

**RANCANG BANGUN ALAT KONDENSASI ASAP BERBASIS  
SISTEM COUNTER FLOW**

**(SKRIPSI)**

**Oleh**

**MUHAMAD ZIKRI SAPUTRA**

**2114071042**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2025**

**RANCANG BANGUN ALAT KONDENSASI ASAP BERBASIS SISTEM  
*COUNTER FLOW***

**Oleh**

**MUHAMAD ZIKRI SAPUTRA**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2025**

## **ABSTRACT**

### **DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SMOKE CONDENSATION DEVICE BASED ON A COUNTER-FLOW SYSTEM**

**By**

**MUHAMAD ZIKRI SAPUTRA**

*Indonesia has abundant biomass potential as a source of renewable energy, particularly from agricultural and forestry waste. One of its applications is through the pyrolysis process to produce charcoal and liquid smoke. This study aims to design and develop a smoke condensation device based on a counter-flow system capable of efficiently converting pyrolysis smoke into liquid smoke. The device consists of several main components, including a pyrolysis chamber, chamber stand, chamber lid, condensation tube, connecting pipe, water pump, support stand, and water reservoir. The condensation process is carried out by directing the flow of smoke and water in opposite directions to optimize heat transfer. Performance testing was conducted three times using  $\pm 10$  kg of coconut shell biomass in each trial. The observed parameters included temperature, volume of liquid smoke, water flow rate, heat transfer rate, device effectiveness, and working capacity. The test results showed that the device was capable of producing an average of 3.23 kg of liquid smoke per test, with the highest*

*heat transfer rate reaching 51.30 watts. The counter-flow system was proven to increase condensation efficiency and enhance the device's effectiveness in producing economically valuable products while reducing environmental pollution. This study utilizes a counter-current flow system in the condenser design to optimize the production of liquid smoke from biomass.*

**Keywords:** *smoke condensation device, counter-flow system, pyrolysis, liquid smoke, biomass.*

## **ABSTRAK**

### **RANCANG BANGUN ALAT KONDENSASI ASAP BERBASIS SISTEM *COUNTER FLOW***

**Oleh**

**MUHAMAD ZIKRI SAPUTRA**

Indonesia memiliki potensi biomassa yang melimpah sebagai sumber energi terbarukan, terutama dari limbah pertanian dan kehutanan. Salah satu pemanfaatannya adalah melalui proses pirolisis untuk menghasilkan arang dan asap cair. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat kondensasi asap berbasis sistem *counter flow* yang mampu mengubah asap hasil pirolisis menjadi asap cair secara efisien. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu tabung pirolisis, kaki tabung pirolisis, tutup tabung pirolisis, tabung kondensasi, pipa penghubung, pompa air, tiang penyangga dan bak penampung air. Proses kondensasi dilakukan dengan mengalirkan asap dan air dalam arah berlawanan untuk mengoptimalkan perpindahan panas. Uji kinerja dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan bahan baku batok kelapa sebanyak  $\pm 10$  kg dalam tiap percobaan. Parameter yang diamati meliputi suhu, volume asap cair, debit air, laju perpindahan panas, efektivitas alat, dan kapasitas kerja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu menghasilkan asap cair rata-rata sebesar

3,23 kg per pengujian, dengan laju perpindahan panas tertinggi mencapai 51,30 watt. Sistem *counter flow* terbukti meningkatkan efisiensi kondensasi dan efektivitas alat dalam menghasilkan produk yang bernilai ekonomis sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan. Penelitian ini menggunakan sistem aliran berlawanan dalam desain kondensor untuk optimasi produksi asap cair dari biomassa.

**Kata Kunci:** alat kondensasi asap, sistem counter flow, pirolisis, asap cair, biomassa.



Judul Skripsi

**: RANCANG BANGUN ALAT KONDENSASI  
ASAP BERBASIS SISTEM COUNTER FLOW**

Nama Mahasiswa

**: Muhamad Zikri Saputra**

No. Pokok Mahasiswa

**: 2114071042**

Jurusan

**: Teknik Pertanian**

Fakultas

**: Pertanian**



**1. Komisi Pembimbing**

**Dr. Ir. Tamrin, M.S.**

**NIP. 196212311987031030**

**Dwi Dian Novita, S.T.P., M.Si.**

**NIP.198209242006042001**

**2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian**

**Prof. Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.**

**NIP.197801022003121001**

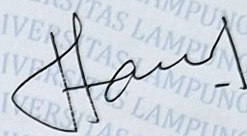


**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

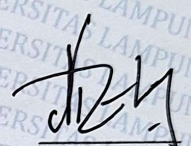
Ketua

: **Dr. Ir. Tamrin, M.S.**



Sekretaris

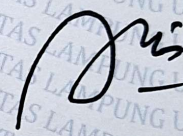
: **Dwi Dian Novita, S.T.P., M.Si.**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Prof. Dr. Ir. Warji, S.T.P., M.Si., IPM.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



: **Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.**

096471181989021002

Tanggal lulus ujian skripsi: 12 September 2025



## PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya Muhamad Zikri Saputra NPM 2114071042. Dengan ini menyatakan bahwa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Dr. Ir. Tamrin, M.S. dan Dwi Dian Novita, S.TP., M.Si.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 13 Oktober 2025  
Yang membuat pernyataan,



Muhamad Zikri Saputra  
NPM 211407104

## RIWAYAT HIDUP



Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putra dari bapak Siswanto dan ibu Siti Khasanah serta kakak dari Sisca Dwi Novitasari. Penulis dilahirkan di Mulya Asri, Kecamatan Tulang Bawang Tengah, kabupaten Tulang Bawang Barat pada hari Minggu, 29 Juni 2003. Saat ini penulis beralamat di Housing 1 PT. Sweet Indolampung Blok E No. 30. Penulis memulai pendidikan di Yayasan Pendidikan Indolampung (YAPINDO). Berawal dari masa TK penulis bersekolah di TK 01 Yapindo pada tahun 2007 sampai 2009, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SD 01 Yapindo dan lulus pada tahun 2015, dan sekolah menengah pertama di SMP 01 Yapindo dan lulus pada tahun 2018. Pada jenjang sekolah menengah atas di Sugar Group High School dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan pada jenjang perguruan tinggi. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam kegiatan organisasi. Penulis menjadi pengurus Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) periode 2023 dan menjadi anggota bidang Pengabdian Masyarakat. Penulis diamanahkan menjadi Ketua Bidang Pengabdian Masyarakat periode 2024. Penulis juga aktif di organisasi Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI). Penulis menjadi pengurus pusat dan menjadi anggota bidang Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM).

Di bidang akademik penulis juga aktif sebagai asistensi dosen. Penulis menjadi asisten dosen mata kuliah Mekanisasi Pertanian pada tahun 2023, dan mata kuliah Alat Mesin Pertanian pada tahun yang sama. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2024 di Desa Negeri Bumi Putra, Kecamatan Umpu Semenguk, Kabupaten Way Kanan sebagai Hubungan Masyarakat. Penulis juga telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Sharprindo Dinamika Prima, Kecamatan Jatiuwung, Kabupaten Tangerang, Banten. Penulis ditempatkan pada divisi produksi sebagai staff produksi.



## **PERSEMBAHAN**

Segala puji dan Syukur kehadiran Allah SWT.  
Dengan izin, berkah, rahmat, dan hidayah-Nya, yang senantiasa menyertai penulis  
dalam menyelesaikan skripsi ini.

Karya ilmiah skripsi ini kutujukan dan kupersembahkan kepada:

### **Kedua Orang Tua dan Adik**

Ayahanda Siswanto dan Ibunda Siti Khasanah tercinta, yang senantiasa  
mengupayakan segala sesuatu demi kesuksesan anaknya baik secara materil, pikiran,  
tenaga dan doa. Serta saudari perempuan tersayang Adinda Sisca Dwi Novitasari,  
yang selalu memberikan semangat dan doanya.

### **Teman-teman Seperjuangan**

Teman seperjuangan kuliah yang selalu membersamai, membantu, mendukung,  
dan menemani Penulis.

### **Serta**

Almamater Tercinta Universitas Lampung.

## **MOTTO**

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sebelum mereka mengubah apa yang ada pada diri mereka sendiri”

**QS. Ar-Ra’d: 11**

“Pendidikan adalah senjata paling ampuh untuk mengubah dunia”

**Nelson Mandela**

*“Science can amuse and fascinate us all, but it is engineering that changes the world”*

**Isaac Asimov**

“Inovasi membedakan antara pemimpin dan pengikut”

**Steve Jobs**

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan banyak sekali kenikmatan, kesempatan, rahmat, dan hidayah sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“RANCANG BANGUN ALAT KONDENSASI ASAP UNTUK ALAT PENGASAP IKAN”** yang merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Sholawat serta salam tak henti-hentinya penulis sanjungkan kepada sosok tauladan yakni Nabi Muhammad SAW, yang tentunya kita nantikan syafaatnya di hari kiamat nanti.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapat masukan, bantuan, dorongan, bimbingan, dan saran dari berbagai pihak. Maka, dengan segala kerendahan penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas izin yang telah diberikan sehingga dapat melaksanakan Praktik Umum.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan masukan, dan saran selama melaksanakan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.



4. Bapak Dr. Ir. Tamrin, M.S., selaku dosen pembimbing pertama yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan masukan pada penelitian ini.
5. Ibu Dwi Dian Novita, S.TP., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua dan selaku pembimbing akademik yang telah membantu penulis dalam menyusun skripsi ini.
6. Ayahanda Siswanto, Ibunda Siti Khasanah tercinta yang telah membantu dalam memberikan semangat, nasihat, doa, serta dukungan baik material maupun finansial, serta Adinda Sisca Dwi Novitasari yang telah memberikan dukungan dan semangat selama melaksanakan penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
7. Teman seperjuangan kuliah yang selalu membersamai, membantu, mendukung, dan menemani Penulis selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
8. Keluarga Besar Jurusan Teknik Pertanian Angkatan 2021 atas dukungan dan semangatnya dalam melaksanakan penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
9. Keluarga besar PERMATEP (Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian) yang telah memberikan Penulis banyak wawasan, relasi, pengalaman dan pembelajaran selama periode kepengurusan.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih belum sempurna. Karena itu, kritik dan masukan dari pembaca yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, dan penulis berharap skripsi ini dapat berguna bagi penulis dan pembacanya.

Bandar Lampung, 10 Oktober 2025

Penulis,

**Muhamad Zikri Saputra**

## DAFTAR ISI

Halaman

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                       | v   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                        | vii |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....                                      | 1   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                         | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                        | 3   |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                       | 3   |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                                      | 3   |
| 1.5 Hipotesis.....                                               | 3   |
| 1.6 Batasan Masalah.....                                         | 4   |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                                | 5   |
| 2.1 Kondensasi .....                                             | 5   |
| 2.1.1 Mekanisme Perubahan Fase Gas Menjadi Cair.....             | 5   |
| 2.1.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Kondensasi ..... | 6   |
| 2.2 Karakteristik dan Komposisi Asap.....                        | 7   |
| 2.3 Pirolisis .....                                              | 8   |
| 2.4 Asap Cair .....                                              | 10  |
| 2.5 Kalor dan Perpindahan Kalor .....                            | 10  |
| 2.6 <i>Heat Exchanger</i> .....                                  | 12  |

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| 2.7 Desain dan Konstruksi Alat Kondensasi Asap .....  | 13        |
| <b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>               | <b>15</b> |
| 3.1 Waktu dan Tempat .....                            | 15        |
| 3.2 Alat dan Bahan .....                              | 15        |
| 3.3 Metode Penelitian .....                           | 15        |
| 3.3.1 Studi Literatur dan Observasi .....             | 17        |
| 3.3.2 Perancangan Desain Alat .....                   | 17        |
| 3.3.3 Pengumpulan Alat dan Bahan .....                | 17        |
| 3.3.4 Perakitan atau Pembuatan Alat .....             | 17        |
| 3.3.5 Pengujian Hasil Perancangan .....               | 17        |
| 3.3.6 Pengamatan dan Analisis Data .....              | 18        |
| 3.4 Kriteria Desain .....                             | 18        |
| 3.5 Rancangan Struktural .....                        | 18        |
| 3.5.1 Tabung Pirolisis .....                          | 19        |
| 3.5.2 Tutup Tabung dan Pipa Penghubung .....          | 20        |
| 3.5.3 Kaki Tabung Pirolisis .....                     | 21        |
| 3.5.4 Tabung Kondensasi .....                         | 21        |
| 3.5.5 Bak Penampung Air .....                         | 22        |
| 3.5.6 Tiang Penyangga .....                           | 22        |
| 3.5.7 Pompa Air .....                                 | 23        |
| 3.6 Rancangan Fungsional .....                        | 23        |
| 3.6.1 Tabung Pirolisis .....                          | 24        |
| 3.6.2 Pipa Penghubung dan <i>Pressure Gauge</i> ..... | 24        |
| 3.6.3 Kaki Tabung Pirolisis .....                     | 24        |
| 3.6.4 Tabung Kondensasi .....                         | 24        |
| 3.6.5 Bak Penampung Air .....                         | 24        |
| 3.6.6 Tiang Penyangga .....                           | 25        |
| 3.6.7 Pompa Air .....                                 | 25        |
| 3.7 Pembuatan Alat Kondensasi Asap .....              | 25        |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| 3.8 Mekanisme Kerja Alat .....                   | 26        |
| 3.9 Pengujian Alat.....                          | 27        |
| 3.9.1 Suhu .....                                 | 27        |
| 3.9.2 Massa dan Volume.....                      | 27        |
| 3.9.3 Lama Waktu Pembakaran .....                | 27        |
| 3.10 Analisis Teknis Alat.....                   | 28        |
| 3.10.1 Volume.....                               | 28        |
| 3.10.2 Debit Air .....                           | 28        |
| 3.10.3 Laju Perpindahan Panas .....              | 28        |
| 3.10.4 Efektivitas Alat .....                    | 29        |
| 3.10.5 Kapasitas Kerja Alat .....                | 29        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>             | <b>30</b> |
| 4.1 Alat Kondensasi Asap.....                    | 30        |
| 4.2 Desain Fungsional Alat Kondensasi Asap ..... | 31        |
| 4.3 Desain Struktural Alat Kondensasi Asap.....  | 32        |
| 4.3.1 Tabung Pirolisis .....                     | 32        |
| 4.3.2 Kaki Tabung .....                          | 33        |
| 4.3.3 Pipa Penghubung .....                      | 33        |
| 4.3.4 Tabung Kondensasi.....                     | 34        |
| 4.3.5 Tiang Penyangga.....                       | 35        |
| 4.4 Pengujian Alat Kondensasi Asap.....          | 35        |
| 4.4.1 Uji Coba.....                              | 36        |
| 4.4.3 Uji Kinerja Ke-1 .....                     | 36        |
| 4.4.4 Uji Kinerja Ke-2 .....                     | 38        |
| 4.4.5 Uji Kinerja Ke-3 .....                     | 40        |
| 4.5 Analisis Teknis Alat.....                    | 43        |
| 4.5.1 Volume.....                                | 43        |
| 4.5.2 Debit Air .....                            | 43        |
| 4.5.3 Laju Perpindahan Panas.....                | 43        |



|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 4.5.4 Efektivitas Alat .....         | 44        |
| 4.5.5 Kapasitas Kerja Alat .....     | 46        |
| 4.6 Pembahasan Umum .....            | 46        |
| <b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b> | <b>50</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                  | 50        |
| 5.2 Saran .....                      | 50        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>          | <b>51</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                 | <b>54</b> |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                                | Halaman |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. <i>Parallel flow</i> dan <i>counter flow</i> .....                 | 13      |
| 2. Diagram alir pembuatan alat kondensasi asap. ....                  | 16      |
| 3. Desain alat kondensasi asap. ....                                  | 19      |
| 4. Desain tabung pirolisis.....                                       | 20      |
| 5. Desain tutup tabung dan pipa penghubung. ....                      | 20      |
| 6. Desain kaki tabung pirolisis.....                                  | 21      |
| 7. Desain tabung kondensasi. ....                                     | 22      |
| 8. Desain bak penampung air. ....                                     | 22      |
| 9. Desain tiang penyangga. ....                                       | 23      |
| 10. Alat kondensasi asap .....                                        | 31      |
| 11. Tabung pirolisis.....                                             | 33      |
| 12. Kaki tabung .....                                                 | 33      |
| 13. Tutup tabung dan pipa penghubung.....                             | 34      |
| 14. Tabung kondensasi.....                                            | 34      |
| 15. Tiang Penyangga.....                                              | 35      |
| 16. Grafik perbandingan suhu tabung ketiga pengujian.....             | 42      |
| 17. Grafik perbandingan suhu air dan asap cair ketiga pengujian ..... | 42      |
| 18. Proyeksi alat kondensasi asap .....                               | 62      |
| 19. Proyeksi kaki tabung .....                                        | 63      |
| 20. Proyeksi tabung pirolisis .....                                   | 64      |
| 21. Proyeksi tutup tabung.....                                        | 65      |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 22. Proyeksi tabung kondensasi .....                   | 66 |
| 23. Proyeksi tiang penyangga .....                     | 67 |
| 24. Pemotongan pipa penghubung .....                   | 68 |
| 25. Pembentukan sudut pipa .....                       | 68 |
| 26. Pengelasan pipa penghubung .....                   | 69 |
| 27. Pemasangan pipa penghubung pada tutup tabung ..... | 69 |
| 28. Klem penjepit tabung pirolisis .....               | 70 |
| 29. Pompa air .....                                    | 70 |
| 30. Uji coba alat kondensasi asap .....                | 71 |
| 31. Uji kinerja alat kondensasi asap .....             | 71 |
| 32. Pengukuran suhu tabung .....                       | 72 |
| 33. Pengukuran suhu air kondensor .....                | 72 |
| 34. Pengukuran suhu asap cair .....                    | 73 |
| 35. Biomassa batok kelapa dalam tabung .....           | 73 |
| 36. Asap cair hasil kondensasi .....                   | 74 |
| 37. Arang hasil pirolisis .....                        | 74 |

## DAFTAR TABEL

| Tabel                                 | Halaman |
|---------------------------------------|---------|
| 1. Suhu pada Uji Kinerja Pertama..... | 37      |
| 2. Suhu pada Uji Kinerja Kedua .....  | 39      |
| 3. Suhu pada Uji Kinerja Ketiga ..... | 41      |
| 4. Laju Perpindahan Panas .....       | 44      |
| 5. Evaluasi Efektivitas Alat.....     | 46      |

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat besar sebagai sumber energi terbarukan, terutama dari limbah pertanian, kehutanan, dan industri kelapa sawit. Menurut penelitian, Indonesia menghasilkan sekitar 146 juta ton residu biomassa per tahun, yang dapat dikonversi menjadi bioenergi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Sukarni *et al.*, 2019). Sumber utama biomassa di Indonesia meliputi tandan kosong kelapa sawit, jerami padi, tongkol jagung, dan limbah kayu. Dengan strategi yang tepat, pemanfaatan biomassa dapat mendukung target bauran energi nasional dan mengurangi emisi karbon (Astuti *et al.*, 2021).

Provinsi Lampung sendiri memiliki potensi besar dalam pemanfaatan biomassa, dengan luas lahan perkebunan kelapa sawit mencapai ribuan hektar, serta produksi kelapa dan kayu yang melimpah. Pemanfaatan biomassa di Lampung melalui pirolisis dapat menjadi solusi untuk mengurangi limbah, meningkatkan nilai tambah produk, dan mendukung industri lokal (Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Lampung, 2023).

Salah satu metode pemanfaatan biomassa yang semakin berkembang adalah pirolisis. Pirolisis adalah proses pemanasan bahan organik pada suhu tinggi dengan sedikit atau tanpa oksigen. Pirolisis menghasilkan tiga produk utama yaitu, biochar (arang), gas, dan asap pirolisis. Asap hasil pirolisis mengandung berbagai senyawa volatil yang jika tidak dimanfaatkan dengan baik dapat mencemari udara. Namun, dengan proses



kondensasi yang tepat, asap ini dapat diubah menjadi asap cair (*liquid smoke*) yang memiliki berbagai manfaat industri (Anwar *et al.*, 2021).

Asap cair hanya dapat dihasilkan melalui proses pirolisis karena pada proses ini senyawa volatil dalam biomassa mengalami dekomposisi termal dan menghasilkan asap yang kaya akan senyawa organik seperti fenol, asam organik, dan karbonil. Proses ini berbeda dengan pembakaran biasa yang menghasilkan gas buang dan abu tanpa menyisakan senyawa volatil yang dapat dikondensasi. Oleh karena itu, metode pirolisis menjadi satu-satunya cara efektif untuk menghasilkan asap cair dari biomassa. Metode ini memiliki keuntungan karena dalam 1 kali proses dihasilkan 2 produk yaitu arang dan asap cair.

Asap cair merupakan hasil kondensasi dari asap pirolisis biomassa yang mengandung senyawa fenol, asam organik, dan karbonil, yang memiliki sifat antibakteri, anti-jamur, serta sebagai bahan pengawet alami. Asap cair memiliki banyak manfaat dalam berbagai sektor. manfaat asap cair diantaranya dapat digunakan sebagai pengawet alami untuk daging, ikan, dan hasil olahan makanan lainnya, sebagai pestisida dan fungisida alami untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman, sebagai bahan anti-rayap dan anti-jamur dalam pengolahan kayu, serta asap cair mengandung senyawa bioaktif yang dapat digunakan dalam berbagai produk kesehatan dan kecantikan.

Untuk memperoleh asap cair berkualitas tinggi dengan kuantitas optimal, diperlukan alat kondensasi yang efisien. Kondensasi merupakan proses perubahan fase dari gas ke cairan dengan mendinginkan asap hasil pirolisis. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah sistem *counter flow*, di mana asap dan media pendingin mengalir dalam arah berlawanan. Metode ini meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan mempercepat proses kondensasi, sehingga asap cair yang dihasilkan lebih banyak dan lebih berkualitas (Simanjuntak, 2023).

Dengan melihat potensi biomassa yang besar serta manfaat dari asap cair, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji alat kondensasi asap berbasis sistem *counter flow*. Alat ini akan diuji pada proses pirolisis guna mengevaluasi efektivitasnya

dalam mengubah asap menjadi asap cair serta menganalisis parameter yang mempengaruhi efisiensi kondensasi. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan solusi yang lebih efisien dalam pengolahan asap pirolisis menjadi produk bernilai ekonomis tinggi.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membangun alat kondensasi asap dengan sistem *counter flow*?
2. Bagaimana keefektifan alat ini dalam mengubah asap menjadi asap cair?
3. Apakah alat kondensasi asap ini mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan menambah nilai ekonomis?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun alat kondensasi asap berbasis sistem *counter flow*.
2. Menguji efektivitas alat dalam mengubah asap menjadi asap cair.
3. Menghasilkan alat yang mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan menambah nilai ekonomis.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan efisiensi dengan pemanfaatan asap cair.
2. Mengurangi dampak pencemaran lingkungan akibat asap yang terbuang.
3. Memberikan alternatif pengolahan biomassa yang lebih modern dan efektif.

### **1.5 Hipotesis**

Hipotesis pada penelitian ini adalah:

1. Penggunaan alat kondensasi asap dengan sistem *counter flow* dapat meningkatkan efektivitas proses kondensasi asap menjadi asap cair.

2. Penggunaan alat kondensasi asap mampu mengurangi pencemaran lingkungan.
3. Penggunaan alat kondensasi asap dapat meningkatkan nilai ekonomis efisiensi dibanding dengan pengolahan biomassa konvensional.

### **1.6 Batasan Masalah**

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Alat kondensasi dirancang menggunakan sistem *counter flow*.
2. Fokus penelitian pada efektivitas kondensasi asap menjadi asap cair, bukan pada analisis kimia asap cair yang dihasilkan.
3. Diameter pipa jalur asap 2 inci, tabung kondensasi 4 inci dengan Panjang 1,5 meter.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Kondensasi**

Kondensasi merupakan proses perubahan fase dari gas menjadi cair akibat pelepasan energi panas. Fenomena ini terjadi ketika suhu gas turun hingga mencapai titik embunnya, sehingga molekul-molekul gas kehilangan energi kinetik dan mulai saling berikatan membentuk cairan. Proses ini dapat terjadi dalam berbagai bidang, termasuk siklus air di alam, meteorologi, serta industri (Merazhov, 2025).

Dalam kehidupan sehari-hari, kondensasi dapat ditemukan dalam berbagai aplikasi. Salah satu contohnya adalah sistem pendingin seperti AC dan kulkas yang menggunakan gas refrigeran untuk menyerap dan melepaskan panas melalui proses kondensasi. Selain itu, industri kimia juga memanfaatkan kondensasi dalam teknik distilasi untuk memisahkan zat berdasarkan perbedaan titik didihnya (Guo *et al.*, 2024). Dalam sistem pembangkit listrik tenaga uap, kondensasi berperan dalam siklus Rankine, dimana uap air yang telah digunakan dikondensasikan kembali menjadi cairan agar dapat digunakan ulang (Vinogradov *et al.*, 2025).

#### **2.1.1 Mekanisme Perubahan Fase Gas Menjadi Cair**

Proses perubahan fase dari gas ke cair dalam kondensasi berkaitan erat dengan perpindahan panas dan tekanan dalam suatu sistem. Kondensasi terjadi ketika suhu gas menurun hingga mencapai titik embunnya, menyebabkan molekul gas kehilangan energi kinetik dan berubah menjadi cairan. Proses ini diawali dengan pendinginan gas, yang diikuti oleh pembentukan nukleasi atau titik-titik kecil cairan yang

kemudian menyatu dan membentuk tetesan yang lebih besar (Alagumalai *et al.*, 2025).

### **2.1.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Kondensasi**

Efektivitas suatu proses kondensasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya suhu, tekanan, laju aliran fluida, jenis permukaan kondensasi, serta keberadaan zat pengotor. Salah satu faktor utama dalam proses kondensasi adalah suhu. Perbedaan suhu antara gas dan permukaan kondensasi sangat berpengaruh terhadap efisiensi kondensasi. Semakin besar perbedaan suhu, semakin cepat molekul gas kehilangan energi dan berubah menjadi cairan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi kondensasi dapat dicapai dengan menjaga perbedaan suhu yang optimal antara gas dan permukaan pendingin (Han *et al.*, 2025).

Selain suhu, tekanan juga memegang peranan penting dalam menentukan efisiensi kondensasi. Tekanan tinggi dapat meningkatkan kepadatan molekul gas, sehingga mempercepat proses perubahan fase menjadi cair. Namun, tekanan yang terlalu tinggi juga dapat meningkatkan titik embun gas, yang berarti dibutuhkan suhu yang lebih rendah untuk memulai proses kondensasi (Gupta *et al.*, 2024).

Faktor lain yang turut mempengaruhi kondensasi adalah laju aliran fluida. Ketika gas bergerak terlalu cepat, waktu kontak antara gas dan permukaan pendingin menjadi lebih singkat, sehingga menurunkan efisiensi perpindahan panas. Namun, dalam beberapa sistem industri, laju aliran yang tinggi justru membantu menghindari akumulasi cairan yang dapat menghambat kinerja sistem.

Selain itu, jenis permukaan kondensasi juga menentukan efektivitas proses ini. Material dengan konduktivitas termal tinggi, seperti tembaga atau aluminium, lebih efektif dalam menghantarkan panas dan mempercepat perubahan fase gas menjadi cair. Permukaan yang kasar atau berpori juga dapat meningkatkan jumlah titik-titik nukleasi, sehingga mempercepat pembentukan tetesan cairan (Luo *et al.*, 2025).

Keberadaan zat pengotor dalam gas juga dapat berdampak negatif pada efisiensi kondensasi. Partikel debu atau gas non-kondensabel, seperti nitrogen, dapat membentuk lapisan penghalang yang menghambat perpindahan panas antara gas dan permukaan pendingin. Sistem kondensasi yang beroperasi dalam kondisi tercemar mengalami penurunan efisiensi yang signifikan (Barta *et al.*, 2024).

## **2.2 Karakteristik dan Komposisi Asap**

Asap merupakan hasil dari proses pembakaran yang menghasilkan campuran gas dan partikel padat yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Sumber utama asap berasal dari pembakaran biomassa, aktivitas industri, dan transportasi. Pembakaran biomassa seperti briket yang terbuat dari batubara dan jerami padi menghasilkan gas buang yang mengandung karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), serta partikel halus (PM). Selain itu, komposisi dan ukuran bahan baku yang digunakan dalam pembakaran turut mempengaruhi karakteristik asap yang dihasilkan (Sudiro, 2014).

Dunia industri juga berkontribusi terhadap emisi polutan di udara. Penelitian mengungkap bahwa industri penyulingan kayu putih dan kayu jati menghasilkan asap yang mengandung senyawa volatil seperti fenol dan asam asetat. Senyawa ini memiliki potensi sebagai antibakteri, tetapi jika tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan (Suryani *et al.*, 2020).

Untuk mengurangi dampak negatif dari asap, berbagai metode pengolahan telah dikembangkan. Menemukan bahwa proses pirolisis biomassa dapat menghasilkan asap cair yang mengandung senyawa organik seperti asam asetat dan fenol, yang dapat digunakan sebagai pengawet alami serta pestisida organik (Ridhuan *et al.*, 2019).

Pemanfaatan asap cair juga telah diterapkan dalam industri makanan. Mengidentifikasi bahwa hasil kondensasi asap dari pembakaran biomassa dapat diolah menjadi cuka kayu yang memiliki berbagai manfaat, seperti bahan pengawet makanan dan pupuk organik. Oleh karena itu, dengan penerapan teknologi yang tepat, dampak polusi akibat

asap dapat diminimalisir, serta hasil sampingannya dapat dimanfaatkan secara lebih optimal untuk keperluan industri dan lingkungan (Iskandar dan Nugroho, 2019)

### 2.3 Pirolisis

Pada proses pembakaran pirolisis, terdapat beberapa tahapan utama, yaitu fase pengeringan yang berlangsung pada suhu sekitar 200°C, fase pirolisis yang terjadi pada suhu 200–500°C, dan fase evolusi gas yang terjadi pada suhu antara 500–700°C. Berdasarkan penelitian (Setiawan, 2016), karakteristik proses pirolisis campuran ditampilkan melalui tiga grafik utama, yaitu massa, laju penurunan massa, dan suhu. Tahapan pertama, yaitu pengeringan, ditandai dengan penurunan massa yang berlangsung secara perlahan. Tahapan kedua adalah devolatilisasi, di mana terjadi penurunan massa dengan sangat cepat. Tahapan ketiga, karbonisasi, menunjukkan penurunan massa yang kembali melambat.

Hasil utama dari proses pirolisis meliputi arang (*char*), asap cair (*bio-oil*), dan gas. Arang yang dihasilkan memiliki nilai kalor tinggi dan dapat digunakan sebagai bahan bakar atau diolah menjadi karbon aktif. Asap cair yang dihasilkan memiliki berbagai manfaat, seperti menjadi bahan tambahan atau pengawet untuk makanan atau produk tertentu. Sementara itu, gas yang dihasilkan dapat dibakar langsung untuk menghasilkan energi. Gas yang terbentuk selama pirolisis terbagi menjadi gas yang tidak dapat dikondensasi, seperti CO, CO<sup>2</sup>, dan CH<sup>2</sup>, serta gas yang dapat dikondensasi, seperti tar. Minyak atau bio-oil terbentuk melalui proses kondensasi gas tersebut.

Proses pembuatan asap cair dilakukan melalui pirolisis dan distilasi. Pirolisis adalah proses pemanasan material dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas, sehingga menguraikan komponen-komponen utama bahan organik, terutama kayu keras. Energi panas yang digunakan memicu oksidasi yang menyebabkan sebagian besar molekul karbon kompleks terurai menjadi arang atau karbon. Distilasi, di sisi lain, adalah metode pemisahan larutan menggunakan panas sebagai agen pemisah (Yaman, 2004). Proses pirolisis umumnya menggunakan biomassa dari berbagai jenis tanaman. Biomassa merupakan material biologis yang berasal dari organisme hidup dan tersusun



atas karbon serta campuran senyawa kimia organik seperti hidrogen, nitrogen, dan oksigen, dengan sejumlah kecil elemen lain. Setiap jenis biomassa memiliki karakteristik unik tergantung pada jenis dan bentuknya. Misalnya, sekam padi memiliki butiran kecil, tekstur agak keras, dan kadar air rendah; bambu memiliki tekstur keras, bentuk panjang, dan kadar air sedikit; sementara kulit durian memiliki butiran besar, tekstur lunak, dan kadar air tinggi. Jenis biomassa yang digunakan dalam pirolisis akan mempengaruhi karakteristik asap cair yang dihasilkan. Berdasarkan Guillen, komposisi kimia asap cair yang dihasilkan akan berbeda tergantung pada bahan baku yang digunakan. Proses pirolisis dapat dibedakan menjadi empat tipe, yaitu:

#### 1. Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*)

Pirolisis jenis ini dilakukan dengan pemanasan yang relatif lambat, yaitu sekitar 5-7 °C/menit. Hasil utama dari pirolisis lambat ini adalah arang dan gas, dengan jumlah cairan yang dihasilkan cenderung lebih sedikit.

#### 2. Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolysis*)

Pirolisis cepat dilakukan dengan pemanasan dalam waktu singkat, antara 0,5 hingga 2 detik, pada suhu antara 400-600°C, diikuti dengan proses pemadaman cepat. Pemadaman cepat ini penting untuk mencegah terjadinya konversi produk menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan metode ini, produk minyak pirolisis yang dihasilkan bisa mencapai 75% lebih banyak dibandingkan dengan pirolisis konvensional.

#### 3. Pirolisis Kilat (*Flash Pyrolysis*)

Proses ini berlangsung hanya dalam beberapa detik dengan pemanasan yang sangat tinggi. Pirolisis kilat pada biomassa membutuhkan pemanasan yang cepat dan bahan dengan ukuran partikel kecil, sekitar 105-250 µm.

#### 4. Pirolisis Katalitik Biomassa

Pirolisis ini digunakan untuk menghasilkan minyak dengan kualitas yang lebih baik. Proses ini tidak memerlukan teknik pra-pengolahan yang mahal, seperti kondensasi

atau penguapan kembali, sehingga lebih efisien untuk menghasilkan produk minyak pirolisis yang berkualitas tinggi. (Ridhuan *et al.*, 2019)

## **2.4 Asap Cair**

Asap adalah suatu sistem yang kompleks yang terdiri dari dua fase, yaitu fase cair yang terdispersi dan medium gas sebagai pendispersinya. Asap cair merupakan campuran larutan dan dispersi koloid yang berasal dari uap kayu yang terperangkap dalam air, yang dihasilkan melalui proses pirolisis kayu atau melalui pencampuran senyawa murni. (Kilinc dan Cakh, 2012), menjelaskan bahwa penggunaan asap cair semakin populer, terutama sebagai bahan pengawet untuk produk pangan serta sebagai biopestisida yang dapat meningkatkan hasil pertanian. (Isamu, 2012) juga mengungkapkan bahwa salah satu penelitian yang sering dilakukan adalah pengawetan ikan tuna dengan metode pengasapan. Asap cair yang dihasilkan dari pirolisis bahan seperti janjang kelapa dan tempurung kelapa dapat dimanfaatkan sebagai pengawet, insektisida, dan dalam industri farmasi, memberikan manfaat besar bagi kehidupan manusia.

Proses pembakaran bahan yang kaya akan selulosa, hemiselulosa, dan lignin menghasilkan senyawa-senyawa fenol, asam, serta turunannya. Bahan baku yang umum digunakan untuk menghasilkan asap cair antara lain tempurung dan sabut kelapa, sampah organik, cangkang kopi, bambu, serta merang padi. Karakteristik asap cair dipengaruhi oleh komponen utama seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin, dengan proporsi yang bervariasi tergantung pada jenis bahan yang dipirolisis.

## **2.5 Kalor dan Perpindahan Kalor**

Perpindahan kalor adalah proses transfer energi dalam bentuk panas dari suatu benda atau sistem ke benda atau sistem lain yang memiliki suhu lebih rendah. Fenomena ini terjadi karena adanya perbedaan suhu, di mana kalor selalu mengalir dari daerah bersuhu tinggi menuju daerah bersuhu rendah hingga mencapai keseimbangan termal. Pemahaman terhadap mekanisme perpindahan kalor sangat penting, terutama dalam

desain alat yang memanfaatkan energi panas, seperti alat pengasap ikan (Holman, 2010).

Terdapat tiga mekanisme utama perpindahan kalor, yaitu:

### 1. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor melalui medium padat tanpa adanya perpindahan massa partikel. Kalor mengalir melalui getaran molekul atau perpindahan energi antar partikel yang saling berdekatan. Dalam konteks alat pirolisis, konduksi terjadi pada bagian dinding alat atau permukaan rak pengasapan yang bersentuhan langsung dengan sumber panas. Efisiensi perpindahan kalor melalui konduksi dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, seperti logam dengan konduktivitas termal tinggi (Holman, 2010).

### 2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor melalui fluida (baik gas maupun cairan) yang melibatkan perpindahan massa. Dalam alat pirolisis, konveksi terjadi ketika udara panas dari sumber pembakaran bergerak menyebar ke seluruh tabung. Gerakan fluida ini bisa berupa konveksi alami, yang disebabkan oleh perbedaan densitas udara panas dan dingin, atau konveksi paksa, yang diperoleh melalui penggunaan kipas atau sistem ventilasi. Konveksi sangat penting untuk memastikan bahwa panas dan asap tersebar merata sehingga ikan dapat diasap dengan sempurna (Nurhasanah *et al.*, 2019).

### 3. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan kalor melalui gelombang elektromagnetik, yang tidak memerlukan medium untuk mengalirkan energi panas. Dalam pengasapan ikan, radiasi dapat terjadi secara langsung dari sumber api atau elemen pemanas ke permukaan ikan. Radiasi memungkinkan transfer energi yang cepat, terutama pada permukaan bahan, tanpa perlu melalui medium padat atau fluida. Efisiensi perpindahan kalor melalui radiasi dipengaruhi oleh suhu sumber panas dan sifat permukaan bahan yang menerima kalor (Wijaya *et al.*, 2021).

Ketiga mekanisme ini sering bekerja secara simultan dalam proses pemanasan. Pemahaman mendalam tentang mekanisme ini menjadi dasar untuk merancang alat kondensasi asap yang tidak hanya efisien dalam penggunaan energi, tetapi juga menghasilkan produk dengan kualitas yang baik.

## **2.6 Heat Exchanger**

Kondensasi adalah proses pelepasan kalor dari suatu sistem yang mengakibatkan uap (*vapor*) berubah menjadi cairan (*liquid*). Perubahan gas menjadi cair dapat dilakukan dengan cara meningkatkan tekanan atau menurunkan suhu. Fenomena kondensasi ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu kondensasi film (*filmwise condensation*) dan kondensasi tetesan (*dropwise condensation*) (Mafruddin *et al.*, 2017).

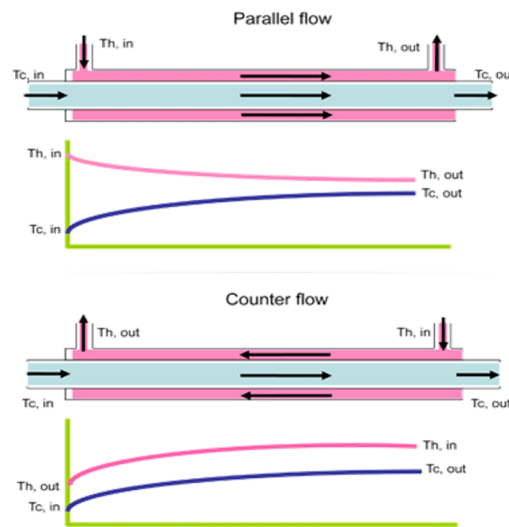
Kondensor merupakan alat yang digunakan sebagai penukar panas antara dua fluida, di mana fluida panas dan dingin dipisahkan sehingga tidak bercampur. Berdasarkan arah aliran fluida kerja, kondensor (*heat exchanger*) dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe yaitu aliran paralel atau searah (*cocurrent*), aliran berlawanan (*countercurrent*), dan aliran silang (*crossflow*) (Yunus dan Michael, 2003).

Proses perpindahan panas pada heat exchanger didefinisikan sebagai mekanisme perpindahan energi panas dari satu area ke area lain yang disebabkan oleh perbedaan suhu di antara area tersebut. Jenis-jenis perpindahan panas meliputi konduksi, konveksi, dan radiasi (Holman, 1997).

Pada aliran berlawanan (*counter flow*), fluida panas dan fluida dingin memasuki penukar panas dari sisi yang berlawanan, mengalir dalam arah yang berlawanan, dan keluar pada sisi yang berbeda. Sedangkan, *parallel flow* atau aliran searah adalah jenis aliran pada penukar panas di mana fluida panas dan fluida dingin mengalir ke arah yang sama. Keduanya masuk ke penukar panas dari sisi yang sama dan bergerak sejajar hingga keluar di sisi lainnya (Yunus dan Michael, 2003).

Dari segi efisiensi, *counter flow* lebih efektif karena perbedaan suhu antara kedua fluida tetap tinggi sepanjang jalur, sehingga perpindahan panas berlangsung lebih optimal.

Sementara itu, pada *parallel flow*, perbedaan suhu antara fluida panas dan dingin cenderung menurun seiring perjalanan aliran, sehingga transfer panas kurang maksimal. Selain itu, suhu akhir fluida dingin dalam *counter flow* dapat mendekati suhu awal fluida panas, menjadikannya lebih efisien untuk kebutuhan pemanasan atau pendinginan yang signifikan. Sebaliknya, suhu akhir fluida dingin dalam *parallel flow* umumnya tidak dapat mencapai suhu mendekati fluida panas. *Counter flow* sering digunakan pada sistem yang membutuhkan efisiensi tinggi, sedangkan *parallel flow* lebih cocok untuk aplikasi dengan desain sederhana atau perubahan suhu yang tidak terlalu besar.



Gambar 1. *Parallel flow* dan *counter flow*.

Sumber: <https://sl.bing.net/iileMyJe6oK>

## 2.7 Desain dan Konstruksi Alat Kondensasi Asap

Alat kondensasi asap berfungsi untuk menangkap dan mengolah asap hasil pembakaran agar dapat dimanfaatkan kembali atau dikurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Desain alat ini melibatkan beberapa komponen utama, seperti kondensor, pipa penghubung, ventilasi, dan sistem pendingin. Menurut penelitian Cahyono, alat ini dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi dalam menangkap partikel asap dan mengubahnya menjadi cairan yang dapat dimanfaatkan (Cahyono, 2022).

Dalam memilih material kondensor dan sistem isolasi termal, diperlukan bahan yang tahan terhadap suhu tinggi dan tidak bereaksi dengan zat kimia dalam asap. Baja tahan karat (*stainless steel*) sering digunakan sebagai material kondensor karena memiliki daya tahan tinggi terhadap korosi dan mampu mempertahankan kestabilan termal. Selain itu, penggunaan material isolasi seperti fiberglass dan keramik dapat meningkatkan efisiensi proses kondensasi dengan mempertahankan suhu yang stabil selama proses berlangsung (Setyanto *et al.*, 2012).

Teknologi pendukung dalam desain alat kondensasi asap juga sangat berperan dalam meningkatkan efektivitasnya. Dalam penelitian dapat mengembangkan model alat kondensasi asap dengan bantuan perangkat lunak desain untuk mensimulasikan aliran asap dan optimasi struktur alat (Afrah *et al.*, 2020). Sementara itu, teknologi lain dapat menekankan pada pentingnya sistem pendingin berbasis air yang dapat mempercepat proses kondensasi dan meningkatkan hasil ekstraksi cairan dari asap (Maskromo, 2016).

Dengan adanya perkembangan dalam desain dan teknologi alat kondensasi asap, efisiensi proses produksi asap cair dapat ditingkatkan. Inovasi dalam pemilihan material dan penerapan teknologi terkini memungkinkan alat ini digunakan secara lebih luas dalam berbagai industri, termasuk industri makanan, pengolahan kayu, dan produksi bioenergi.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

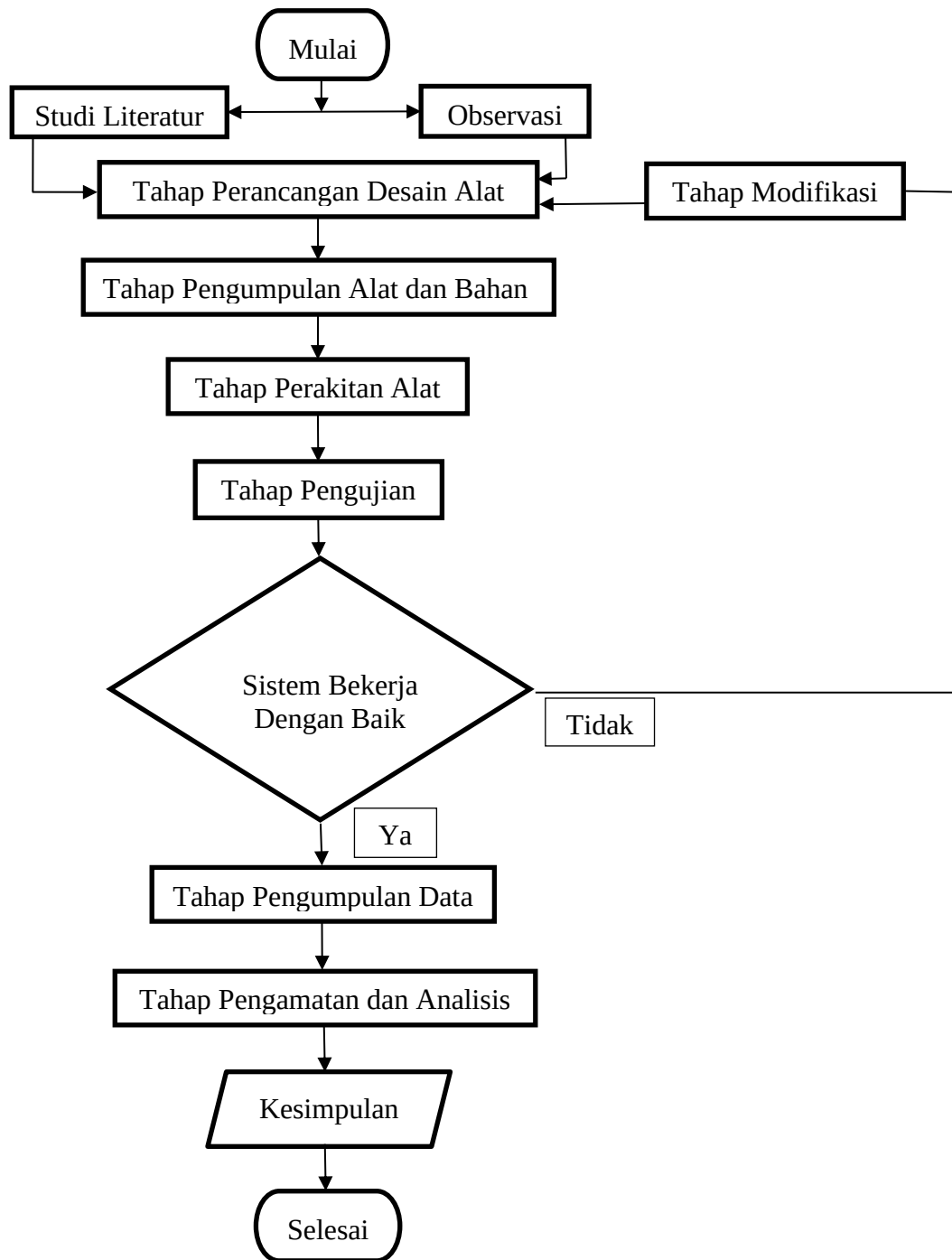
Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2025 sampai dengan Juli 2025 di Laboratorium Daya Alat dan Mesin Pertanian (LDAMP) Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah meja kerja, plat besi, kawat las, terminal, alat tulis, gerinda, mata gerinda, engsel kawat, besi, spidol, plat alumunium, stopwatch, lap, kawat, tang, pipa galvanis 3/4", meteran, palu besi, pompa air, bak air, besi siku, klem penjepit, dan tempurung kelapa.

#### **3.3 Metode Penelitian**

Metode penelitian ini mencakup beberapa tahapan dalam proses penelitian ini. Tahapan ini dimulai dari tahap studi literatur dan observasi, tahap perancangan desain alat dengan menggunakan bantuan program AutoCAD, tahap pengumpulan alat dan bahan, tahap perakitan atau pembuatan alat yang dilakukan di Laboratorium Daya Alat Mesin Pertanian, tahap pengujian hasil perancangan, tahap pengamatan, tahap analisis data dan kesimpulan. Tahapan penelitian ini dapat digambarkan dengan menggunakan diagram alir penelitian yang ada di bawah ini.



Gambar 2. Diagram alir pembuatan alat kondensasi asap.



### **3.3.1 Studi Literatur dan Observasi**

Pada tahapan awal dilakukan studi literatur terlebih dahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dijalankan mulai dari desain, komponen, bahan-bahan dan juga dimensi. Studi literatur yang digunakan yaitu bersumber dari buku, jurnal dan juga web yang memiliki muatan materi tentang alat kondensasi asap, dan metode kondensasi untuk menghasilkan asap cair. Tahap selanjutnya yaitu membandingkan data dari studi literatur dengan pengamatan yang dilakukan agar mendapatkan informasi yang diharapkan dan bisa dijadikan sebagai landasan atau pedoman dalam merencanakan pembuatan alat kondensasi asap dan dapat menghasilkan asap cair.

### **3.3.2 Perancangan Desain Alat**

Tahap perancangan dilakukan dengan menggunakan bantuan program AutoCAD. Perancangan ini didasari dari hasil studi literatur dan observasi sehingga terkait dengan desain, dimensi, karakteristik dari alat kondensasi dapat dibuat serinci mungkin.

### **3.3.3 Pengumpulan Alat dan Bahan**

Kemudian dilakukan pemilihan bahan yang dibutuhkan untuk membuat alat, dimana komponen-komponen tersebut memiliki kualitas yang baik, sesuai kriteria desain, dan harga yang sesuai.

### **3.3.4 Perakitan atau Pembuatan Alat**

Tahap pembuatan alat ini didasari oleh desain, dimensi dan kebutuhan alat yang diperlukan. Setelah semua dipersiapkan maka dilakukan pembuatan alat. Selanjutnya alat siap untuk dilakukan pengujian.

### **3.3.5 Pengujian Hasil Perancangan**

Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali ulangan dengan karakteristik bahan bakar sama. Tujuan dari pengujian ini untuk melihat kinerja dari alat yang dibuat dan hasilnya akan dibandingkan dengan perancangan awal apakah sesuai atau tidak.

### **3.3.6 Pengamatan Dan Analisis Data**

Saat pengujian hasil perancangan dilakukan juga pengamatan sekaligus analisis data. Data hasil pengamatan ditulis dan dibuat laporan agar dapat menjadi pedoman nantinya apakah alat hasil perancangan ini sudah sesuai yang diharapkan atau belum.

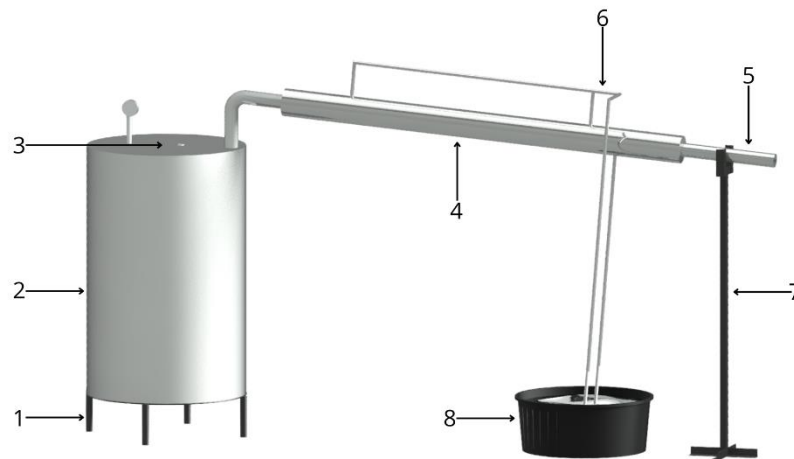
### **3.4 Kriteria Desain**

Dalam merancang alat kondensasi asap, salah satu aspek yang perlu diperhatikan adalah sistem pendinginannya. Sistem pendinginan yang baik berguna agar perpindahan panas tinggi dan stabil sehingga asap dapat terkondensasi dengan optimal. Sistem pendingin yang digunakan menggunakan sistem *counter flow*. Diharapkan sistem ini dapat mengondensasi asap dengan optimal sehingga menghasilkan asap cair yang melimpah sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan nilai ekonomis.

### **3.5 Rancangan Struktural**

Dalam perancangan struktural perlu dilakukan beberapa tahapan. Yaitu, perancangan sistem kerja, perancangan bentuk, penentuan dimensi, dan penentuan bahan yang sangat menunjang dalam proses pembuatan alat. Alat kondensasi asap ini memiliki beberapa bagian utama. Seperti, tabung pirolisis, pipa penghubung, tabung kondensasi, pipa kondensasi, dan penampung air.

Asap yang dihasilkan dari tabung pirolisis dialirkan melalui pipa penghubung dengan ukuran 2 inci menuju tabung kondensasi. Tabung kondensasi memiliki ukuran 4 inci yang terus dialiri oleh air mengalir yang di pompa dari bak penampung menuju tabung kondensasi untuk mengkondensasi asap.



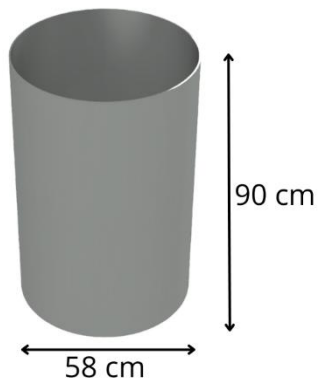
Gambar 3. Desain alat kondensasi asap.

Keterangan:

1. Kaki tabung pirolisis
2. Tabung pirolisis
3. Tutup tabung dan pipa penghubung
4. Tabung kondensasi
5. Pipa jalur asap
6. Pipa jalur air
7. Tiang penyangga
8. Bak penampung air

### 3.5.1 Tabung Pirolisis

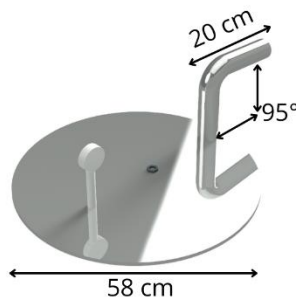
Tabung pirolisis adalah tempat dilakukannya proses pemanasan biomassa. Tabung ini berbentuk ruang tertutup. Tabung pirolisis ini memiliki dimensi yaitu tinggi 90 cm dan diameter 58 cm. tabung ini memiliki penutup di bagian atas.



Gambar 4. Desain tabung pirolisis.

### 3.5.2 Tutup Tabung dan Pipa Penghubung

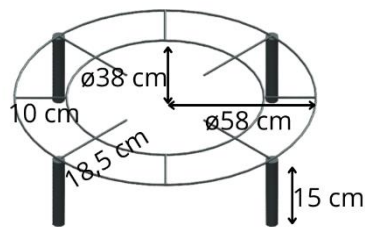
Tutup tabung pirolisis memiliki diameter yang sama dengan tabung pirolisis yaitu sebesar 58 cm. tutup ini memiliki beberapa bagian komponen yang terpasang. Pada bagian sisinya dilengkapi dengan *pressure gauge* yang berfungsi untuk melihat tekanan pada tabung. Selain itu dilengkapi juga dengan pipa penghubung yang tidak hanya berfungsi sebagai corong pembuangan asap dari tabung pirolisis melainkan sebagai penyalur asap dari tabung pirolisis menuju pipa kondensasi. Pipa penghubung ini memiliki ukuran 2 inci hingga sudut  $95^\circ$ . Pipa ini memiliki panjang 20 cm di kedua sisinya.



Gambar 5. Desain tutup tabung dan pipa penghubung.

### 3.5.3 Kaki Tabung Pirolisis

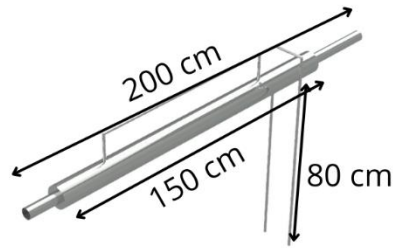
Kaki tabung pirolisis berfungsi sebagai penahan tabung sekaligus memberi jarak untuk sumber panas. kaki ini dibuat dengan pipa besi berdiameter 1 inci dengan panjang 15 cm. kaki ini berjumlah 4 buah yang terletak di alas tabung pirolisis. Diameter besi lingkaran luar 58 cm dan diameter besi lingkaran dalam 38 cm yang di hubungkan dengan 4 besi sepanjang 10 cm. Besi penguat di tambahkan sebanyak 4 besi dengan panjang 18,5 cm



Gambar 6. Desain kaki tabung pirolisis.

### 3.5.4 Tabung Kondensasi

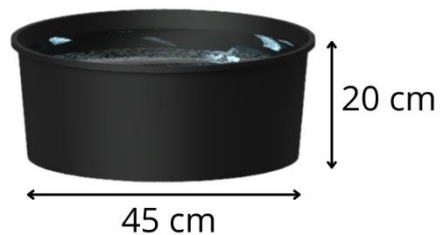
Tabung kondensasi ini berfungsi untuk mengkondensasi asap yang di salurkan dari tabung pirolisis melalui pipa penghubung. Tabung kondensasi memiliki 2 bagian utama yang berukuran 2 inci dan 4 inci. Pipa yang berukuran 2 inci berfungsi sebagai jalur asap dengan panjang 200 cm, sedangkan tabung yang berukuran 4 inci berfungsi sebagai tabung kondensasi dengan panjang 150 cm. Pada tabung ini juga dihubungkan dengan pipa jalur masuk dan jalur keluar air dengan ukuran  $\frac{1}{2}$  inci. Jalur masuk air dihubungkan dengan sisi kanan bagian bawah pipa dan jalur keluar air dihubungkan pada sisi kiri bagian atas pipa. Jalur masuk dan keluarnya air dihubungkan pada bak penampung dengan bantuan pompa air.



Gambar 7. Desain tabung kondensasi.

### 3.5.5 Bak Penampung Air

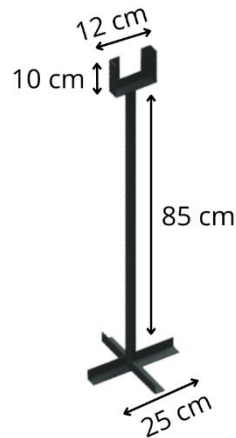
Bak penampung berfungsi sebagai tempat penampungan air yang digunakan untuk mendinginkan asap agar terkondensasi. Ukuran dari bak penampung ini adalah sekitar  $35.343 \text{ cm}^3$  atau sekitar 35 liter. Diameter dari bak ini adalah 30 cm dengan tinggi 50 cm.



Gambar 8. Desain bak penampung air.

### 3.5.6 Tiang Penyangga

Tiang penyangga digunakan untuk menyangga tabung kondensasi agar tidak jatuh ataupun miring. tiang ini diletakan di sisi sebelah kanan tabung kondensasi. di sisi kiri tidak diberi penyangga karena terhubung dengan pipa dari drum dan diberi klem. tiang penyangga terbuat dari besi siku berukuran  $3 \times 3 \text{ cm}$  dengan ukuran tinggi 10 cm dan lebar 12 cm pada bagian atas. tinggi tiang adalah 85 cm dengan alas 25 cm.



Gambar 9. Desain tiang penyangga.

### 3.5.7 Pompa Air

Pompa air digunakan untuk mendistribusikan air dari bak penampung menuju pipa kondensasi. Hal ini bertujuan untuk menjaga suhu dalam ruang kondensasi tetap terjaga sehingga asap dapat terkondensasi secara optimal. Pompa air yang digunakan adalah pompa akuarium dengan tegangan 12 volt dan daya 30 watt.

### 3.6 Rancangan Fungsional

Alat kondensasi asap ini berfungsi untuk mengurangi polusi akibat dari asap yang dihasilkan selama proses pirolisis. Asap ini akan diubah wujudnya menjadi asap cair yang dapat diolah kembali menjadi bahan yang lebih berguna atau memiliki nilai ekonomis lebih. Alat kondensasi asap ini memiliki bagian-bagian serta fungsinya masing-masing. Bagian-bagian tersebut antara lain tabung pirolisis, pipa penghubung, tabung kondensasi, dan penampung air. Rancangan fungsional ditujukan untuk memperhitungkan bahan yang digunakan dengan memperhatikan fungsi dari alat sehingga dapat kompatibel dengan alat yang dibuat.

### **3.6.1 Tabung Pirolisis**

Tabung pirolisis adalah salah satu bagian yang penting pada alat ini. Tabung pirolisis berfungsi sebagai tempat penampungan biomassa. Bagian ini memiliki beberapa komponen yang terpasang seperti penutup tabung, termometer, kaki tabung, dan pipa penghubung.

### **3.6.2 Pipa Penghubung dan *Pressure Gauge***

Pipa penghubung dan *pressure gauge* terletak pada bagian penutup atas tabung pirolisis. Pipa penghubung sendiri berfungsi sebagai corong pembuangan asap dari tabung pirolisis serta sebagai penyalur asap untuk dialirkan ke tabung kondensasi. Sedangkan, *Pressure gauge* berfungsi sebagai pengukur tekanan yang terjadi dalam tabung pirolisis.

### **3.6.3 Kaki Tabung Pirolisis**

Kaki tabung adalah komponen yang dipasangkan pada bagian bawah tabung pirolisis. Tujuan pemasangan kaki ini adalah untuk menyangga tabung dan memberi ruang untuk pemanas.

### **3.6.4 Tabung Kondensasi**

Tabung kondensasi merupakan salah satu komponen utama selain tabung pirolisis. Tabung kondensasi terhubung dengan tabung pirolisis dengan bantuan pipa penghubung. Fungsi dari tabung kondensasi adalah untuk mengkondensasi asap dari tabung pirolisis. Tabung ini berguna untuk menurunkan dan menjaga suhu asap yang dialirkan agar berubah wujud menjadi cair.

### **3.6.5 Bak Penampung Air**

Bak penampung air berfungsi untuk menampung air sirkulasi. Bak penampung ini terhubung dengan tabung kondensasi dengan bantuan pompa air. Air dari bak dipompa menuju tabung kondensasi untuk disirkulasikan secara terus menerus. Tujuannya untuk menjaga suhu dalam tabung kondensasi tetap stabil.



### 3.6.6 Tiang Penyangga

Tiang penyangga digunakan untuk menyangga tabung kondensasi agar tidak jatuh ataupun miring. tiang ini diletakan di sisi sebelah kanan tabung kondensasi. di sisi kiri tidak diberi penyangga karena terhubung dengan pipa dari drum dan diberi klem.

### 3.6.7 Pompa Air

Pompa air digunakan untuk mendistribusikan air dari bak penampung menuju pipa kondensasi. Hal ini bertujuan untuk menjaga suhu dalam ruang kondensasi tetap terjaga sehingga asap dapat terkondensasi secara optimal.

## 3.7 Pembuatan Alat Kondensasi Asap

Pembuatan alat kondensasi asap dilakukan di Laboratorium Daya Alat Mesin Pertanian (LDAMP), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Sebelum dilakukan pembuatan perlu disiapkan terlebih dahulu alat dan bahan yang ingin digunakan. Bahan-bahan yang diperlukan adalah tabung pirolisis, besi siku, plat alumunium, pipa galvanis 2 inci, pipa *hollow* ½ inci, bak penampung, dan pompa air.

Setelah tabung pirolisis siap, dilakukan pembuatan tabung kondensasi. Tabung kondensasi menggunakan bahan dari plat aluminium. Tujuannya adalah agar perpindahan panas yang terjadi dapat maksimal. Karena dibanding bahan lain yang biasa ditemui di pasaran seperti seng, *stainless steel*, besi, ataupun galvanis, alumunium adalah bahan yang memiliki konduktivitas termal paling tinggi. Pertama bagian yang dibuat adalah jalur asap yang terhubung dengan pipa penghubung. Lembaran plat dengan panjang 200 cm ditekuk hingga membentuk pipa dengan ukuran 2 inci. Kemudian dipatri agar rapat dan kokoh.

Selanjutnya adalah pembuatan tabung yang menyelimuti pipa jalur asap. Plat dengan panjang 150 cm ditekuk hingga berbentuk pipa dengan ukuran 4 inci kemudian dipatri. Masukkan pipa 2 inci yang telah dibuat kedalam pipa 4 inci. Lalu dibuat penutup tabung dengan diameter 10,16 cm dan beri lubang diameter 5,08 cm di tengahnya untuk pipa

jalur asap. Kemudian patri seluruh bagian pastikan tabung ini rapat dan tidak ada kebocoran.

Selanjutnya adalah pembuatan pipa jalur air. Pipa jalur air ini menghubungkan tabung kondensasi dengan bak penampungan. Pipa ini terpasang pada sisi kiri bagian atas tabung sebagai jalur keluar air dan sisi kanan bagian bawah tabung sebagai jalur masuk air. Pipa jalur air dibuat dengan pipa *hollow* diameter 1,27 cm agar dapat terhubung pada pompa air. Sisi kiri atas dan sisi kanan bawah tabung kondensasi dilubangi dengan diameter 1,27 cm agar pipa jalur air bisa terpasang. Kemudian patri dan pastikan tidak terjadi kebocoran.

Setelah itu adalah pembuatan tiang penyangga tabung kondensasi dengan menggunakan besi siku. Potong besi siku dengan panjang 10 cm sebanyak 2 buah dan 12 cm sebanyak 1 buah. kemudian las hingga membentuk huruf U. Potong besi siku lagi sebagai tiang dengan panjang 85 cm lalu las dengan besi penyangga yang telah dibuat. Untuk alas tiang penyangga potong besi siku sepanjang 25 cm sebanyak 2 buah. Kemudian gerinda dan gabungkan kedua besi dengan posisi menyilang lalu las agar tersambung. Kemudian las juga tiang penyangga pada titik tengah alas yang telah dibuat.

Tahap terakhir adalah perakitan seluruh bagian alat. Pertama siapkan tabung pirolisis yang telah dibuat, tutup menggunakan tutup tabung lalu pasang klem agar tabung rapat. Kemudian hubungkan pipa penghubung pada tabung pirolisis dengan pipa jalur asap pada tabung kondensasi. Klem pada sambungan pipa agar kuat dan tidak terjadi kebocoran. Letakkan bak penampung pada kedua pipa jalur air dan pasang pompa air pada pipa jalur masuk air. Selanjutnya pasang tiang penyangga pada pipa jalur asap di sebelah kanan tabung kondensasi. Pastikan berdiri tegak dan kokoh.

### **3.8 Mekanisme Kerja Alat**

Mekanisme kerja alat ini adalah dengan memasukan biomassa kedalam tabung pirolisis kemudian masukan air kedalam bak penampung. Nyalakan pemanas di bawah tabung

pirolisis. Tutup tabung dan pasang klem hingga rapat agar tidak ada asap yang keluar. Setelah asap keluar melalui pipa jalur asap nyalakan pompa air dan letakan penampung asap cair di ujung pipa.

### **3.9 Pengujian Alat**

Pengujian alat kondensasi asap ini dilakukan selama 3 kali percobaan. Terdapat beberapa parameter penelitian yang digunakan dalam pengujian ini. Yang pertama adalah suhu. Suhu ini meliputi suhu ruang pengasapan, suhu asap, suhu air saat masuk dan keluar, dan suhu asap cair. Kemudian massa dan volume produk. Parameter yang terakhir adalah lama waktu pembakaran.

#### **3.9.1 Suhu**

Pengukuran terhadap suhu dilakukan menggunakan termokopel dan termometer yang kemudian dicatat hasilnya dan didokumentasikan. Pengukuran suhu meliputi suhu ruang pengasapan, suhu air, dan suhu asap cair. Pengukuran pada suhu ruang pengasapan menggunakan termokopel yang sudah terpasang pada tabung pirolisis. Pengukuran suhu air, dan suhu asap cair dapat menggunakan termometer air raksa pada bak penampung air dan asap cair.

#### **3.9.2 Massa dan Volume**

Pengukuran massa dan volume produk dilakukan menggunakan timbangan digital. Produk yang dihasilkan dalam proses ini adalah arang dan asap cair. Pengukuran ini dilakukan untuk menghitung rendemen produk yang dihasilkan selama proses berlangsung.

#### **3.9.3 Lama Waktu Pembakaran**

Pengukuran lama waktu pembakaran dilakukan menggunakan timer/stopwatch sebagai alat ukur. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui lama pembakaran yang dibutuhkan untuk menghasilkan arang dan asap cair dalam satu kali proses.

### 3.10 Analisis Teknis Alat

Analisis teknis alat merupakan salah satu bagian yang penting. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi alat yang dirancang dan dibuat berfungsi dengan baik, akurat, efisien, dan sesuai tujuan perancangan. analisis yang dilakukan pada alat kondensasi asap diantaranya:

#### 3.10.1 Volume

Dalam analisis ini, volume yang dihitung adalah volume tabung pirolisis dan tabung kondensasi. Caranya menghitung volume tabung kondensasi adalah dengan dikurangi volume pipa jalur asap yang merupakan permukaan pindah panasnya. Menghitung volume masing-masing tabung dengan menggunakan rumus (Holman, 2010):

$$V = \pi r^2 t \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

V = Volume (m<sup>3</sup>)

r = Radius (m)

t = Tinggi (m)

#### 3.10.2 Debit Air

Debit air adalah jumlah air yang mengalir dalam waktu tertentu. Dalam analisis ini dihitung debit air yang mengalir dari pompa ke dalam tabung kondensasi. Debit air dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Holman, 1997):

$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

Q = Debit (cm<sup>3</sup>/s)

V = Volume (cm<sup>3</sup>)

t = Waktu (s)

#### 3.10.3 Laju Perpindahan Panas

Untuk sistem penukar panas *counter flow*, rumus laju perpindahan panas dapat dihitung menggunakan teori penukar panas yang melibatkan koefisien perpindahan panas (M) dan suhu fluida. Laju perpindahan panas (Q) fluida dapat dihitung dengan rumus (Holman, 2010):

$$Q = M \times C \times \Delta T \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan panas (W)

M = Koefisien perpindahan panas total (W/m<sup>2</sup>·C)

C = Luas permukaan penukar panas (m<sup>2</sup>)

ΔT = Perbedaan suhu (C)

### 3.10.4 Efektivitas Alat

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif alat dalam mengkondensasi asap menjadi asap cair. kita dapat menghitung rendemen asap cair yang dihasilkan, rendemen arang, dan komponen yang hilang menggunakan rumus (Ridhuan *et al.*, 2019):

$$\text{Rendemen Hasil Pengujian} = \frac{\text{Massa hasil}}{\text{Massa biomassa}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Komponen hilang} = 100\% - (\text{Rendemen arang} + \text{Rendemen asap cair}) \dots\dots\dots(5)$$

Data rendemen asap cair hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan rendemen asap cair secara teori yang dihitung menggunakan rumus (Yaman, 2004):

$$\text{Rendemen Asap Cair Secara Teori} = ((\text{Massa kadar air} + \text{Massa zat volatil}) / \text{Berat bahan}) \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Nilai efektivitas alat dapat dihitung menggunakan rumus (Afrah *et al.*, 2020):

$$\text{Efektivitas alat} = \left( \frac{\text{Rendemen asap cair hasil pengujian}}{\text{Rendemen asap cair secara teori}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

### 3.10.5 Kapasitas Kerja Alat

Nilai kapasitas kerja alat dibutuhkan untuk mengetahui kinerja alat penghasil asap cair terutama pada bobot destilasi yang tertampung setiap lama pirolisis yang dihasilkan kondensor. kita dapat mengetahui nilai tersebut dengan mencarinya menggunakan rumus (Afrah *et al.*, 2020):

$$\text{Kapasitas kerja alat} = \frac{M_{ae}}{t} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

M<sub>ae</sub> = Massa asap cair hasil pirolisis (g)

t = Waktu pirolisis (jam)

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Alat kondensasi asap berbasis sistem *counter flow* yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini terbukti dapat mengubah asap menjadi asap cair.
2. Nilai efektivitas alat ini cukup tinggi hingga mencapai 96,76% pada pengujian ketiga, membuktikan bahwa sistem *counter flow* pada alat ini terbukti cukup efektif dan optimal dalam mengkondensasi asap.
3. Rata-rata rendemen asap cair tertinggi tercapai pada pengujian ketiga sebesar 35,82% dan rendemen arang sebesar 33,45%, menunjukkan bahwa alat ini mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan menambah nilai ekonomis melalui produk yang dihasilkan.

### **5.2 Saran**

Saran dari penelitian ini adalah:

1. Dilakukan analisis suhu untuk mengetahui suhu aktual dan laju perpindahan panas yang akurat.
2. Modifikasi desain alat seperti penambahan kapasitas bak penampung, isolator termal pada tabung pirolisis, luas permukaan kondensasi, dan termokopel multizone.
3. Dilakukan pengujian lanjutan dari produk arang dan asap cair yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrah, B. D., Riady, M. I., dan Cundari, L. 2020. *Rancang Bangun Alat Produksi Asap Cair dengan Metode Pirolisis menggunakan Software Fusion 360*. Jurnal Teknik Mesin.
- Alagumalai, A., Yang, L., Tian, J., and Ding, Y. 2025. The Physics of Phase Transition Phenomena Enhanced by Nanoparticles. *Applied Physics Research*, 12(1), 45–58
- Anwar, R., Kasim, A., Emriadi., dan Asben, A. 2021. Karakterisasi Kinerja Alat Pembuat Asap Cair dari Biomassa Pertanian. Politeknik Pembangunan Pertanian Medan.
- Astuti, L. P., Prasetyo, E., and Nugroho, Y. S. 2021. Potential of Biomass Energy in Indonesia: Challenges and Opportunities. *Journal of Energy and Power Engineering*, 15(3), 123-134.
- Barta, R. B., Bederna, B. G., and Thomas, C. 2024. Thermodynamic Concept of a Novel Recuperative Two-Phase Power Cycle. *Proceedings of the 7th International Conference on Thermodynamics*, 20(3), 115–127.
- Cahyono, B. 2022. *Desain Dan Pengembangan Alat Kondensasi Asap Cair*. Universitas Diponegoro.
- Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Lampung. 2023. Peta Potensi Biomassa.
- Fachrizal, N., Haerudin, B., Mustafa, R., Sumarsono, M., dan Pranoto, S. 2008. Pembuatan Arang Briket Ampas Jarak dan Biomassa. *J Ilm Tek Energi*, 1(7), 24-36.
- Guo, F., Kim, D., Hlanze, P., and Cai, J. 2024. Rigorous Feature Selection of The Virtual Refrigerant Charge Sensor for Variable-Speed Heat Pumps. *Purdue University Research Archive*.

- Gupta, S. S., Rai, S., and Ratnakar, R. R. 2024. Thermodynamic and Condensation Rate Modeling in Abandoned Wells: Assessing Potential Corrosion Risks in CCS Applications. *SPE Journal*, 29(12), 7234–7248
- Han, S. H., Dong, Y., and Jin, G. Y. 2025. Study On Heat and Mass Transfer Mechanism of Unsaturated Porous Media Under CW Laser Irradiation: With and Without Carrier Gas. *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics*, 48(2), 230–242.
- Holman, J. P. 1997. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Edisi ke-6. Penerbit Erlangga.
- Holman, J. P. 2010. *Heat Transfer*. Mc Graw-Hill.
- Isamu, K. T., Purnomo, H., and Yuwono, S. S. 2012 Physical, Chemical, and Organoleptic Characteristics of Smoked Skipjack Tuna (*Katsuwonus Pelamis*) Produced in Kendari-South East Sulawesi. *African Journal of Biotechnology* 11(91), 15819-15822
- Iskandar, N., dan Nugroho, S. 2019. Uji Kualitas Produk Briket Arang Tempurung Kelapa berdasarkan Standar Mutu SNI. *Jurnal Ilmiah Momentum*.
- Kilinc, B., and Cakh, S. 2012, Growth of *Listeria Monocytogenes* as Affected by Thermal Treatment of Rainbow Trout Fillets Prepared with Liquid Smoke. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 12, 285-290.
- Luo, X., Wang, Q., Lü, Y., Zang, X., and Yue, B. 2025. Enhanced Modeling of Deep-Water Condensate Transport and Dispersion in the South China Sea. *Process Safety and Environmental Protection*, 156(4), 110–125.
- Mafruddin, M., Dharma, U. S., dan Nuryanto, A. 2017. Pengaruh Geometri Pipa Kondensor terhadap Perpindahan Panas pada Destilasi Minyak Plastik. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(2), 193-197.
- Maskromo, A. 2016. *Optimalisasi Sistem Pendingin pada Alat Kondensasi Asap Berbasis Air*. Buletin Palma Volume.
- Maximino, M. R. 2013. *Thermal Profiles and Efficiency in Biomass Pyrolysis Reactors*. *Bioenergy Research Journal*, 6(2), 88–95.
- Merazhov, I. 2025. The Basic Principles of Conservation in Ecology. *Pedagogik Tadqiqotlar Jurnal*, 18(1), 35–49.
- Nurhasanah, A., Susilo, B., dan Yulianto, D. 2019. Analisis Pengaruh Desain Ruang Pengasapan terhadap Distribusi Panas pada Alat Pengasap Ikan. *Jurnal Teknologi Hasil Perikanan*, 14(1), 25–30.



- Ridhuan, K., Irawan, D., dan Inthifawzi, R. 2019. Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69-78.
- Rizianiza, R., Suryani, N., dan Pratama, D. 2025. Studi Karakteristik Suhu Vertikal dalam Reaktor Pirolisis Lambat untuk Pembentukan Arang. *Jurnal Energi Terbarukan dan Lingkungan*, 18(1), 45–52.
- Setiawan, B. 2016. Analisa Thermogravimetry pada Pirolisis Limbah Pertanian. *Jurnal Ethos*, vol. 4, no. 1, pp. 49–56. ISSN 1693-699X, EISSN 2502-065X.
- Setyanto, N. W., Himawan, R., dan Arifianto, E. Y. 2012. *Material dan Desain Alat Kondensasi Asap Berbasis Baja Tahan Karat*. Rekayasa Teknik Mesin.
- Simanjuntak, J. P. 2023. Kajian Desain Kondensor pada Proses Pirolisis. *Jurnal Teknik Kimia*. Universitas Negeri Medan.
- Sudiro, S. S. 2014. Pengaruh Komposisi dan Ukuran Serbuk Briket yang Terbuat dari Batubara dan Jerami Padi terhadap Karakteristik Pembakaran. *Politeknik Indonusa, Surakarta*.
- Sukarni, S., Zainal, Z. A., and Wirawan, S. S. 2019. Biomass Energy Potential and Utilization in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 460-472.
- Sun, Y., Zhang, R., Zhang, Y., and Chen, C. 2022. Thermal Degradation Behavior of Cellulose and Hemicellulose during Pyrolysis: Mechanisms and Kinetics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 163, 105422.
- Suryani, R., Rizal, W. A., dan Pratiwi, D. 2020. Karakteristik dan Aktivitas Antibakteri Asap Cair dari Biomassa Kayu Putih (*Melaleuca leucadendra*) dan Kayu Jati (*Tectona grandis*). *Jurnal Teknologi*.
- Vinogradov, M. M., Antanenkova, I. S., and Geller, Y. A. 2025. Heat Transfer and Pressure Drop in Main Heat Exchangers of a Thermal Oil ORC-Unit. *Thermal Engineering*, 52(3), 147–159.
- Wijaya, T., Prasetyo, H., dan Santoso, E. 2021. Evaluasi Bahan Bakar Ramah Lingkungan untuk Alat Pengasap Tradisional. *Jurnal Pengolahan Pangan dan Hasil Laut*, 9(2), 77–88.
- Yaman, S., 2004, *Pyrolysis of Biomass to Produce Fuels and Chemical Feedstocks, Energy Conversion, and Management*, 45, 651–671.
- Yunus, A. Cengel., and Michael, A. Boles. 2003. *Thermodynamics and Engineering Approach*. New York: Edisi ke-5. Penerbit Mc Grow Hill.