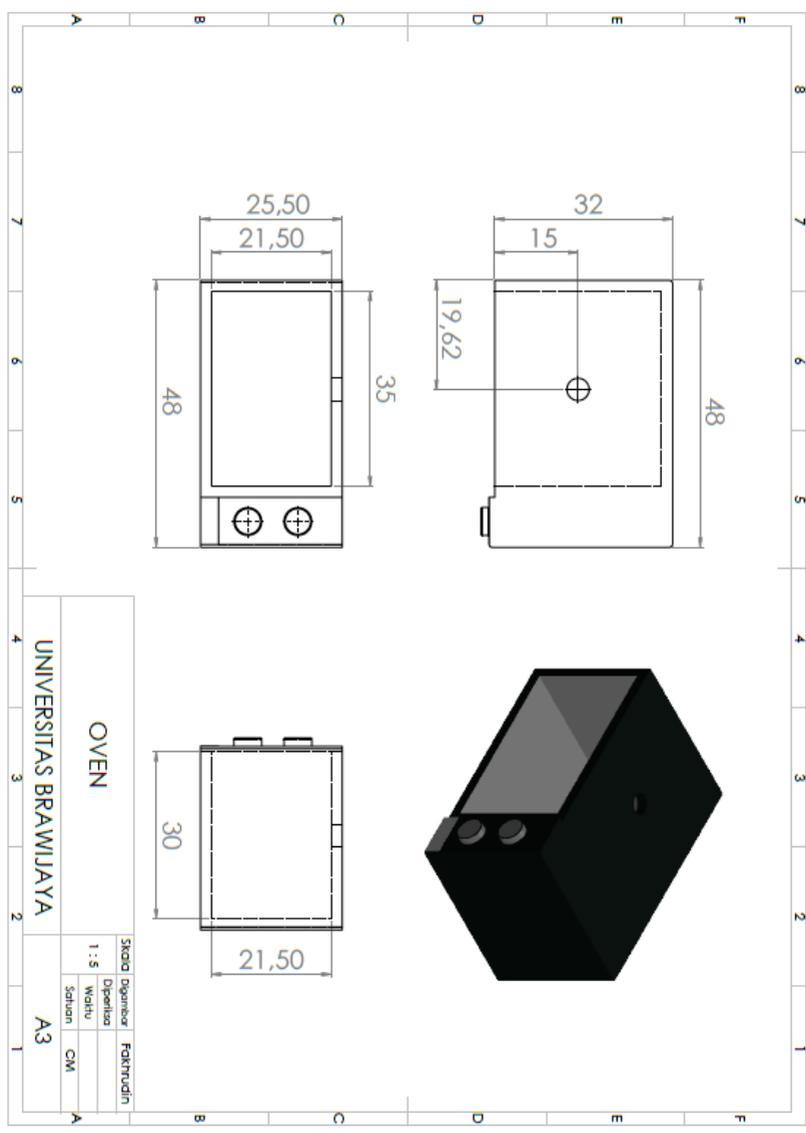
a. Gambar Keseluruhan



b. Control Box



c. Microwave



Lampiran. 2 Dokumentasi

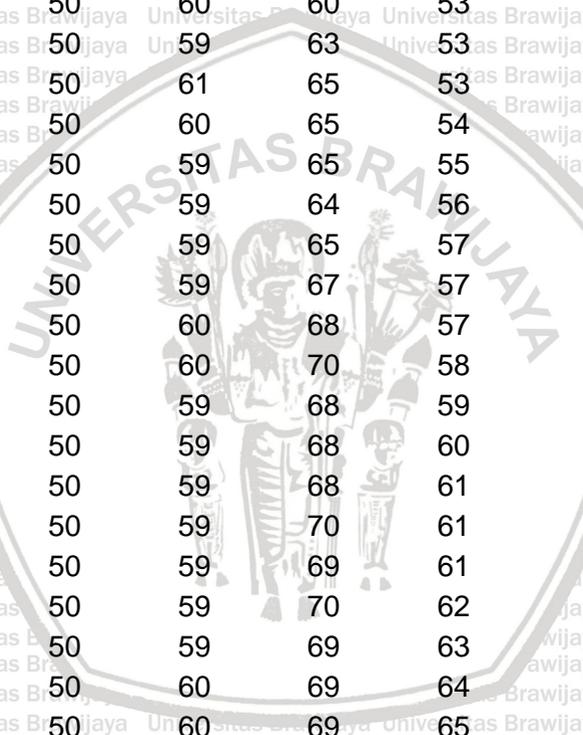


Lampiran. 3 Data Suhu Pengamatan

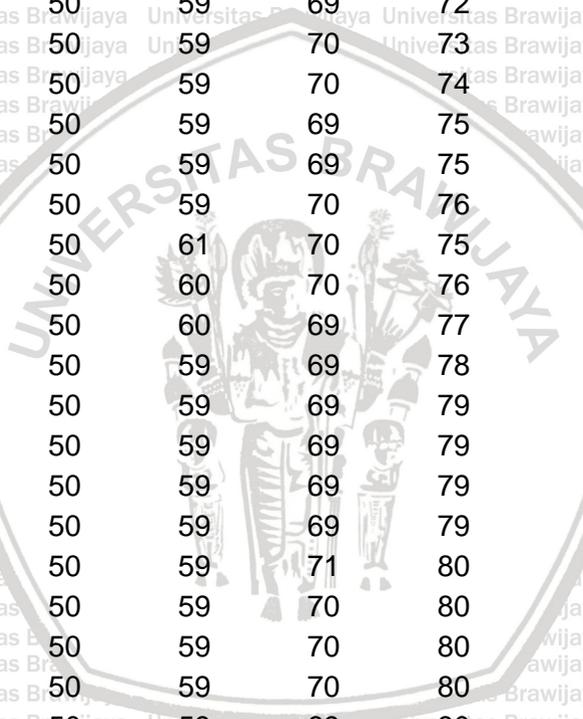
Waktu (S)	Suhu (50°C)	Suhu (60°C)	Suhu (70°C)	Suhu (80°C)
5	28	28	30	28
10	30	28	31	29
15	32	28	35	29
20	32	32	36	29
25	33	36	37	31
30	32	37	35	32
35	32	39	35	32
40	34	36	38	33
45	35	35	40	33
50	36	39	42	34
55	36	41	42	35
60	36	43	40	36
65	36	44	40	37
70	38	42	43	38
75	39	40	45	37
80	39	44	46	38
85	40	47	46	39
90	39	48	45	40
95	40	49	45	41
100	41	47	48	42
105	42	46	50	41
110	43	50	51	42
115	44	52	51	44
120	43	53	50	44
125	44	54	51	45
130	46	52	53	46
135	46	51	55	45
140	47	55	56	46
145	48	57	56	47



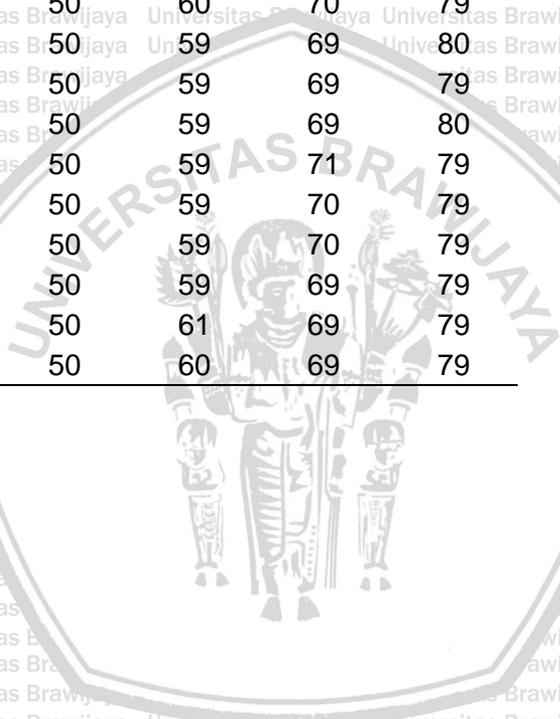
150	47	59	55	48
155	47	60	55	49
160	50	57	58	50
165	50	56	60	49
170	50	59	61	51
175	50	59	61	51
180	50	58	59	52
185	50	60	60	53
190	50	59	63	53
195	50	61	65	53
200	50	60	65	54
205	50	59	65	55
210	50	59	64	56
215	50	59	65	57
220	50	59	67	57
225	50	60	68	57
230	50	60	70	58
235	50	59	68	59
240	50	59	68	60
245	50	59	68	61
250	50	59	70	61
255	50	59	69	61
260	50	59	70	62
265	50	59	69	63
270	50	60	69	64
275	50	60	69	65
280	50	60	70	65
285	50	59	70	65
290	50	59	69	65
295	50	59	69	66
300	50	59	70	68
305	50	59	70	68



310	50	59	69	68
315	50	59	69	68
320	50	59	69	69
325	50	61	69	69
330	50	60	69	71
335	50	60	69	71
340	50	59	69	72
345	50	59	69	72
350	50	59	70	73
355	50	59	70	74
360	50	59	69	75
365	50	59	69	75
370	50	59	70	76
375	50	61	70	75
380	50	60	70	76
385	50	60	69	77
390	50	59	69	78
395	50	59	69	79
400	50	59	69	79
405	50	59	69	79
410	50	59	69	79
415	50	59	71	80
420	50	59	70	80
425	50	59	70	80
430	50	59	70	80
435	50	59	69	80
440	50	61	69	80
445	50	60	69	80
450	50	60	70	80
455	50	59	70	80
460	50	59	70	80
465	50	59	69	80



470	50	59	69	79
475	50	59	69	80
480	50	59	69	80
485	50	59	69	79
490	50	61	69	80
495	50	60	69	80
500	50	60	70	80
505	50	60	70	79
510	50	59	69	80
515	50	59	69	79
520	50	59	69	80
525	50	59	71	79
530	50	59	70	79
535	50	59	70	79
540	50	59	69	79
545	50	61	69	79
550	50	60	69	79



Lampiran. 4. Perhitungan Efisiensi

Indikator Pengujian	Percobaan
Massa air awal (gr)	349.7
Massa air akhir (gr)	261.1
Voltase (V)	220
Rata-rata arus (I)	1.686
Energi input (J)	222552
Energi output (J)	200944.8 J
Efisiensi (100%)	90.29

Energi output

$$Q = mxL$$

$$Q = (349.7 - 261.1) \times 22608 \text{ J/gr}$$

$$Q = 88,6 \text{ gr} \times 22608 \text{ J/gr}$$

$$Q = 200944.8 \text{ J}$$

Energi Input

$$E = V \times I \times t$$

$$E = 220 \text{ V} \times 1,686 \text{ A} \times 600 \text{ s}$$

$$E = 222552 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{\text{energi output}}{\text{energi input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{200944.8}{222552} \times 100\%$$

$$= 90.29 \%$$

