

**DISERTASI DOKTOR**

**PENGEMBANGAN SISTEM REFRIGERASI  
UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI ASAP CAIR  
BERBAHAN BAKU LIMBAH CANGKANG SAWIT**



**BAITI HIDAYATI**

**03013681924001**

**PROG STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

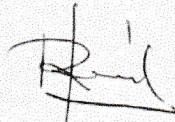
**PENGEMBANGAN SISTEM REFRIGERASI  
UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI ASAP CAIR  
BERBAHAN BAKU LIMBAH CANGKANG SAWIT**

Diusulkan oleh:

Baiti Hidayati

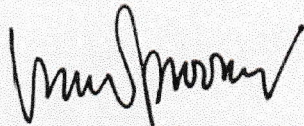
NIM.03013681924001

**Promotor**



**Prof. Dr. Ir. Rimani Sipahutar, M.Sc.**  
NIP. 195606041986021001

**Ko-Promotor-1**



**Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.**  
NIP. 196005281989031002

**Ko-Promotor-2**



**Dr. Ir. Muhammad Faizal, DEA**  
NIP. 195805141984031001

**Koordinator Program Studi,**



**Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.**  
NIP. 195903211987031001

**Dekan Fakultas Teknik,**



**Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.**  
NIP. 196706151995121002

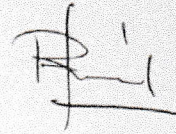
## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa laporan Disertasi ini dengan judul "Pengembangan Sistem Refrigerasi untuk Meningkatkan Produksi Asap Cair Berbahan Baku Limbah Cangkang Sawit" telah dipertahankan di hadapan tim penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 31 Maret 2022 .

Palembang, 31 Maret 2022

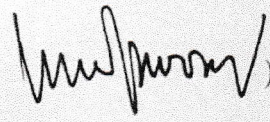
**Promotor:**

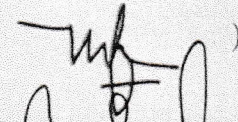
Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 195606041986021001

(  )

**Ko-Promotor:**

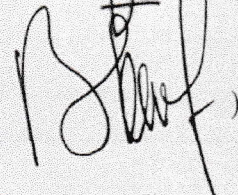
1. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.  
NIP. 196005281989031002
2. Dr. Ir. Muhammad Faizal, DEA  
NIP. 195805141984031001

(  )

(  )


**Ketua Tim Penguji:**

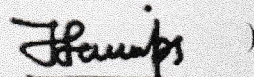
Dr. Bhakti Yudho Suprpto, ST., MT  
NIP. 197502112003121002

(  )

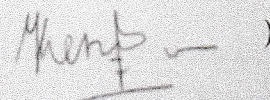
**Anggota Tim Penguji:**

1. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001
2. Dr. Dewi Puspitasari, S.T., M.T.  
NIP. 197001151994122001
3. Dr. Ir. H. Darmawi Bayin, M.T.  
NIP. 195806151987031002
4. Dr. Ni Ketut Caturwati, MT  
NIP. 196706022001122001

(  )

(  )

(  )

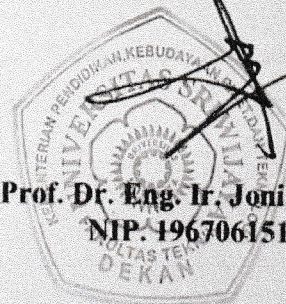
(  )

Koordinator Prog Studi,

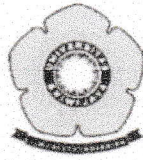


Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik,



Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR  
Jalan Sriwijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139  
Em.ail: [s3ilmuteknik@ft.unsri.ac.id](mailto:s3ilmuteknik@ft.unsri.ac.id)

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : **Baiti Hidayati**  
NIM : 03013681924001  
Tempat/Tanggal Lahir : Sukamoro / 06 Juli 1992  
Jurusan/Program Studi : Ilmu Teknik Program Doktor  
Fakultas : Teknik  
Alamat Rumah : Perumahan Griya Bumi Lestari Blok A1 no 34,  
Kecamatan Sekayu, Kelurahan Balai Agung  
Nomor Telp/HP/Email : 085267766395

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Disertasi saya yang berjudul: "Pengembangan Sistem Refrigerasi untuk Meningkatkan Produksi Asap Cair Berbahan Baku Limbah Cangkang Sawit" **Bebas dari plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain.**

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Disertasi tersebut terdapat indikasi plagiarisme. Saya bersedia menerima sanksi perundang-undangan yang berlaku dengan peraturan.

Demikian Surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapa pun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, Maret 2021  
Yang membuat pernyataan,



Baiti Hidayati  
NIM. 03013681924001

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sukamoro pada tanggal 06 Juli 1992, merupakan anak ke-2 dari 4 bersaudara, Uli Hidayati (kakak), Pentriana Ulfa (Alm) (adik), dan Hafiz Khoiruddin (adik). Dari pasangan Yazid (ayah) dan Mariana (ibu). Penulis menempuh pendidikan formal mulai Sekolah Dasar Negeri 6 Sukamoro (1997-2003), melanjutkan pendidikan Sekolah Madrasah Tsanawiyah GUPPI Sukamoro (2003-2006), melanjutkan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Talang (2006-2009), menempuh pendidikan D-3 di Perguruan Tinggi Politeknik Sekayu (2009-2012), menempuh pendidikan S-1 di Perguruan Tinggi Universitas Tridinanti Palembang (2012-2014), menempuh pendidikan S-2 di Perguruan Tinggi Universitas Negeri Sriwijaya (2015-2017), dan menempuh pendidikan S-3 di Perguruan Tinggi Universitas Negeri Sriwijaya (2019-2022).

Tahun 2014 penulis diterima bekerja di PT.Labtech Penta International, tahun (2015-2021) bekerja di Politeknik Sekayu sebagai Dosen Tetap, tahun (2021-2022) bekerja di Sekolah Vokasi di PT.Gula Putih Mataram di bawah Sugar Group Companies, Tahun 2022 lolos CPNS di Politeknik Negeri Sriwijaya Program Studi Teknik Mesin.

Selama menempuh pendidikan strata 3, penulis telah menghasilkan publikasi pada jurnal internasional seperti berikut:

1. *“Analysis of Palm Shell Mesh Variations With Increasing Productivity of Liquid Smoke Using Air Cooled Refrigeration Systems”* International Conference Word Research Forum For Engineers and Researchers (2021).

2. “*Effect of Refrigeration System on Reduction of Pyrolysis Air Pollution in Liquid Smoke Production*” published at *Advances in Mechanics, Volume 9, Issue 3, 2021*.
3. “*Increased Productivity of Liquid Smoke Through Fast Thawing with Refrigeration Systems At Low Air Temperatures*” published at *Journal of Applied Engineering (2022)*. doi:10.5937/jaes0-30849

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis sampaikan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya disertasi yang berjudul “Pengembangan Sistem Refrigerasi untuk Meningkatkan Produksi Asap Cair Berbahan Baku Limbah Cangkang Sawit” dapat selesai. Penulisan disertasi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Selama menempuh pendidikan Doktor, penulis mendapat banyak bantuan, masukan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Sriwijaya atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh pendidikan Doktor pada Universitas Sriwijaya.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya beserta jajarannya.
3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
4. Koordinator Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D. selaku Promotor yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan motivasi kepada penulis.
6. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T. dan Dr. Ir. Muhammad Faizal, DEA selaku Ko-Promotor yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan motivasi kepada penulis.
7. Seluruh penguji pada ujian tertutup atas masukan dan arahan yang diberikan.
8. Seluruh Dosen Pengajar dan staf Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

9. Untuk teman-teman "Pejuang-Pejuang Kandidat Doktor" Ilmu Teknik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya angkatan 2019.
10. Staf administrasi ibu Yeyen di Prodi S3 Ilmu Teknik Fakultas Universitas Sriwijaya.
11. Terima kasih kepada kedua orang tua, suami dan anak-anak yang tidak pernah putus untuk berdoa dan memberi semangat agar terus mencapai cita-cita setinggi-tingginya.

Disertasi ini penulis persembahkan untuk suamiku tercinta Jumedi,S.T, terima kasih atas *support*, pengorbanan, doa, cinta dan kasih sayangnya yang telah diberikan selama ini. Kupersembahkan juga untuk kedua putra Muhamad Alif Nurrahman dan Muhamad Alfiandra Aditya, semoga kesuksesan anak-anakku akan melebihi ibu dan ayah serta menjadi orang yang bermanfaat bagi agama, bangsa, dan negara. Amiin YRA.

Penulis berharap disertasi ini dapat memberikan informasi dan pengetahuan Demikian disampaikan, atas izin Allah SWT, penulis berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat untuk keilmuan dan kemajuan dalam pengembangan baik sekarang maupun di masa yang akan datang.

Universitas Sriwijaya  
Palembang, 2022  
Penulis,

Baiti Hidayati



## RINGKASAN

Asap cair saat ini banyak diminati serta di produksi oleh berbagai kalangan karena memiliki berbagai macam manfaat, beberapa diantaranya yaitu sebagai penggumpal lateks, pembasmi hama, pengawet makanan, perasa makanan dan lainnya. Terlebih lagi, asap cair menggunakan biomassa sebagai bahan baku utama seperti serbuk kayu, ranting, daun, batok kelapa, sabut kelapa, sampah organik, cangkang sawit dan lainnya, masing-masing biomassa ini mengandung senyawa *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin* yang berbeda. Dengan demikian, produksi asap cair ini dapat mengurangi jumlah limbah dan juga ramah terhadap lingkungan. Jenis biomassa yang digunakan dalam penelitian ini berupa cangkang sawit karena di daerah Musi Banyuasin masih banyak cangkang sawit yang belum terolah, sedangkan cangkang sawit tersebut membutuhkan waktu yang lama untuk dapat terurai di alam.

Untuk memperoleh asap cair, biomassa harus melalui proses pirolisis yang menghasilkan asap, asap tersebut di kondensasi sehingga menghasilkan asap cair. Proses kondensasi selama ini dilakukan secara konvensional menggunakan air yang disirkulasikan secara kontinyu, di mana pompa menjadi mesin utama dalam proses sirkulasi air selama proses kondensasi asap berlangsung dan membutuhkan kapasitas air yang tidak sedikit. Proses kondensasi asap menggunakan air dianggap masih kurang efisien karena masih banyak gas yang tidak terkondensasi dan terbuang ke lingkungan lebih dari 16%.

Pemaksimalan kondensasi asap hasil pirolisis ini harus dilakukan untuk meningkatkan produktivitas asap cair sekaligus meminimalisir gas yang lolos ke lingkungan. Untuk mencapai ini maka dilakukan perlakuan khusus terhadap fluida

yang digunakan sebagai media pengkondensasian asap. Sistem refrigerasi dapat digunakan untuk mengkondisikan fluida yang digunakan sebagai media pengkondensasian asap pirolisis. Dalam penelitian ini fluida yang digunakan adalah udara dengan temperatur kontrol 0-10°C. Proses kondensasi asap ini berlangsung di dalam suatu ruangan yang disebut dengan *cold storage*. Pipa evaporator dan pipa asap pirolisis berada dalam satu ruangan (*cold storage*) dan udara dengan temperatur terkontrol akan bersirkulasi sehingga akan terjadi proses kondensasi asap. Selain itu juga ukuran biomassa dilakukan perlakuan khusus, dimana ukuran biomassa tersebut dibuat menjadi ukuran -3+4 mesh, -4+5 mesh, dan -5+6 mesh. Pembuatan mesh ini dilakukan ini dilakukan untuk menghasilkan asap cair maksimal karena ukuran cangkang sawit diperkecil.

Berdasarkan hasil penelitian bahwa proses pengkondensasian asap pirolisis lebih optimal menggunakan sistem refrigerasi dengan temperatur udara 0-10°C pada ukuran cangkang sawit -5+6 mesh. Hasil asap cair yang diperoleh sebanyak 34,15%, tar 5,16%, charcoal 55%, dan gas 5,69% dengan phenol 56.18 %.

Keywords: Asap Cair, Cangkang Sawit, Kondensasi, Refrigerasi

## SUMMARY

Liquid smoke is currently in great demand and is produced by various groups because it has various benefits, some of which are as a latex coagulant, pest control, food preservative, food flavoring, and others. Moreover, liquid smoke uses biomass as the main raw material such as sawdust, twigs, leaves, coconut shells, coconut fiber, organic waste, palm shells, and others, each of which contains different compounds of cellulose, hemicellulose, and lignin. Thus, the production of this liquid smoke can reduce the amount of waste and is also friendly to the environment. The type of biomass used in this study is in the form of oil palm shells because in the Musi Banyuasin area there are still many unprocessed palm shells, while the palm shells take a long time to decompose in nature.

To obtain liquid smoke, biomass must go through a pyrolysis process that produces smoke, the smoke is condensed to produce liquid smoke. The condensation process has been carried out conventionally using continuously circulated water, where the pump is the main engine in the water circulation process during the smoke condensation process and requires a large amount of water capacity. The smoke condensation process using water is considered to be less efficient because there is still more than 16% of the gas that is not condensed and is wasted in the environment.

Maximizing the condensation of smoke resulting from pyrolysis must be done to increase the productivity of liquid smoke while minimizing gas that escapes into the environment. To achieve this, special treatment is carried out on the fluid used as a condensing medium for smoke. The refrigeration system can be

used to condition the fluid used as a condensing medium for pyrolysis smoke. In this study, the fluid used is air with a controlled temperature of 0-10°C. This smoke condensation process takes place in a room called cold storage. The evaporator pipe and the pyrolysis smoke pipe are in one room (cold storage) and air with a controlled temperature will circulate so that the smoke condensation process will occur. In addition, the size of the biomass was also subjected to special treatment, where the size of the biomass was made into sizes of -3+4 mesh, -4+5 mesh, and -5+6 mesh. Making this mesh is done to produce maximum liquid smoke because the size of the palm shell is reduced.

Based on the results of the research that the process of condensing pyrolysis smoke is more optimal using a refrigeration system with an air temperature of 0-10°C at a palm shell size of -5+6 mesh. The liquid smoke obtained was 34.15%, tar 5.16%, charcoal 55%, and gas 5.69% with 56.18% phenol.

Keywords: Liquid Smoke, Palm Shells, Condensation, Refrigeration

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	iii
RIWAYAT HIDUP.....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
RINGKASAN.....	viii
SUMMARY .....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR .....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xx
NOMENCLATURE.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Kebaruan Penelitian.....	5
1.7 Kerangka Pikir .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.1. Asap Cair .....	9
2.2 Cangkang Sawit .....	15
2.3 Pirolisis .....	18
2.4 Kondensasi .....	20
2.5 Refrigerasi .....	25
2.6 <i>Coefficient of Performance</i> .....	29
2.7 <i>Balance Energy</i> .....	32
2.8 <i>State Of The Art</i> .....	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Metodologi Penelitian .....	35

3.2 Bahan dan Alat.....	36
3.3 Pengambilan Data Uji .....	37
3.4 Tahapan Penelitian .....	38
<b>BAB IV ANALISIS VARIASI MESH CANGKANG SAWIT DALAM</b>	
<b>PENINGKATAN PRODUKTIVITAS ASAP CAIR MENGGUNAKAN</b>	
<b>SISTEM REFRIGERASI BERPENDINGIN UDARA.....</b>	
4.1. Pendahuluan .....	39
4.2. Material dan Metode .....	42
4.3. Analisis .....	44
4.4. Hasil dan Pembahasan .....	44
4.4.1. Asap Cair .....	44
4.4.2. Senyawa Kimia.....	45
4.5. Kesimpulan.....	49
<b>BAB V EFEK SISTEM REFIGERASI DALAM MENGURANGI POLUSI</b>	
<b>UDARA PIROLISIS PADA PRODUKSI ASAP CAIR.....</b>	
5.1. Pendahuluan .....	50
5.2. Material dan Metode .....	53
5.3. Analisis .....	57
5.4. Hasil dan Pembahasan .....	58
5.5. Kesimpulan.....	61
<b>BAB VI PENINGKATAN PRODUKTIVITAS ASAP CAIR SECARA CEPAT</b>	
<b>MENGGUNAKAN SISTEM REFRIGERASI DENGAN UDARA</b>	
<b>BERTEMPERATUR RENDAH .....</b>	
6.1. Pendahuluan .....	63
6.2. Material dan Metode .....	66
6.3. Analisis .....	69
6.4. Hasil dan Pembahasan .....	70
6.5. Kesimpulan.....	72
<b>BAB VII HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	
7.1. Senyawa Cangkang Sawit .....	73
7.2. Senyawa Asap Cair .....	73

7.3. Data Penelitian Proses Produksi Asap Cair Menggunakan Sistem Refrigerasi dengan ukuran cangkang sawit -3+4 mesh.....	77
7.3.1. Hasil Produksi Asap Cair Menggunakan Sistem Refrigerasi dengan ukuran cangkang sawit -3+4 mesh.....	78
7.3.2. Perpindahan Kalor dan <i>Coefficient of Performance</i> (COP) Sistem Refrigerasi .....	78
7.3.3. <i>Balance Energy</i> .....	80
7.4. Data Penelitian Proses Produksi Asap Cair Menggunakan Sistem Refrigerasi dengan ukuran cangkang sawit -4+5 mesh.....	83
7.4.1. Hasil Produksi Asap Cair Menggunakan Sistem Refrigerasi dengan ukuran cangkang sawit -4+5 mesh.....	84
7.4.2. Perpindahan Kalor dan <i>Coefficient of Performance</i> (COP) Sistem Refrigerasi .....	84
7.4.3. <i>Balance Energy</i> .....	87
7.5. Data Penelitian Proses Produksi Asap Cair Menggunakan Sistem Refrigerasi dengan ukuran cangkang sawit -5+6 mesh.....	89
7.5.1. Hasil Produksi Asap Cair Menggunakan Sistem Refrigerasi dengan ukuran cangkang sawit -5+6 mesh.....	90
7.5.2. Perpindahan Kalor dan <i>Coefficient of Performance</i> (COP) Sistem Refrigerasi .....	90
7.5.3. <i>Balance Energy</i> .....	93
7.6. Ringkasan Data .....	94
7.6.1. Hasil Kondensasi asap Hasil Pirolisis Setiap Mesh .....	94
7.6.2. Hasil Proses Penyerapan Kalor pada Evaporator ( $Q_e$ ) .....	96
7.6.3. Hasil Proses Pelepasan Kalor pada Condensor ( $Q_c$ ) .....	98
7.6.4. Kerja Kompresor ( $W_k$ ) .....	100
7.6.5. <i>Coefficient of Performance</i> (COP) .....	101
7.6.6. Korelasi antara hasil asap cair dan COP .....	103
BAB VIII KESIMPULAN DAN SARAN .....	106
8.1. Kesimpulan.....	106
8.2. Saran .....	107
DAFTAR PUSTAKA .....	108





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki daerah yang sangat luas. Salah satu pemanfaatan lahan tersebut adalah perkebunan kelapa sawit. Perkebunan sawit menghasilkan CPO (*Crude Palm Oil*) dan limbah mencapai 43% (Elisabeth dan Ginting, 2003), pada tahun 2017 limbah cangkang sawit mencapai angka 9.000 Ton (BPDPKS, 2018). Pembuangan limbah biomassa dalam jumlah besar dianggap sebagai sampah dan polutan merupakan masalah utama pengelolaan lingkungan. Limbah biomassa harus diubah menjadi produk yang bermanfaat untuk meminimalisir pencemaran lingkungan. Salah satu cara pemanfaatan limbah adalah mengkonversikan limbah tersebut menjadi asap cair.

Asap cair memiliki banyak manfaat, beberapa diantaranya adalah bidang pertanian sebagai desinfektan, pengawetan makanan, dan lainnya. Saat ini asap cair banyak digunakan karena produk ini merupakan produk ramah lingkungan. Pada umumnya bahan baku yang digunakan untuk pembuatan asap cair adalah limbah seperti batok kelapa, cangkang sawit, kayu, sampah, sekam, ampas, serbuk gergaji, kulit durian dan lainnya .

Penggunaan asap cair di bidang pertanian adalah meningkatkan kualitas tanah dan menetralkan asam tanah, membunuh hama tanaman dan mengontrol pertumbuhan tanaman, mengusir serangga, mempercepat pertumbuhan pada akar, batang, umbi, daun, bunga, dan buah. Selain itu, asap cair digunakan juga untuk penggumpal getah karet. kelebihan asap cair dengan asam semut adalah mampu

menggumpal getah karet dan tidak berbau. Kelemahan pemakaian asam semut adalah memicu pertumbuhan bakteri yang menghasilkan amonia dan sulfida. Kedua senyawa ini yang menyebabkan getah karet menggumpal tetapi berbau busuk (Basri, 2010). Untuk menggumpalkan 200 liter getah karet, hanya perlu 1 liter asap cair. Kualitas karet meningkat karena karet menjadi lebih putih. Selain itu juga asap cair digunakan sebagai pengawet makanan. Asap cair (*liquid smoke*) merupakan pengawet makanan alami pengganti formalin, dan sebagai penghilang bau yang ramah lingkungan. Di negara maju, limbah biomassa nabati diubah menjadi Asap Cair yang digunakan sebagai pengganti asap kayu selama pengasapan ikan secara tradisional .

Asap cair merupakan suatu hasil kondensasi atau pengembunan dari asap hasil pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung *lignin*, *selulosa*, dan *hemiselulosa* serta senyawa karbon lainnya (Ni'Mah et al., 2019). Asap cair merupakan campuran terlarut dengan mengkondensasikan asap hasil pirolisis atau merupakan kondensat dari asap biomassa yang di dalamnya terkandung berbagai unsur senyawa dengan titik didih yang berbeda-beda. Agar pengembunan asap memiliki capaian temperatur yang berbeda-beda (Rahmalinda et al., 2014).

Proses pengkondensasian asap cair sejauh ini dilakukan secara konvensional yaitu menggunakan air yang di sirkulasi melalui pompa secara kontinyu, kapasitas air yang digunakan juga tidak sedikit. Semakin lama, temperatur air yang digunakan untuk proses pengkondensasian akan meningkat sehingga kandungan bahan aktif dari asap hasil dari pirolisis masih banyak yang tidak terkondensasi dengan demikian produktivitas asap cair tidak terjadi secara

menggumpal getah karet dan tidak berbau. Kelemahan pemakaian asam semut adalah memicu pertumbuhan bakteri yang menghasilkan amonia dan sulfida. Kedua senyawa ini yang menyebabkan getah karet menggumpal tetapi berbau busuk (Basri, 2010). Untuk menggumpalkan 200 liter getah karet, hanya perlu 1 liter asap cair. Kualitas karet meningkat karena karet menjadi lebih putih. Selain itu juga asap cair digunakan sebagai pengawet makanan. Asap cair (*liquid smoke*) merupakan pengawet makanan alami pengganti formalin, dan sebagai penghilang bau yang ramah lingkungan. Di negara maju, limbah biomassa nabati diubah menjadi Asap Cair yang digunakan sebagai pengganti asap kayu selama pengasapan ikan secara tradisional .

Asap cair merupakan suatu hasil kondensasi atau pengembunan dari asap hasil pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung *lignin*, *selulosa*, dan *hemiselulosa* serta senyawa karbon lainnya (Ni'Mah et al., 2019). Asap cair merupakan campuran terlarut dengan mengkondensasikan asap hasil pirolisis atau merupakan kondensat dari asap biomassa yang di dalamnya terkandung berbagai unsur senyawa dengan titik didih yang berbeda-beda. Agar pengembunan asap memiliki capaian temperatur yang berbeda-beda (Rahmalinda et al., 2014).

Proses pengkondensasian asap cair sejauh ini dilakukan secara konvensional yaitu menggunakan air yang di sirkulasi melalui pompa secara kontinyu, kapasitas air yang digunakan juga tidak sedikit. Semakin lama, temperatur air yang digunakan untuk proses pengkondensasian akan meningkat sehingga kandungan bahan aktif dari asap hasil dari pirolisis masih banyak yang tidak terkondensasi dengan demikian produktivitas asap cair tidak terjadi secara

maksimal. Selain itu juga ukuran cangkang sawit yang digunakan selama ini tidak mendapatkan perlakuan apapun, cangkang sawit langsung di ambil dan dilakukan proses pirolisis sehingga penguapan senyawa cangkang sawit lebih lambat.

Refrigerasi merupakan sistem yang banyak dimanfaatkan untuk pengkondisian udara dengan temperatur terkontrol. Pengontrolan temperatur rendah menggunakan sistem refrigerasi ini dapat digunakan untuk pengkondensasian asap sehingga dapat menghasilkan asap cair yang lebih efektif, dengan demikian dapat meningkatkan produktivitas hasil asap cair, selain itu dilakukan penyeragaman ukuran guna mempercepat proses penguapan senyawa (lignin, selulosa, dan hemiselulosa) yang ada pada cangkang sawit. Berdasarkan hal tersebut maka Judul yang diangkat dari permasalahan ini adalah “Pengembangan Sistem Refrigerasi untuk Meningkatkan Produksi Asap Cair Berbahan Baku Limbah Cangkang Sawit”. Diharapkan proses pembuatan asap cair lebih cepat, dan dapat memaksimalkan asap menjadi asap cair untuk terkondensasi dengan cara menurunkan dan mempertahankan temperatur udara dalam proses pengkondensasian asap.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Proses pembuatan asap cair yang dilakukan selama ini masih menggunakan sistem kondensasi secara konvensional, di mana pompa air mensirkulasikan fluida (air) secara kontinyu tanpa adanya perlakuan khusus pada air. Hal ini masih menjadi permasalahan terhadap produktivitas asap cair. Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan permasalahannya sebagai berikut:

1. Perlakuan apa yang dapat diterapkan pada proses pirolisis bahan baku cangkang sawit agar dapat mempercepat terurainya senyawa kimia pada bahan baku tersebut?
2. Perlakuan apa yang dapat mempercepat proses kondensasi dalam produksi asap cair?
3. Bagaimana *performance* mesin penggerak utama terhadap proses pengkondensasian asap?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mempercepat produksi asap cair berbahan baku cangkang sawit dengan variabel temperatur udara terkontrol melalui sistem refrigerasi.
2. Memperoleh laju perpindahan kalor dalam proses pengkondensasian asap melalui sistem refrigerasi.
3. Menganalisa *Coefficient of Performance* (COP) mesin refrigerasi dalam upaya untuk menghasilkan asap cair yang optimal.

### 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Biomassa yang digunakan adalah cangkang sawit yang berasal dari daerah Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan.
2. Biomassa diperkecil dengan ukuran -3+4 mesh, -4+5 mesh, dan -5+6 mesh.
3. Evaporator pada sistem refrigerasi digunakan untuk mengontrol udara 0-10°C melalui *thermostat*.

4. Cangkang sawit dan asap cair dilakukan uji laboratorium di Universitas Sriwijaya.
5. Penelitian dilakukan di Politeknik Sekayu, Kecamatan Sekayu, Kelurahan Balai Agung, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu untuk memberikan ilmu pengetahuan dalam bidang proses peningkatan produktivitas asap cair berbahan baku cangkang sawit menggunakan fluida udara bertemperatur rendah (terkontrol)  $0^{\circ}\text{C}$ - $10^{\circ}\text{C}$  melalui sistem refrigerasi dengan memaksimalkan proses pengkondensasian asap hasil pirolisis sehingga dapat meminimalisir pelepasan gas ke lingkungan yang dapat menyebabkan polusi udara.

### **1.6 Kebaruan Penelitian**

Berdasarkan penelitian terdahulu, proses produksi asap cair dilakukan secara konvensional menggunakan air. Jumlah asap cair yang dihasilkan bervariasi tergantung dari kelembaban/uap air yang berada pada biomassa. Selain jumlah asap cair yang diperoleh, gas yang tidak terkondensasi juga sangat berpengaruh dalam proses pengkondensasian. Semakin banyak gas yang tidak terkondensasi maka semakin besar potensi untuk lepas ke lingkungan. Sebagaimana yang diteliti oleh Abnisa et al. (2013) yang melakukan proses pengkondensasian asap pirolisis untuk memperoleh asap cair dengan hasil gas tidak terkondensasi sebanyak 46,67%, Putri et al. (2019) melakukan penelitian asap cair menggunakan cangkang sawit dengan menghasilkan gas tidak

terkondensasi sebanyak 43,13%, Oh et al. (2016) melakukan penelitian asap cair berbahan baku cangkang sawit menghasilkan gas lolos 22,9%, Sumarna et al. (2021) melakukan penelitian produksi asap cair bahan baku cangkang sawit menghasilkan 24,8% gas tidak terkondensasi menggunakan air biasa, Chang et al. (2016) melakukan penelitian asap cair dengan menghasilkan gas tidak terkondensasi 27,75%, Nayaggy & Putra (2019) meneliti proses pembuatan asap cair menggunakan media air sebagai fluida pengkondensasian dengan menghasilkan gas 16 %, Omoriyekomwan et al. (2016) melakukan penelitian asap cair biomassa cangkang sawit dengan menghasilkan gas lolos 38,45% dan An et al. (2020) melakukan penelitian asap cair menghasilkan gas tidak terkondensasi sebanyak 24,31%.

Untuk itu, adapun keterbaruan penelitian ini adalah meningkatkan hasil produksi asap cair melalui pengontrolan udara bertemperatur rendah (0-10°C) dengan memadukan sistem refrigerasi sebagai metode pengkondensasian asap dan memperkecil ukuran cangkang sawit untuk mempercepat proses penguapan senyawa cangkang sawit (lignin, selulosa, dan hemiselulosa) dengan demikian secara langsung dapat meminimalisir polusi udara.

### **1.7 Kerangka Pikir**

Adapun kerangka pikir penelitian pengembangan sistem refrigerasi untuk meningkatkan produksi asap cair berbahan baku limbah cangkang sawit adalah:

1. Proses produksi asap cair akan semakin optimal jika jumlah asap hasil pirolisis banyak terkondensasi. Semakin rendah temperatur fluida yang digunakan untuk pengkondensasian asap maka hasil asap cair akan semakin banyak.

2. Penurunan temperatur fluida dapat dilakukan dengan menggunakan sistem refrigerasi, dimana temperatur fluida dapat di kontrol. Semakin besar kalor yang diserap sistem refrigerasi, maka semakin baik proses pengkondensasian pada pipa asap, serta semakin minim jumlah gas yang tidak terkondensasi.
3. Penggunaan udara bertemperatur rendah dapat menghemat tempat produksi asap cair karena hanya membutuhkan satu ruangan saja.
4. Pengecilan cangkang sawit (-3+4 mesh, -4+5 mesh, dan -5+6 mesh) dapat mempercepat proses perpindahan kalor sehingga senyawa pada cangkang sawit lebih cepat terurai.

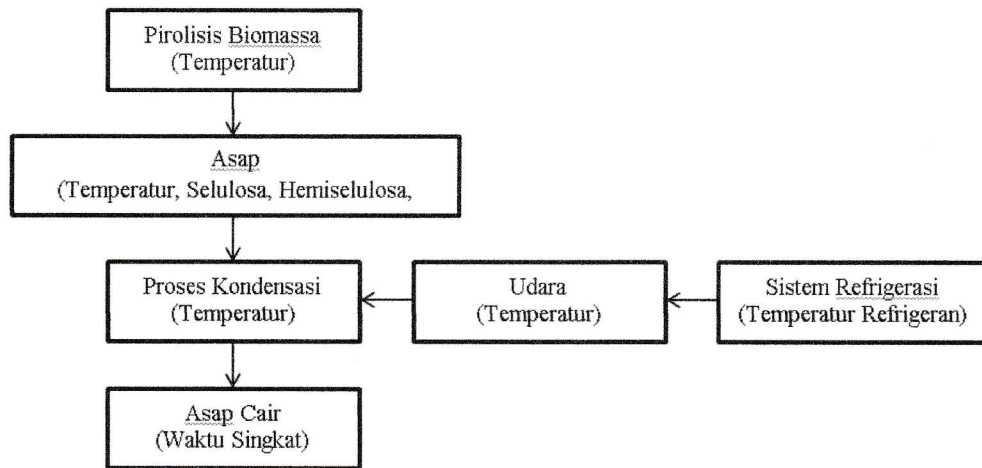
Untuk memperoleh hasil produksi asap cair yang maksimal dengan waktu yang singkat yaitu dengan menggunakan model pendekatan kerangka kerja (*framework*) seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 1. 1 Diagram alir penelitian

Proses peningkatan produktivitas asap cair menggunakan teknik refrigerasi dijelaskan pada gambar berikut.





Gambar 1. 2 Diagram alir proses asap cair menggunakan sistem refrigerasi