

**KAJIAN PEMANFAATAN SAMPAH DAUN KERING KAMPUS
UNIVERSITAS LAMPUNG SEBAGAI BAHAN BAKU ASAP CAIR**

(Skripsi)

Oleh

DINDA NUR ANNISA RITONGA



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

**KAJIAN PEMANFAATAN SAMPAH DAUN KERING KAMPUS
UNIVERSITAS LAMPUNG SEBAGAI BAHAN BAKU ASAP CAIR**

Oleh

Dinda Nur Annisa Ritonga

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRACT

STUDY OF UTILIZATION OF DRY LEAF WASTE IN LAMPUNG UNIVERSITY CAMPUS AS RAW MATERIAL OF LIQUID SMOKE

By

DINDA NUR ANNISA RITONGA

One of the solutions that can be done to reduce the leaf waste in Lampung University Campus area is by utilizing the leaf wastes as raw materials for liquid smoke. The purpose of this study is to determine the characteristics of liquid smokes out of various dry leaf waste. The research was conducted by sampling from certain type of leaves around GSG of Lampung University, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Faculty of Agriculture and the library of Lampung University with dry waste category. The characteristics of dry leaf waste liquid smokes were tested on the moisture content of dry leaf wastes, yield, pH value, and analysis of the components of leaf waste liquid smokes. The research data are presented in the form of tables and graphs and analyzed descriptively. The final results of pyrolysis show that, yield of leaf waste liquid smokes; dry teak 12,439%, kerai payung 13,387%, dry tanjung 12,921%, and dry bungur 35,222%. Charcoal yields of leaf wastes; dry teak 40,585%, dry kerai payung 35,871%, dry tanjung 40,723%, and dry bungur 18,797%. Tar yields of leaf wastes; dry teak 0,820%, dry kerai payung 0,869%, dry tanjung 0,790%, and dry bungur 1,774%. Total yields of leaf wastes; dry teak 53,938%, dry kerai payung 51,385%, dry tanjung 54,326%, and dry bungur 54,210%. pH values of leaf waste liquid smoke; dry teak 5,11, dry kerai payung 5,75, dry tanjung 5,43, and dry bungur 7,80. The results of GC-MS active components of liquid smoke in each sample of liquid smoke are dominated by phenolic compounds. Carbonyl and acid compounds were detected in each sample of liquid smoke. Alkaloids and alcohol compounds were found in dry teak leaf waste liquid smoke only.

Keyword : Lampung University, dry leaf waste, liquid smoke, pyrolysis

ABSTRAK

KAJIAN PEMANFAATAN SAMPAH DAUN KERING KAMPUS UNIVERSITAS LAMPUNG SEBAGAI BAHAN BAKU ASAP CAIR

Oleh

DINDA NUR ANNISA RITONGA

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi timbunan sampah daun di kawasan Kampus Universitas Lampung yaitu dengan memanfaatkan sampah daun tersebut sebagai bahan baku asap cair. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu mengetahui karakteristik asap cair dari berbagai sampah daun kering. Penelitian dilakukan dengan melakukan sampling dari beberapa jenis daun tertentu yang berada pada lingkungan sekitar GSG Universitas Lampung, Fakultas MIPA, Fakultas Pertanian dan perpustakaan Universitas Lampung dengan kategori sampah kering. Pengujian karakteristik asap cair sampah daun kering dilakukan terhadap kadar air sampah daun kering, rendemen, nilai pH, dan analisis senyawa aktif asap cair sampah daun. Data hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel serta grafik dan dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan pada hasil pirolisis, rendemen asap cair sampah daun; jati kering yaitu 12,439%, kerai payung kering 13,387%, tanjung kering 12,921%, dan bungur kering 35,222% . Rendemen arang sampah daun; jati kering yaitu 40,585%, kerai payung kering, 35,871%, tanjung kering 40,723%, dan bungur kering 18,797%. Rendemen tar sampah daun; jati kering yaitu 0,820%, kerai payung kering 0,869%, tanjung kering 0,790%, dan bungur kering 1,774%. Total rendemen sampah daun; jati kering yaitu 53,938%, kerai payung kering 51,385%, tanjung kering 54,326%, dan bungur kering 54,210%. Nilai pH asap cair sampah daun; jati kering 5,11, kerai payung kering 5,75, tanjung kering 5,43, dan bungur kering 7,80. Hasil GC-MS komponen aktif asap cair pada masing-masing sampel asap cair didominasi oleh senyawa fenol. Senyawa karbonil dan senyawa asam terdeteksi pada setiap sampel asap cair. Senyawa alkaloid dan alkohol hanya terdapat pada asap cair sampah daun jati kering.

Kata kunci : Universitas Lampung, sampah daun kering, asap cair, pirolisis

Judul Skripsi : **KAJIAN PEMANFAATAN SAMPAH
DAUN KERING KAMPUS UNIVERSITAS
LAMPUNG SEBAGAI BAHAN BAKU ASAP
CAIR**

Nama Mahasiswa : **Dinda Nur Annisa Ritonga**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1654051030**

Program Studi : **Teknologi Hasil Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP 19721006 199803 1 005

Ir. Harun Al Rasyid, M.T.
NIP 19620612 198803 1 002

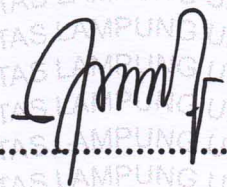
2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP 19721006 199803 1 005

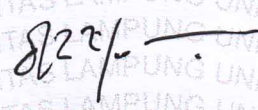
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

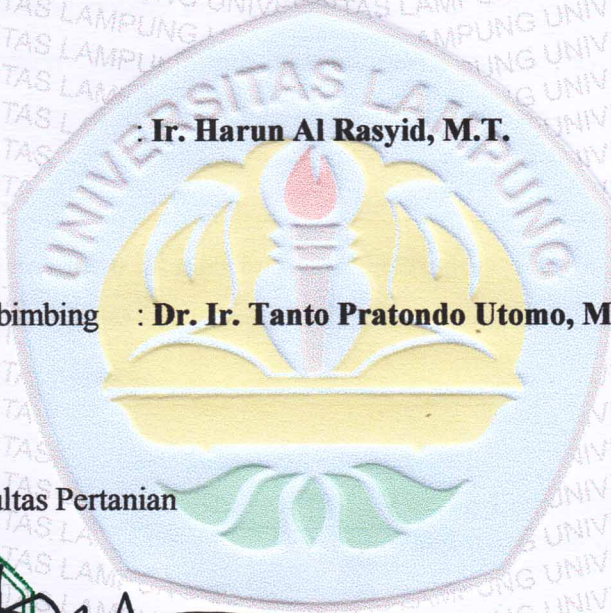
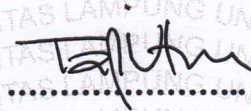
Ketua : Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.



Sekretaris : Ir. Harun Al Rasyid, M.T.



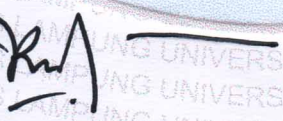
**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP. 19610201986031002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 2 Desember 2021

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Dinda Nur Annisa R NPM 1654051030

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material 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, 17 Desember 2021

Yang membuat pernyataan




Dinda Nur Annisa R.
NPM. 1654051030

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Ujung Pandang, Sulawesi Selatan pada tanggal 5 Juli 1998 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari (Alm.) Bapak Indra S. P. Ritonga dan Ibu Justina. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 2 Perumnas Way Halim (2004-2010), pendidikan menengah di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Islam Terpadu Ar Raihan (2010-2013), dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Al Azhar 3 (2013-2016). Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2016 melalui jalur Seleksi Mandiri (Simanila).

Pada bulan Januari-Februari 2019, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Luas, Kecamatan Batu Ketulis, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung. Pada bulan Juli-Agustus 2019, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Balai Besar Pengawas Obat dan Makanan, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung dengan judul “Penetapan Kadar Aflatoksin M₁ dalam Susu secara Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) di Balai Besar Pengawas Obat Dan Makanan (BBPOM) Bandar Lampung”. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

SANWACANA

Bismillaahirrahmaanirrahiim. Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul “Kajian Pemanfaatan Sampah Daun Kering Kampus Universitas Lampung sebagai Bahan Baku Asap Cair” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknologi Pertanian di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung sekaligus pembimbing utama serta pembimbing akademik atas bantuan, fasilitas, arahan, saran, motivasi, dan bimbingan yang telah diberikan selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi;
3. Bapak Ir. Harun Al Rasyid, M.T., selaku pembimbing kedua atas bantuan, saran, motivasi, dan bimbingan yang telah diberikan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
4. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo. M.Si., selaku penguji atas saran, bimbingan, dan evaluasi terhadap karya skripsi penulis.
5. Bapak dan Ibu dosen dan Staf administrasi dan laboratorium yang telah memberikan ilmu, wawasan dan bantuan kepada penulis selama kuliah;
6. Keluargaku tercinta, Papa dan Mama serta Adik yang selalu senantiasa memberikan dukungan, motivasi, materi dan doa yang selalu menyertai penulis selama ini;

7. Rifal, Uriah, Aqshal, Aisyah, dan Rachma, yang telah senantiasa turut membantu penulis selama penelitian. Teman-teman terbaik saya yang tidak dapat disebutkan satu per satu dan teman-teman seperjuangan THP 2016. Terimakasih atas waktu, kebersamaan, bantuan, dan dukungannya selama ini;
8. Listiani, teman *online* terbaik, yang selalu senantiasa turut membantu penulis selama pengerjaan skripsi. Terima kasih atas bantuan, semangat, dan doa yang menyertai penulis. Seno, Agung, Yunia, dan Aulia Rahma Sari, terima kasih atas bantuan, dukungan, dan kebersamaannya selama ini;
9. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun, bermanfaat, dan dipergunakan dengan sebaik-baiknya bagi penulis serta pembaca.

Bandarlampung, 17 Desember 2021

Dinda Nur Annisa Ritonga

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Kerangka Pemikiran.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Sampah.....	4
2.1.1. Jenis Sampah.....	6
2.1.2. Timbulan Sampah.....	8
2.1.3. Sifat Sampah.....	9
2.2. Asap Cair.....	11
2.2.1. Komponen Aktif dalam Asap Cair.....	12
2.2.2. Jenis Asap Cair.....	16
2.2.3. Manfaat Asap Cair.....	17
2.3. Pirolisis.....	19
III. METODOLOGI.....	22
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.2. Alat dan Bahan.....	22
3.3. Metode Penelitian.....	23
3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	23
3.4.1. Pembuatan Asap Cair.....	23
3.4.2. Pemisahan Tar pada Asap Cair.....	25
3.5. Pengamatan.....	27
3.5.1. Kadar Air.....	27

3.5.2. Rendemen	28
3.5.3. Nilai pH	28
3.5.4. Analisis Senyawa Aktif Asap Cair Sampah	
Daun Kering	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Sebaran Pohon di Kampus Universitas Lampung	29
4.2. Hasil Pirolisis.....	30
4.3. Nilai pH	34
4.4. Hasil Analisis Senyawa Aktif Asap Cair Sampah	
Daun Kering	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil Perhitungan Kadar Air dan Rendemen Asap Cair dari Berbagai Bahan Baku	31
2. Standar Asap Cair	35
3. Senyawa Aktif Asap Cair Sampah Daun Jati Kering.....	37
4. Senyawa Aktif Asap Cair Sampah Daun Kerai Payung Kering	38
5. Senyawa Aktif Asap Cair Sampah Daun Tanjung Kering.....	39
6. Senyawa Aktif Asap Cair Sampah Daun Bungur Kering	40
7. Data Hasil Perhitungan Kadar Air dan Rendemen Asap Cair dari Berbagai Bahan Baku.....	55
8. Data Hasil Perhitungan Nilai pH Asap Cair dari Berbagai Bahan Baku.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Alir Kerangka Pemikiran	5
2. Alat Pirolisis.....	24
3. Diagram Alir Pembuatan Asap Cair Sampah Daun Kering.....	25
4. Diagram Alir Pemisahan Tar Pada Asap Cair Sampah Daun Kering	26
5. Grafik Nilai pH Asap Cair dari Berbagai Bahan Baku	35
6. Penimbangan Wadah Kosong	54
7. Penimbangan Bahan Baku	54
8. Proses Pirolisis	54
9. Proses Terbentuknya Asap Cair	54
10. Pengukuran Suhu	54
11. Penyaringan Tar	54
12. Penimbangan Cawan untuk Analisis Kadar Air.....	55
13. Pengukuran pH.....	55

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini sampah masih menjadi permasalahan yang berkaitan erat dengan lingkungan. Apabila sampah tidak dikelola dengan baik, akan dapat menimbulkan permasalahan lingkungan yang akan terus berlanjut. Sampah yang menumpuk di suatu tempat penampungan jika tidak dikelola dengan baik dapat memperburuk kondisi lingkungan di sekitarnya, sehingga dapat menimbulkan dampak negatif yang ditimbulkan terhadap lingkungan, antara lain pencemaran lingkungan, penyumbatan saluran *drainage* dan menjadi sumber penyakit (Kurniaty *et al.*, 2016).

Kampus Universitas Lampung Gedung Meneng, Bandar Lampung mulai dibangun pada tahun 1976 yang asal mulanya adalah kebun masyarakat yang dibebaskan oleh pemerintah daerah provinsi Lampung. Pembangunan gedung-gedung di Kampus Universitas Lampung dengan perencanaan tapak kampus yang memperhatikan keberadaan pohon dan tanaman ornamen sebagai elemen kampus. Sejalan dengan proses pembangunan gedung-gedung, prasarana transportasi (jalan), dan kawasan parkir, selain mempertahankan tanaman yang ada, Universitas Lampung menanam tanaman agar terjadi rasio yang ideal antara RTB (ruang terbuka bangunan) dengan RTH (ruang terbuka hijau). Pohon di dalam kawasan Universitas Lampung sangat heterogen, dan sampai saat ini terdapat lebih kurang 100 jenis pohon yang tersebar di seluruh wilayah Universitas Lampung (Syam *et al.*, 2007).

Mengingat Universitas Lampung terdapat banyak pepohonan hijau, sampah daun merupakan timbunan sampah yang sering dijumpai di sekitar Universitas Lampung. Berdasarkan hasil penelitian Yuliandari (2019), sebanyak 62% komposisi sampah di lingkungan Kampus Universitas Lampung yang paling banyak yaitu sampah yang dapat dikomposkan dan sampah yang paling mendominasi di lingkungan Kampus Universitas Lampung yaitu dedaunan dan sisa bangunan. Upaya pengelolaan berbagai jenis sampah di lingkungan Kampus Universitas Lampung dilakukan secara individu pada setiap unit atau jurusan di masing-masing fakultas. Pengelolannya meliputi pewadahan, pengumpulan, dan pembakaran di area terbuka tanpa adanya penanganan lebih lanjut. Dilakukannya pembakaran sampah di area terbuka secara tak terkendali akan mengakibatkan polusi udara, mengganggu pernafasan, dan estetika (Yuliandari *et al.*, 2019). Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi masalah persampahan yaitu adanya pengelolaan sampah daun menjadi asap cair. Selain mengurangi masalah lingkungan, dengan memanfaatkan sampah daun kering menjadi asap cair dapat meningkatkan nilai ekonomi sampah daun.

Asap cair (*liquid smoke*) merupakan hasil samping dari proses karbonisasi atau pembakaran bahan yang mengandung lignoselulosa dengan udara terbatas (pirolisis), yang melibatkan reaksi dekomposisi karena adanya pengaruh panas, polimerisasi, dan kondensasi/pengembunan asap menjadi bentuk cairan (Darmadji, 2002). Selama pembakaran, komponen dari bahan baku akan mengalami pirolisis yang akan menghasilkan beberapa senyawa antara lain fenol, karbonil, asam, furan, alkohol, lakton, hidrokarbon, polisiklik aromatik, dan senyawa lain. Asap cair dapat dijadikan sebagai bahan pengawet, antibakteri, biopestisida, *biofuel*, dan sebagai koagulan serta dapat mengurangi bau busuk pada pengolahan karet (Gumanti, 2006). Menurut Mardyaningsih *et al.* (2016), asap cair dapat dibuat dari berbagai macam jenis kayu, bongkol kelapa sawit, tempurung kelapa, sekam, ampas atau serbuk gergaji kayu, sampah organik, dan lain sebagainya.

Pemanfaatan asap cair dari berbagai macam daun telah dilakukan oleh Mardyaningsih *et al.* (2016) dari daun kesambi untuk pengasapan ikan dan

Widowati *et al.* (2018) dari daun tanaman kayu putih untuk koagulasi lateks. Hasil penelitian asap cair berbasis sampah organik yang diteliti oleh Haji *et al.* (2006) menghasilkan asap cair berwarna merah kecoklatan dengan kisaran rendemen 31,24-37,83%, pH 3,8-4,8, dan total fenol $8,25 \times 10^{-3}$ - $1,28 \times 10^{-2}$ %. Senyawa-senyawa asam, pH, dan persenyawaan kimia dari golongan fenol yang terkandung dalam asap cair berperan sebagai bahan pengawet untuk mencegah atau mematikan kinerja mikroorganisme perusak (Kuntjahjawi dan Darmadji, 2004). Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini akan menggunakan sampah daun kering sebagai bahan baku asap.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik asap cair dari berbagai sampah daun kering di Kampus Universitas Lampung.
2. Mengetahui rendemen hasil pirolisis dari berbagai sampah daun kering di Kampus Universitas Lampung.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu dapat memanfaatkan sampah daun kering sebagai bahan baku asap cair sehingga dapat mengurangi timbulan sampah dan dapat meningkatkan nilai ekonomi sampah daun kering.

1.4. Kerangka Pemikiran

Limbah biomassa merupakan bahan organik, sumber energi, dan bahan baku produk lainnya yang banyak dijumpai di sekitar kita dan berpotensi untuk diolah lebih lanjut. Biomassa tersebut belum dapat diambil manfaatnya secara ekonomi sebelum dilakukan proses lanjut/daur ulang. Beberapa limbah biomassa yang potensial untuk dijadikan bahan baku diantaranya yaitu tempurung kelapa,

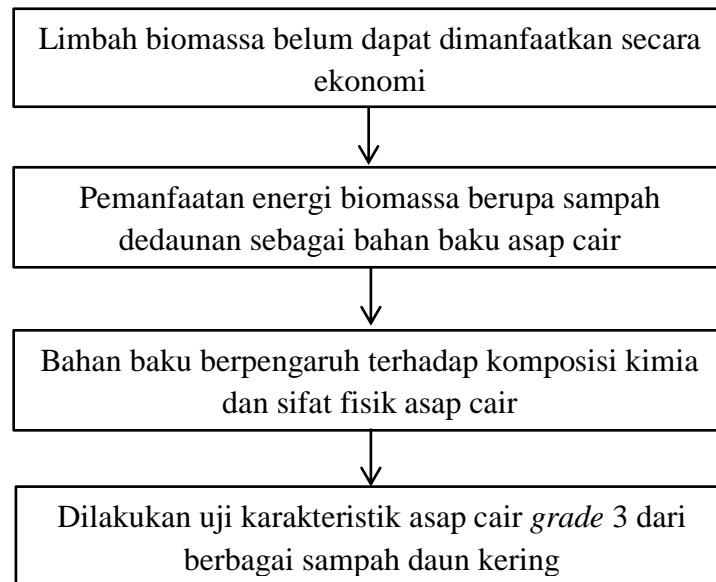
sampah organik, jerami, cangkang kopi, cangkang sawit. Hasil olahan dari limbah biomassa tersebut dapat digunakan untuk konversi energi, komposit material, bahan bakar briket, bahan pengawet berupa asap cair dan lainnya (Slamet, 2015).

Berdasarkan penelitian Anungputri (2019), sampah jalanan yang berasal dari pembersihan jalan dan trotoar baik dengan tenaga manusia maupun dengan tenaga mesin yang terdiri dari kertas kertas, dedaunan, dan lain lain memiliki nilai kalori sebesar 12,81 MJ/kg. Menurut Anungputri (2019), dengan adanya kandungan kalori yang terdapat dalam sampah jalanan tersebut memungkinkan adanya peluang untuk pemanfaatan sampah jalanan sebagai sumber energi baru. Salah satu cara alternatif yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan energi biomassa yang berupa sampah yaitu pirolisis. Salah satu produk yang dapat dihasilkan dari proses pirolisis adalah asap cair (Ridhuan *et al.*, 2019).

Asap cair merupakan hasil kondensasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran yang diperoleh melalui proses pirolisis (pembakaran tanpa udara). Produk ini berasal dari komposisi biomassa asli yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, ekstraktif, lipid, protein, gula sederhana, pati, air, hidrokarbon, abu, dan senyawa lain (Dickerson dan Soria, 2013). Menurut Sarwendah *et al.* (2019), komposisi kimia dan sifat fisik asap cair tergantung dari bahan baku yang akan digunakan. Asap cair diketahui mengandung senyawa fenol, karbonil, dan asam-asam organik yang mampu membunuh mikroorganisme perusak karena terdapat senyawa fenol dan asam-asam organik yang berperan sebagai antioksidan dan antibakteri.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik asap cair sampah daun kering. Berdasarkan penelitian Haji *et al.* (2006) yang menggunakan sampah organik sebagai bahan baku pembuatan asap cair yang dibakar selama 5 jam menghasilkan asap cair grade 3 berwarna merah kecoklatan dengan kisaran rendemen 32,87-34,67%, pH 3,8-4,8, total fenol $6,15 \times 10^{-3}$ - $2,24 \times 10^{-2}$ %, dan terdapat dua senyawa dengan konsentrasi tertinggi, yaitu 1,1-dimetil hidrazin (8,98%), dan 2,6-dimetoksi fenol (8,68%). Selain itu, teridentifikasi 17 senyawa (27,9%) golongan keton, 14 senyawa golongan fenolik (23%), 8 senyawa

golongan asam karboksilat (13%), 7 senyawa alkohol (11,5%), 4 senyawa ester (6,6%), 3 senyawa aldehid (4,9%), dan lain-lain rata-rata 1 senyawa (1,6%). Menurut Haji *et al.* (2006), pada hampir semua asap cair dari berbagai jenis bahan baku dapat ditemukan adanya beberapa senyawa golongan fenolik.



Gambar 1. Diagram alir kerangka pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sampah

Limbah merupakan suatu bahan yang terbuang, atau sengaja dibuang dari suatu sumber hasil atau aktivitas manusia maupun proses alam dan tidak atau belum memiliki nilai ekonomi, bahkan dapat memiliki nilai ekonomi yang negatif, karena diperlukan biaya tambahan untuk pengumpulan, penanganan dan pembuangannya (Murtadho dan Said, 1988). Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), sampah didefinisikan sebagai semua buangan yang dihasilkan dari aktivitas manusia dan hewan yang berupa padatan, yang dibuang karena tidak diperlukan atau tidak dapat digunakan kembali. Berdasarkan UU RI Nomor 18 Tahun 2008 dan PP RI Nomor 81 Tahun 2012, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Hal tersebut merupakan pengertian secara umum sedangkan secara khusus, limbah padat dapat disebut dengan sampah, yang memiliki pengertian suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil aktivitas manusia maupun proses alam yang belum memiliki nilai ekonomi (Suprihatin *et al.*, 1999).

2.1.1. Jenis Sampah

Menurut Fadhilah *et al.* (2011), sampah dapat diidentifikasi berdasarkan jenisnya yaitu: (Bahar, 1986)

a. Sampah Basah (*Garbage*)

Limbah padat semi basah berupa bahan-bahan organik yang berasal dari sektor pertanian dan pangan termasuk dari sampah pasar. Sampah ini mempunyai ciri mudah terurai oleh mikroorganisme dan mudah membusuk karena mempunyai rantai kimia yang relatif pendek. Jenis sampah ini ketika membusuk dan bila terkena genangan air, kebanyakan masyarakat enggan untuk menanganinya (Nisandi, 2007).

b. Sampah Kering (*Rubbish*)

Sampah organik yang tak mudah membusuk (*rubbish*) yaitu limbah padat organik kering yang sulit terurai oleh mikroorganisme sehingga sulit membusuk. Hal ini dikarenakan sampah jenis ini memiliki rantai kimia yang panjang dan kompleks. Contoh dari sampah ini adalah kertas dan selulosa (Murtadho dan Said, 1997). Sampah sisa pengolahan yang tidak mudah membusuk dibagi menjadi dua golongan:

- Sampah yang tidak mudah membusuk namun mudah terbakar.
- Sampah yang tidak mudah membusuk dan tidak mudah terbakar.

c. *Ashes* dan *Cinder*

Berbagai jenis abu dan arang yang berasal dari kegiatan pembakaran.

d. *Dead Animal*

Sampah yang berasal dari bangkai hewan.

e. *Street Sweeping*

Sampah atau kotoran yang berserakan di sepanjang jalan.

f. *Industrial Waste*

Sampah yang berasal dari kegiatan industri. Sampah jenis ini umumnya lebih homogen dibandingkan dengan jenis sampah yang lainnya.

Berdasarkan asalnya, sampah dibagi menjadi dua golongan: (Suprihatin, 1999)

1. Sampah Organik

Sampah yang terdiri dari bahan–bahan penyusun tumbuhan dan hewan yang diambil dari alam atau dihasilkan dari kegiatan pertanian, perikanan atau yang lainnya. Sampah ini mudah diuraikan secara alami. Sampah rumah tangga sebagian besar sampah organik, termasuk sampah organik misalnya sampah dari dapur, sisa tepung, sayuran, kulit buah, dan daun (Nisandi, 2007).

2. Sampah Anorganik

Sampah yang berasal dari sumber daya alam tak terbarui seperti mineral dan minyak bumi atau dari proses industri. Beberapa dari bahan ini tidak terdapat di alam, seperti plastik dan aluminium. Sebagian zat anorganik secara keseluruhan tak dapat diuraikan oleh alam, sedangkan sebagian lainnya hanya dapat diuraikan dalam waktu yang lama. Sampah jenis ini pada tingkat rumah tangga misalnya: botol kaca, botol plastik, tas plastik, dan kaleng (Nisandi, 2007).

2.1.2. Timbulan Sampah

Timbulan sampah adalah banyaknya sampah yang timbul dari masyarakat dalam satuan volume maupun berat per kapita perhari, per luas bangunan atau perpanjang jalan (SNI 19-2454-2002). Data timbulan sampah penting diketahui untuk menentukan fasilitas setiap unit pengelolaan sampah dan kapasitasnya misalnya fasilitas peralatan, kendaraan pengangkut dan rute angkutan, fasilitas daur ulang, luas dan jenis TPA. Metode pengukuran timbulan sampah ada beberapa cara (Tchobanoglous *et al.*, 1993), antara lain:

1. Analisis perhitungan beban (*Load-Count Analysis*) yaitu jumlah masing-masing volume sampah yang masuk ke TPA dihitung dengan mencatat; volume, berat, jenis angkutan dan sumber sampah kemudian dihitung jumlah timbulan sampah kota selama periode tertentu.
2. Analisis berat-volume (*Weight-Volume Analysis*), yaitu jumlah masing-masing volume sampah yang masuk ke TPA dihitung dengan mencatat volume dan berat sampah, kemudian dihitung jumlah timbulan sampah kota selama periode tertentu.
3. Analisis kesetimbangan bahan (*Material-Balance Analysis*) menghasilkan data lebih lengkap untuk sampah rumah tangga, industri, dan lainnya juga diperlukan untuk program daur ulang.

2.1.3. Sifat Sampah

Sampah mempunyai sifat fisik, kimia, dan biologis. Pengetahuan akan sifat-sifat ini sangat penting untuk perencanaan dan pengelolaan sampah secara terpadu. Sampah diklasifikasikan dalam karakteristiknya sebagai berikut (Tchobanoglous *et al.*, 1993) yaitu:

1. Karakteristik Fisik

a. Berat Spesifik Sampah

Dinyatakan sebagai berat per unit (kg/m^3). Dalam pengukuran berat spesifik sampah, perlu disebutkan dimana dan dalam kondisi bagaimana sampah diambil sebagai *sampling* untuk menghitung berat spesifik sampah. Berat spesifik sampah dipengaruhi oleh letak geografis, lokasi, jumlah musim, dan lama waktu penyimpanan. Hal tersebut sangat penting untuk mengetahui volume sampah yang diolah. Penelitian komposisi sampah dengan metode *sampling* dengan jumlah sampel 100 kg (Tchobanoglous *et al.*, 1993; ASTM D5231-92 (2008)), pengambilan sampel minimal selama seminggu. Pengambilan sampel sampah secara random di TPS dilakukan dengan metode perempatan (*quarterly method*), yaitu mengaduk serata mungkin, kemudian sampah tersebut dibagi menjadi empat bagian, sedemikian seterusnya sampai diperoleh sampel sebanyak 100 kg. Penentuan *recovery factor* (persentase setiap komponen sampah yang masih dapat dimanfaatkan kembali/didaur ulang) dilakukan dengan cara dipilah komponen yang bisa didaur ulang dan dibuat kompos, kemudian ditimbang kembali.

b. Kelembaban

Kelembaban sampah dapat dinyatakan dengan dua cara, yaitu dengan metode berat basah dan metode berat kering. Metode basah dinyatakan dalam persen berat basah bahan dan metode kering dinyatakan sebagai persen berat kering bahan. Metode berat kering merupakan metode yang paling umum digunakan untuk mengetahui kelembaban sampah. Rumus kelembaban dari berat basah adalah:

$$M = \frac{w-d}{w} \times 100$$

dimana: M = Kelembaban (%)

 w = Berat sampah basah (kg)

d = Berat sampah setelah dikeringkan pada suhu 105°C

c. Ukuran Partikel

Ukuran partikel penting untuk diketahui dalam proses pengolahan akhir sampah, terutama pada tahap mekanis untuk mengetahui ukuran penyaringan dan pemisahan magnetik.

d. *Field Capacity*

Merupakan jumlah air yang dapat tertahan dalam sampah, dan dapat keluar dari sampah akibat daya gravitasi. *Field capacity* sangat penting untuk mengetahui komponen lindi dalam *landfill*. *Field capacity* bervariasi tergantung dari perbedaan tekanan dan dekomposisi sampah. Sampah dari daerah permukiman dan komersial yang tanpa pemadatan *field capacity* sebesar 50 % sampai 60 %.

e. Kepadatan Sampah

Konduktivitas sampah sangat penting untuk mengetahui pergerakan dari cairan dan gas dalam *landfill*.

2. Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia sampah sangat penting dalam mengevaluasi proses alternatif dan pilihan pemulihan energi. Apabila sampah digunakan sebagai energi bahan bakar, maka komponen yang harus diketahui adalah analisis proksimasi (kandungan air, kandungan abu, dan kandungan karbon tetap), titik abu sampah, analisis ultimasi (persentase C, H, O, N, S, dan abu) dan besarnya energi.

a. Analisis Proksimasi

Bertujuan mengetahui bahan-bahan yang mudah terbakar dan tak mudah terbakar. Umumnya, uji ini dilakukan untuk komponen yang mudah terbakar agar dapat mengetahui kandungan volatil, kandungan abu, kandungan karbon tetap dan kandungan air.

b. Titik Abu Sampah

Titik abu adalah temperatur dimana dihasilkan abu dari hasil pembakaran sampah yang berbentuk padatan dengan peleburan atau penggumpalan. Temperatur berkisar antara 1100°C sampai 1200°C.

c. Analisis Ultimasi

Analisis ultimasi merupakan penentuan persentase komponen yang ada dalam sampah seperti persentase senyawa C, H, N, S, dan abu. Analisis ultimasi ini bertujuan untuk menentukan karakteristik kimia bahan organik sampah secara biologis. Misalnya, pada *composting* perlu diketahui rasio C/N sampah agar dapat berlangsung dengan baik.

d. Kandungan Energi

Kandungan energi dari komponen organik dari sampah dapat ditentukan dengan *Bomb Calorimeter*.

3. Karakteristik Biologis

Sampah organik memiliki komposisi biologis. Fraksi organik dari sampah dapat dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu:

- a. Kandungan terlarut seperti gula, asam amino, dan berbagai macam asam organik.
- b. Hemiselulosa, yaitu hasil penguraian gula.
- c. Selulosa, yaitu hasil penguraian glukosa.
- d. Lemak, minyak, dan lilin.
- e. Lignin, material polimer yang terdiri dari cincin aromatik dengan gugus metoksil. Biasanya terdapat pada kertas, seperti kertas koran dan *fibreboard*.
- f. Lignoselulosa, kombinasi dari lignin, dan selulosa.

2.2. Asap Cair

Asap cair merupakan suatu hasil proses pengembunan/kondensasi dari uap hasil pembakaran baik secara langsung maupun tidak langsung dari bahan baku yang mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa, dan senyawa karbon lainnya (Prasetyowati *et al.*, 2014). Asap cair diperoleh dari pembakaran bahan yang banyak mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin menghasilkan senyawa fenol, senyawa asam, dan turunannya. Bahan baku yang dapat digunakan untuk menghasilkan asap cair antara lain tempurung dan serabut kelapa, sampah organik, cangkang kopi, bambu maupun merang padi. Sifat dari asap cair

dipengaruhi oleh komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang proporsinya bervariasi tergantung pada jenis bahan yang akan dipirolisis (Ridhuan *et al.*, 2019).

Asap cair juga mengandung senyawa yang merugikan yaitu tar, dan senyawa benzopiren yang bersifat toksik dan karsinogenik serta menyebabkan kerusakan asam amino esensial dari protein, dan vitamin. Pengaruh ini disebabkan adanya sejumlah senyawa kimia di dalam asap cair yang dapat bereaksi dengan komponen bahan makanan (Lingbeck *et al.*, 2014). Prinsip utama dalam pembuatan asap cair sebagai bahan pengawet adalah dengan mendestilasi asap yang dikeluarkan oleh bahan berkarbon dan diendapkan dengan destilasi multi tahap untuk mengendapkan komponen yang larut (Kasim *et al.*, 2015). Asap cair yang telah dipisahkan dari kandungan tar berat berupa cairan bersifat asam dalam pelarut fase air dan berwarna kuning kecoklatan bergantung pada jenis kayu (Sarwendah *et al.*, 2019). Menurut Eddy (1993), untuk mendapatkan mutu dan volume asap sesuai yang diharapkan, digunakan jenis kayu keras (*non-resinous*), bila menggunakan kayu yang lunak (*resinous*), asap yang dihasilkan banyak mengandung senyawa dan bau yang tidak diharapkan.

2.2.1. Komponen Aktif dalam Asap Cair

Selama proses pembakaran, komponen utama dari kayu (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) akan mengalami pirolisis yang dapat menghasilkan bermacam-macam senyawa, yaitu fenol, karbonil, asam, furan, alkohol, lakton, hidrokarbon polisiklis aromatis, dan lain sebagainya (Hestirianto dan Darmadji, 2008). Menurut Girard (1992), dari 1000 senyawa yang terkandung dalam asap cair, terdapat lebih dari 300 senyawa dapat diisolasi. Senyawa yang berhasil terdeteksi dalam asap cair dapat dikelompokkan menjadi:

1. Fenol (85 senyawa), karbonil, keton dan aldehid (45 senyawa), asam (35 senyawa), furan (11 senyawa), alkohol dan ester (15 senyawa), lakton (13 senyawa), polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) (47 senyawa) dan hidrokarbon alifatik (1 senyawa) yang telah teridentifikasi dalam kondensat.

2. Hidrokarbon alifatik (20 senyawa) dan PAH (20 senyawa) yang telah teridentifikasi dalam produk asap.

Menurut Hollenbeck (1976), terdapat tiga komponen utama dari asap cair yaitu senyawa fenol, karbonil dan asam.

- a. Fenol

Fenol merupakan suatu senyawa yang hanya memiliki satu gugus hidroksil pada penyusunnya (C_6H_6O). Fenol memiliki berat molekul (BM) sekitar 94,11 dengan titik didih $181,2^\circ C$. Fenol termasuk senyawa metabolit sekunder yang merupakan turunan dari pentosa fosfat, shikimate serta fenilpropanoid yang terdapat pada tanaman (Randhir *et al.*, 2004). Menurut Maga (1987), senyawa fenol yang terdapat dalam asap cair umumnya berupa hidrokarbon aromatik yang tersusun dari cincin benzene dan sejumlah gugus hidroksil yang terikat. Senyawa fenol ini juga dapat mengikat gugus-gugus lain seperti aldehida dan ester. Senyawa fenol cenderung larut dalam air, umumnya berikatan dengan gula sebagai glikosida dan biasanya terdapat dalam vakuola sel. Menurut Hardiana *et al.* (2012), senyawa fenol paling banyak terdistribusi pada bagian tumbuhan dengan kadar yang berbeda-beda pada setiap bagian tumbuhan. Fenol terdistribusikan pada tumbuhan bermanfaat sebagai antioksidan biasanya digunakan untuk mencegah reaksi radikal bebas (Lestari *et al.*, 2018).

Senyawa terbesar yang terkandung dalam asap cair yang berfungsi sebagai pengawet yaitu senyawa fenol yang diduga berperan sebagai antioksidan dengan cara mencegah proses oksidasi senyawa protein dan lemak sehingga proses pemecahan senyawa tersebut tidak terjadi dan dapat memperpanjang masa simpan produk. Golongan senyawa fenol yang terdapat dalam asap cair yaitu guaikol (memberi rasa asap), 4-metil guaikol, 2,6-dimetoksi fenol, dan siringol (memberi aroma asap). Peran antioksidatif ditunjukkan oleh senyawa fenol bertitik didih tinggi terutama 2,6-dimetoksifenol, 2,6 dimetoksi-4, metilfenol, dan 2,6 dimetoksi-4-etilfenol yang bertindak sebagai donor hidrogen terhadap radikal bebas dan menghambat reaksi rantai. Sebagai antimikroba, fenol membunuh mikroba dengan cara merusak membran sitoplasma dalam selaput lemak luar mikroba. Senyawa ini efektif terhadap hampir semua jenis bakteri dan beberapa

bakteri gram negatif yang resisten (Salindeho *et al.*, 2017). Mekanisme penghambatan fenol terhadap mikroba sebagai berikut: (Fardiaz, 1989)

- 1) Merusak dinding sel sehingga mengakibatkan lisis atau menghambat proses pembentukan dinding sel pada sel yang sedang tumbuh.
- 2) Mengubah permeabilitas membran sitoplasma yang menyebabkan kebocoran nutrisi dari dalam sel.
- 3) Mendenaturasi protein sel.
- 4) Merusak sistem metabolisme di dalam sel dengan cara menghambat kerja enzim intraseluler.

b. Karbonil

Senyawa karbonil adalah kelompok senyawa organik yang mengandung gugus karbonil (C=O). Menurut Prasetyowati *et al.* (2014), senyawa karbonil terbentuk karena adanya proses dekomposisi termal dan reaksi penataan ulang selulosa dan hemiselulosa (Girard, 1992). Menurut Maga (1987), terdapat sekitar 107 jenis senyawa karbonil dalam asap berbagai jenis kayu, tetapi jenis senyawa yang ditentukan adalah vanillin dan siringaldehid. Senyawa-senyawa karbonil yang terkandung dalam asap cair meliputi formaldehid, glikoaldehid, metilglioksal, diasetil, furfural, aseton, dan hidroksiaseton. Glikoaldehid dan metilglioksal merupakan bahan pencoklat yang aktif dengan gugus amino sedangkan aseton memiliki potensi pencoklatan yang lebih rendah. Formaldehid lebih mudah bereaksi dengan gugus aminonya tanpa menaikkan intensitas warna coklat (Ruiter, 1979). Senyawa karbonil (aldehid dan keton) memiliki pengaruh utama pada warna (reaksi Maillard) sedangkan pengaruhnya pada citarasa kurang menonjol (Ndahawali, 2018).

c. Asam

Asam organik merupakan suatu senyawa organik yang memiliki derajat keasaman. Senyawa asam yang terkandung dalam destilat asap cair diantaranya yaitu format, asetat, propionat, butirrat, valerat, dan isokaproat. Pada bidang biologi, terdapat gugus asam dengan derajat keasaman yang rendah, misalnya gugus -OH, -SH, gugus enol, dan gugus fenol. Senyawa bio-organik dengan gugus jenis ini tidak digolongkan sebagai asam organik. Contoh senyawa tersebut

antara lain asam laktat, asam asetat, asam format, asam sitrat dan asam oksalat. Asam asetat, asam etanoat atau asam cuka adalah senyawa kimia asam organik yang dikenal sebagai pemberi rasa asam dan aroma dalam makanan. Asam cuka memiliki rumus empiris $C_2H_4O_2$. Rumus ini seringkali ditulis dalam bentuk CH_3COOH , CH_3COOH , atau CH_3CO_2H (Prasetyowati *et al.*, 2014).

Senyawa-senyawa asam memiliki peran sebagai antibakteri dan dapat membentuk cita rasa pada produk asap. Senyawa asam yang berasal dari asap cair dapat mempengaruhi flavor, pH, dan umur simpan makanan. Senyawa asam terutama asam asetat, memiliki aktivitas antimikrobia dan pada konsentrasi 5% mempunyai efek bakterisidal (Ndahawali, 2018). Asam asetat bersifat mampu menembus dinding sel dan secara efisien mampu menetralkan gradient pH transmembran (Pszczola, 1995).

d. Hidrokarbon Polisiklis Aromatik (HPA)

Senyawa hidrokarbon polisiklis aromatis (HPA) dapat terbentuk selama proses pirolisis berlangsung. Pembentukan berbagai senyawa HPA selama pembuatan asap tergantung dari beberapa hal, seperti temperatur pirolisis, waktu dan kelembaban udara pada proses pembuatan asap serta kandungan udara dalam kayu (Girard, 1992). Menurut Prasetyowati *et al.* (2014), dari 100 lebih senyawa HPA yang terdeteksi di alam, hanya terdapat 16 jenis senyawa yang merupakan polutan utama. Salah satu jenis senyawa dari persenyawaan HPA yaitu senyawa benzo(a)pyren yang mempunyai efek karsinogenik yang paling berbahaya, dapat beresiko menjadi penyebab terbentuknya tumor (Prasetyowati *et al.*, 2014). Menurut Girard (1992), mekanisme pembentukan benzo(a)pyren terjadi pada saat proses dekomposisi senyawa-senyawa volatile yang terbentuk selama pirolisis berlangsung, yang menghasilkan radikal metil dan hydrogen. Dimerisasi metil menghasilkan etilen dan melalui reaksi polimerisasi akan membentuk senyawa cincin benzo(a)pyren (Prasetyowati *et al.*, 2014).

Agar dapat mengurangi kadar HPA pada asap cair perlu dilakukan pemurnian asap cair. Menurut Fauziati dan Haspiadi (2015), proses pemurnian asap cair dapat dilakukan dengan berbagai tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Penyaringan

Penyaringan dilakukan untuk memisahkan kotoran yang berwarna hitam pada asap cair.

2. Destilasi

Destilasi dilakukan dengan tujuan untuk memisahkan tar yang bersifat karsinogenik dari asap cair. Suhu destilasi yang digunakan berkisar 120°-150°C.

3. Penambahan Adsorben

Pemilihan jenis adsorben dalam proses adsorpsi untuk pemurnian asap cair harus disesuaikan dengan sifat dan keadaan zat yang akan diadsorpsi dan nilai komersilnya.

2.2.2. Jenis Asap Cair

Jenis asap cair dibedakan atas penggunaannya. Terdapat 3 jenis *grade* asap cair, yaitu sebagai berikut: (Ndahawali, 2018)

- a. Asap cair *grade* 1 merupakan asap cair yang dihasilkan dari hasil proses destilasi, disaring dengan zeolit, dan dilanjutkan dengan penyaringan dengan karbon aktif. Asap cair *grade* 1 berwarna bening, rasa sedikit asam, aroma netra. Asap cair jenis ini dapat digunakan untuk pengawetan bahan makanan siap saji seperti mie basah, bakso, tahu, dan sebagai penambah cita rasa pada makanan.
- b. Asap cair *grade* 2 merupakan asap cair yang dihasilkan setelah melewati proses redestilasi (pemurnian). Proses redestilasi ini menyebabkan kandungan senyawa berbahaya seperti benzo(a)pyrene serta tar yang masih terdapat dalam asap cair teradsorbi oleh zeolit. Asap cair ini memiliki rasa asam sedang, warna kuning kecoklatan, aroma asap lemah dan digunakan untuk makanan dengan *taste* asap dan diorientasikan untuk pengawetan bahan makanan seperti daging asap, bakso, mie tahu, ikan kering, telur asap, bumbu barbeque, dan ikan asap atau bandeng asap.
- c. Asap cair *grade* 3 merupakan asap cair yang dihasilkan dari pemurnian dengan metode destilasi. Destilasi merupakan proses pemisahan campuran dalam fasa cair berdasarkan perbedaan titik didihnya. Dalam proses ini, asap

cair yang dihasilkan dari proses pirolisis yang diperkirakan masih mengandung tar dimasukkan ke dalam tungku destilasi. Suhu pemanasan dijaga agar tetap konstan sehingga diperoleh destilat yang terbebas dari tar. Suhu proses destilasi ini adalah sekitar 150°C. Asap cair yang dihasilkan dari proses ini memiliki ciri berwarna coklat pekat dan berbau tajam. Umumnya, asap cair *grade 3* digunakan untuk penggumpal karet pengganti asam semut, penyamakan kulit, pengganti antiseptik untuk kain, menghilangkan jamur, dan mengurangi bakteri patogen yang terdapat di kolam ikan.

2.2.3. Manfaat Asap Cair

Pemanfaatan asap air dalam pengolahan produk pangan memiliki beberapa keuntungan. Penggunaan asap cair menurut Maga (1987) antara lain lebih intensif dalam pemberian citarasa, hilangnya cita rasa lebih mudah dikontrol, dapat diaplikasikan pada berbagai jenis bahan pangan, lebih hemat dalam pemakaian kayu sebagai bahan asap, polusi lingkungan dapat diperkecil dan dapat diaplikasikan ke dalam bahan pangan. Selain itu, keuntungan lain yang diperoleh dari asap cair adalah sebagai berikut: (Ndahawali, 2018).

a. Keamanan Produk Pangan

Pengaplikasian asap cair yang diproses dengan baik dapat mengeliminasi komponen yang berupa hidrokarbon polisiklis aromatis. Komponen tersebut tidak diharapkan karena beberapa diantaranya bersifat karsinogen pada dosis tinggi. Melalui pembakaran terkontrol, *aging* dan teknik pengolahan yang semakin baik, tar dan fraksi minyak berat dapat dipisahkan sehingga produk asapan yang dihasilkan mendekati bebas PAH (Pszczola, 1995).

b. Aktivitas Antioksidan

Kandungan senyawa fenol dalam asap cair dapat memberikan sifat antioksidan terhadap fraksi minyak dalam produk asapan. Senyawa fenolat tersebut dapat berperan sebagai pendonor hidrogen dan bersifat efektif dalam jumlah sangat kecil untuk menghambat auto oksidasi lemak.

c. Aktivitas Antibakterial

Peran bakteriostatik dari asap cair semula hanya disebabkan karena adanya formaldehid saja namun aktivitas dari senyawa tersebut kurang efektif sebagai penyebab semua efek yang diamati. Kombinasi antara komponen fungsional fenol dan kandungan asam organik yang cukup tinggi bekerja secara sinergis mencegah dan mengontrol pertumbuhan mikrobia. Kandungan kadar asam yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan mikroba karena mikroba hanya dapat tumbuh pada kadar asam yang rendah (Pszczola, 1995). Selain itu, adanya fenol dengan titik didih tinggi dalam asap juga merupakan zat antibakteri yang tinggi.

d. Potensi Pembentukan Warna Coklat

Menurut Ruitter (1979), karbonil mempunyai efek terbesar terhadap pembentukan warna coklat pada produk asapan. Jenis komponen karbonil yang paling berperan adalah aldehyd glioksal, dan metal glioksal, sedangkan formaldehid dan hidroksiasetol memberikan peranan yang rendah. Fenol dapat berkontribusi terhadap pembentukan warna coklat pada produk yang diasap meskipun intensitasnya tidak sebesar karbonil (Ndahawali, 2018).

e. Kemudahan dan Variasi Penggunaan

Asap cair dapat digunakan dalam bentuk cairan, dalam fasa pelarut minyak, dan dalam bentuk serbuk sehingga memungkinkan penggunaan asap cair yang lebih luas dan mudah untuk berbagai produk (Pszczola, 1995).

Menurut Fauziati dan Haspiadi (2015), asap cair dapat digunakan sebagai bahan penggumpal (koagulan) dan penghilang bau busuk (*malodor*). Kemampuan asap cair menggumpalkan lateks disebabkan oleh kandungan asam asetat yang terdapat pada asap cair. Pengendalian bau busuk oleh asap cair disebabkan oleh kandungan fenol dan senyawa aromatik lainnya. Fenol mampu berfungsi sebagai antimikrobia yang dapat mencegah terjadinya pertumbuhan mikroorganisme pada blanket karet (Karseno *et al.*, 2002). Mikroorganisme tersebut akan merusak protein pada partikel karet alam dan menghasilkan H₂S yang menyebabkan bau busuk (Solichin *et al.*, 2007).

Senyawa fenol yang berperan sebagai desinfektan mampu menutup luka dalam waktu lima hari pada hewan marmut. Selain itu, diketahui bahwa senyawa fenol

dalam asap cair dapat membunuh perkembangan jamur seperti *Ganoderma sp.* dan *Polyporous alcularius* yang mengganggu pertumbuhan pohon sawit dan dapat digunakan pada pertambakan udang untuk menghindari pertumbuhan jamur (Thamrin dan Ratna, 2007). Menurut Reta (2013), asap cair *grade 3* dapat digunakan sebagai pengawet kayu agar tahan dari serangan rayap. Hal tersebut telah dibuktikan oleh Ngadianto *et al.* (2012) bahwa, tingkat keefektifan asap cair terhadap rayap (nilai mortalitas) tertinggi pada papan partikel mahoni dan papan partikel sengon berturut-turut yaitu 87% dan 58% pada konsentrasi 5%.

2.3. Pirolisis

Pirolisis merupakan proses pengarangan dengan cara pembakaran tidak sempurna bahan-bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Kebanyakan proses pirolisis menggunakan reaktor tertutup yang terbuat dari baja, sehingga bahan tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Istilah lain dari pirolisis adalah “*destructive distillation*” atau destilasi kering, yang mana merupakan proses penguraian secara tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar (Akbar *et al.*, 2013). Proses pirolisis melibatkan berbagai proses reaksi yaitu dekomposisi, oksidasi, polimerisasi, dan kondensasi (Ndahawali, 2018). Umumnya, terdapat tiga produk pada proses pirolisis yaitu gas, *pyrolisis oil*, dan arang, yang mana proporsinya tergantung dari metode pirolisis, karakteristik biomassa, dan parameter reaksi. Hal tersebut menjelaskan bahwa, saat terjadinya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara dan diberi suhu yang agak tinggi, akan menghasilkan zat dalam tiga bentuk yaitu padatan, cairan, dan gas dari hasil penguraian senyawa-senyawa kompleks yang terkandung dalam bahan.

Proses pirolisis dikategorikan menjadi 4 tipe yaitu: (Ridhuan *et al.*, 2019)

1. Pirolisis lambat (*Slow Pyrolysis*). Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan rata-rata lambat (5-7 K/menit). Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.
2. Pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*). Pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,5-2 detik, suhu 400-600°C dan proses pemadaman yang cepat pada akhir

proses. Pemadaman yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk minyak pirolisis yang hingga 75 % lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis konvensional.

3. Pirolisis Kilat (*Flash Pyrolysis*). Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. *Flash pyrolysis* pada biomassa membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 - 250 μm .
4. Pirolisis katalitik biomassa. Pirolisis ini untuk membuktikan kualitas minyak yang dihasilkan. Minyak tersebut diperoleh dengan cara pirolisis katalitik biomassa tidak memerlukan teknik pra-pengolahan sampel yang mahal yang melibatkan kondensasi dan penguapan kembali.

Energi panas yang dihasilkan pada proses pirolisis mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon kompleks terurai sebagian menjadi arang. Pirolisis untuk pembentukan arang terjadi pada suhu 150–300°C. Pembentukan arang tersebut biasa disebut dengan pirolisis primer. Arang dapat mengalami perubahan lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen, dan gas-gas hidrokarbon. Peristiwa ini disebut sebagai pirolisis sekunder (Ridhuan *et al.*, 2019).

Peristiwa dekomposisi pada proses pirolisis dapat dibagi menjadi lima zona (Reveendran *et al.*, 1996). Menurut Paris *et al.* (2005), umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu diatas 300°C dalam waktu 4-7 jam. Reaksi yang terjadi selama pirolisis kayu adalah penghilangan air dari kayu pada suhu 120-150°C (zona I), pirolisis hemiselulosa pada suhu 200-250°C dan menghasilkan senyawa furfural, furan, asam karboksilat, asam asetat, dan bahan baku mulai terdekomposisi (zona II), pirolisis selulosa pada suhu 280-320°C dan menghasilkan senyawa asam dan homolognya, bersama dengan air dan beberapa furan dan fenol. (zona III), pirolisis pada suhu 350°C–500°C terjadi dekomposisi selulosa dan lignin (zona IV), dan pirolisis lignin pada suhu 300-350°C dan berakhir pada 400- 450°C akan menghasilkan senyawa fenol, eter fenol seperti guaiakol, siringol dan homolog, serta derivatnya (zona V) (Ndahawali, 2018).

Pirolisis pada suhu 400°C dapat menghasilkan senyawa yang mempunyai kualitas organoleptik yang tinggi dan pada suhu lebih tinggi lagi akan terjadi reaksi kondensasi pembentukan senyawa baru dan oksidasi produk kondensasi diikuti kenaikan linier senyawa tar dan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) (Girard, 1992; Maga, 1988).

III. METODOLOGI

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Hasil Pertanian dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian serta di Unit Laboratorium Jasa Pengujian, Kalibrasi dan Sertifikasi, Institut Pertanian Bogor pada bulan Desember 2020 sampai dengan bulan Januari 2021.

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk proses pirolisis yaitu wadah pengarangan, ruang pembakaran (*furnace*), thermostat, penampung tar atau asap cair, kondensor, silinder retor, wadah penampung asap cair, dan selang. Peralatan yang dibutuhkan untuk karakterisasi asap cair digunakan antara lain pH meter, Erlenmeyer, botol, timbangan digital, gelas ukur, oven, dan peralatan gelas umum yang terdapat di laboratorium analisis hasil pertanian dan laboratorium pengelolaan limbah agroindustri, sedangkan peralatan utama yang digunakan adalah GC (*Gas Chromatography*) MS (*Mass Spectrometry*), kolom, unit SPME (*Solid-Phase Microextraction*), dan vial.

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sampah daun yang berada pada lingkungan sekitar GSG Universitas Lampung, Fakultas MIPA, Fakultas Pertanian dan perpustakaan Universitas Lampung.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan *sampling* dari beberapa jenis daun tertentu yang berada pada lingkungan sekitar GSG Universitas Lampung, Fakultas MIPA, Fakultas Pertanian dan perpustakaan Universitas Lampung. Sampah daun yang diambil yaitu sampah dengan kategori sampah kering yang didapat dari masing-masing titik diantaranya yaitu daun jati, daun bungur, daun kerai payung, dan daun tanjung dengan 3 ulangan untuk setiap jenis daun. Pengujian karakteristik asap cair sampah daun kering dilakukan terhadap kadar air sampah daun kering, rendemen, nilai pH, dan analisis senyawa aktif asap cair sampah daun. Data hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel serta grafik dan dianalisis secara deskriptif.

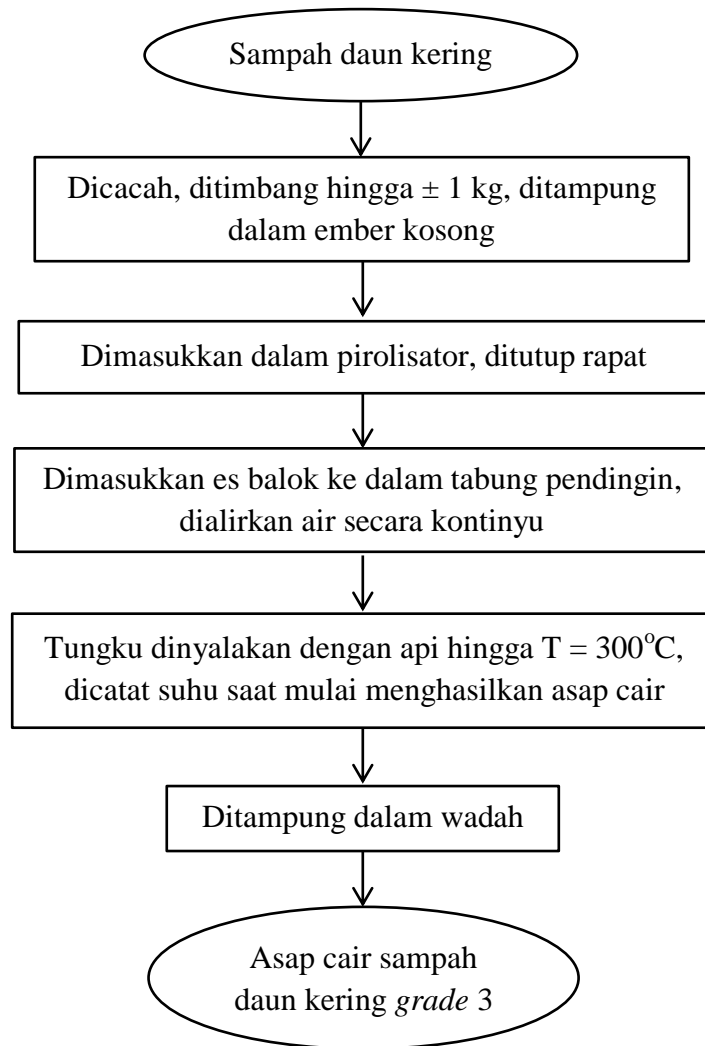
3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Pembuatan Asap Cair

Pembuatan asap cair berdasarkan Haji *et al.* (2006) yang dimodifikasi. Bahan baku yang digunakan yaitu sampah daun kering yang diperoleh dari lingkungan GSG Universitas Lampung, Fakultas MIPA, Fakultas Pertanian, dan perpustakaan Universitas Lampung. Sampah daun kering dicacah secara manual agar ukuran sampah daun kering lebih kecil, kemudian ditimbang berat masing-masing sampah daun kering sebanyak ± 1 kg di dalam ember menggunakan timbangan gantung digital, sebelumnya berat ember kosong ditimbang. Sampah daun kering dimasukkan ke dalam pirolisator, lalu ditutup hingga rapat. Di dalam tabung pendingin, dimasukkan es balok ke dalam tabung pendingin sambil dialirkan air menggunakan selang secara kontinyu. Tungku dinyalakan dengan api hingga mencapai suhu 300°C. Selama proses pembakaran berlangsung, dicatat suhu hingga menghasilkan asap cair menggunakan thermostat yang telah dipasang dekat dengan pirolisator. Asap cair yang dihasilkan ditampung dalam wadah atau botol kosong. Setelah pembakaran selesai, api dидiamkan hingga padam dan pirolisator dидiamkan di udara terbuka hingga dingin.



Gambar 2. Alat pirolisis

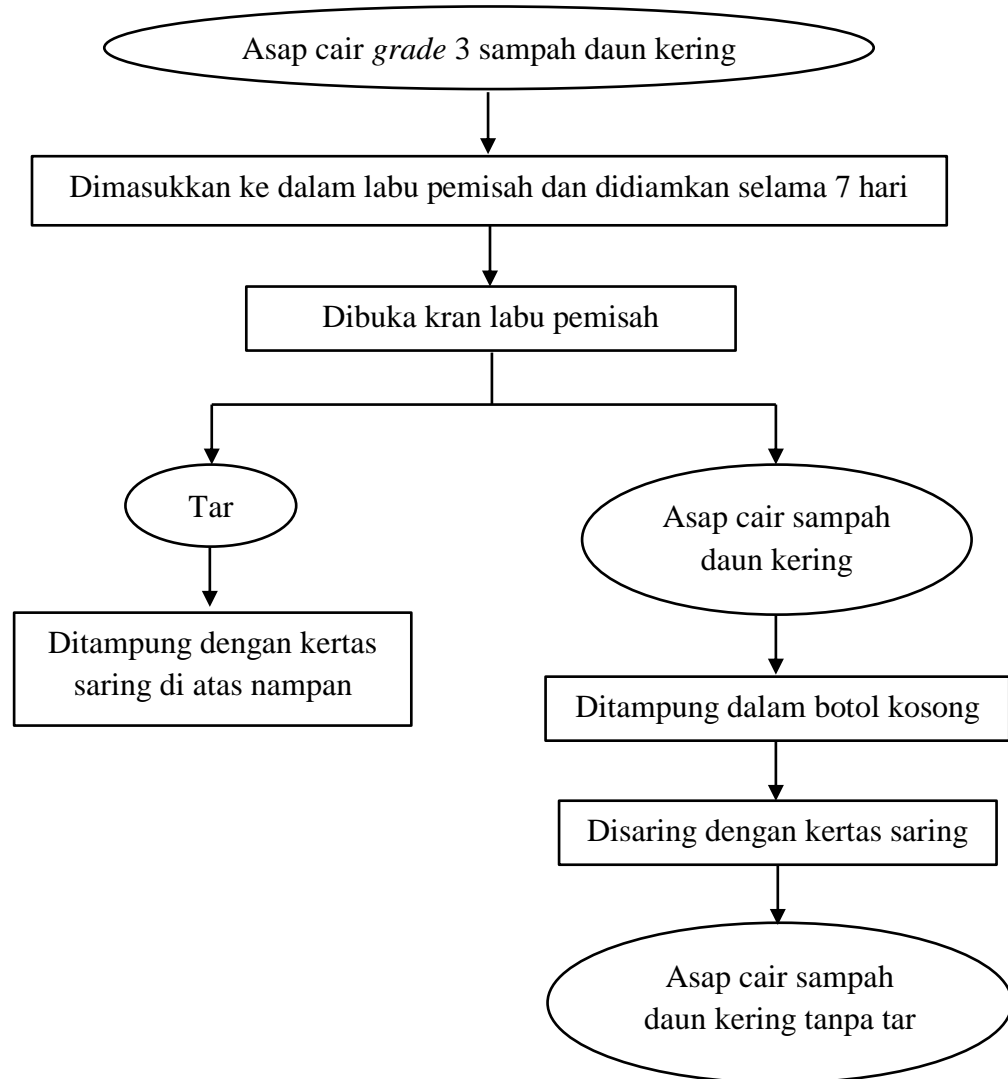


Gambar 3. Diagram alir pembuatan asap cair sampah daun kering (modifikasi Haji *et al.*, 2006)

3.4.2. Pemisahan Tar pada Asap Cair

Proses pemisahan tar pada asap cair terdiri dari dua tahap. Tahap pertama yang dilakukan yaitu mengendapkan asap cair sampah daun kering selama 7 hari dalam labu pemisah. Keran dibagian bawah labu pemisah kemudian dibuka untuk mengeluarkan tar yang telah mengendap. Keran segera ditutup setelah asap cair mendekati keran labu pemisah agar asap cair tidak ikut tertampung bersama tar. Tahap kedua pemisahan tar asap cair dilakukan pada asap cair yang diperoleh pada tahap pertama. Tahap pemisahan tar tahap kedua dilakukan dengan menyaring asap cair menggunakan kertas saring dan corong kecil. Asap cair hasil

pemisahan tahap pertama dituang dan disaring menggunakan kertas saring di atas corong kecil. Senyawa tar yang masih tersisa pada asap cair akan tersaring dan menempel di permukaan kertas saring. Asap cair hasil pemisahan dengan kandungan tar merupakan asap cair *grade 3*.



Gambar 4. Diagram alir pemisahan tar pada asap cair sampah daun kering

3.5. Pengamatan

3.5.1. Kadar Air

Bahan baku yang digunakan yaitu sampah daun kering yang akan dianalisis kadar airnya menggunakan metode AOAC (2005). Cawan porselen dikeringkan dalam oven selama 1 jam dengan suhu 105°C. Cawan porselen kemudian didinginkan di dalam desikator selama ± 15 menit lalu ditimbang berat cawan porselen.

Sebanyak 2 gram sampah daun kering yang telah dikecilkan ukurannya secara manual, dimasukkan ke dalam cawan porselen yang telah dikeringkan lalu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 3 jam, setelah proses pengeringan selesai kemudian didiamkan di dalam desikator ± 15 menit, ditimbang berat cawan porselen yang berisi sampel daun kering. Penentuan kadar air basis kering dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W - (W_1 - W_2)}{W_1 - W_2} \times 100$$

Keterangan:

W : berat sampel (g)

W₁: berat cawan + sampel yang telah dioven (g)

W₂: berat cawan kering (g)

3.5.2. Rendemen

Analisis rendemen pada asap cair sampah daun kering dilakukan untuk mengetahui banyaknya asap cair yang dihasilkan selama proses pirolisis. Rendemen asap cair dapat diketahui dengan membandingkan volume asap cair yang dihasilkan dengan bahan baku yang digunakan. Botol yang akan digunakan untuk menampung asap cair dibersihkan terlebih dahulu lalu ditimbang berat botol kosong. Asap cair dimasukkan ke dalam botol kemudian ditimbang kembali dengan teliti di atas timbangan digital. Selanjutnya ditentukan rendemennya dengan rumus berikut:

$$\text{Rendemen (\%)}: \frac{\text{berat asap cair}}{\text{berat bahan baku}} \times 100$$

3.5.3. Nilai pH

Penetapan pH pada sampel asap cair menggunakan pH meter digital dengan cara pH meter dicelupkan di dalam aquades lalu dibersihkan dengan *tissue*. pH meter kemudian dicelupkan ke dalam 10 mL sampel asap cair di dalam Erlenmeyer. Dicatat nilai pH yang muncul di layar monitor.

3.5.4. Analisis Senyawa Aktif Asap Cair Sampah Daun Kering

Analisis senyawa aktif asap cair dilakukan di Unit Laboratorium Jasa Pengujian, Kalibrasi dan Sertifikasi Institut Pertanian Bogor. Identifikasi komponen kimiawi asap cair dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Rendemen asap cair sampah daun; jati kering yaitu 12,439%, kerai payung kering 13,387%, tanjung kering 12,921%, dan bungur kering 35,222% . Rendemen arang sampah daun; jati kering yaitu 40,585%, kerai payung kering, 35,871%, tanjung kering 40,723%, dan bungur kering 18,797%. Rendemen tar sampah daun; jati kering yaitu 0,820%, kerai payung kering 0,869%, tanjung kering 0,790%, dan bungur kering 1,774%. Total rendemen sampah daun; jati kering yaitu 53,938%, kerai payung kering 51,385%, tanjung kering 54,326%, dan bungur kering 54,210%.
2. Nilai pH asap cair sampah daun; jati kering 5,11, kerai payung kering 5,75, tanjung kering 5,43, dan bungur kering 7,80. Hasil GC-MS komponen aktif asap cair pada masing-masing sampel asap cair didominasi oleh senyawa fenol. Senyawa karbonil dan senyawa asam terdeteksi pada setiap sampel asap cair. Senyawa alkaloid dan alkohol hanya terdapat pada asap cair sampah daun jati kering.

5.2. SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini yaitu untuk melakukan uji karakterisasi asap cair *grade 3* dari gabungan keempat jenis sampah daun kering tersebut dan memanfaatkannya untuk penelitian selanjutnya. Diperlukan adanya peningkatan fungsi dan perawatan pada peralatan pirolisator agar menghindari gas yang terbuang ke udara serta memperhatikan keselamatan kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A., Paindoman, R. dan Coniwanti, P. 2013. Pengaruh Variabel Waktu dan Temperatur terhadap Pembuatan Asap Cair dari Limbah Kayu Pelawan (*Cyanometra Cauliflora*). *Jurnal Teknik Kimia*. 19 (1): 1-8.
- Anungputri, P. S., Yuliandari P. dan Suroso, E. 2019. Karakterisasi Sampah di Lingkungan Universitas Lampung. *Journal of Tropical Upland Resources*. 1 (1): 171-176.
- AOAC. 1990. *Association of Official Analysis Chemists : Official Methods of Analysis*. 18th Ed. Benjamin Franklin. Washington D.C.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist*. AOAC Inc. Washington D.C.
- Ariestya, D. I., Swastawati, F. dan Susanto, E. 2016. Antimicrobial Activity of Microencapsulation Liquid Smoke on Tilapia (*Oreochromis Niloticus Linnaeus*) Meat for Preservatives in Cold Storage ($\pm 5\text{ C}^\circ$). *Aquatic Procedia*. 7: 18-27.
- Bahar, Y. H. 1986. *Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Sampah*. PT. Waca Utama Pramaesti. Jakarta.
- Chen, C. A., Pakdel, H. dan Roy, C. 2001. Production of Monomeric Phenols by Thermochemical Conversion Of Biomass: A Review. *Bioresource Technology*. 79: 277-299.
- Darmadji, P. 2002. Optimasi Pemurnian Asap Cair dengan Metode Redestilasi. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 13 (3): 267-271.
- Dickerson, T. dan Soria, J. 2013. Catalytic Fast Pyrolysis: A Review. *Energies*. 6, 514538.
- Eddy. 1993. Influence of Generation Temperaturon The Chemical Composition, Antioxidative, and Antimicrobial Effects of Wood Smoke. *J. Food Science*. (45): 9991003

- Fadhilah, A., Sugianto, H., Hadi, K., Firmandhani, S. W., Murtini, T. W. dan Pandelaki, E. E. 2011. Kajian Pengelolaan Sampah Kampus Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. *MODUL*. 11 (2): 62-71.
- Fardiaz, S. 1989. *Analisis Mikrobiologis*. PAU Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Fauziati dan Haspiadi. 2015. Asap Cair dari Cangkang Sawit sebagai Bahan Baku Industri. *JRTI*. 9 (2): 177-186.
- Girard, J. P. 1992. *Smoking in Technology of Meat Products*. Clermont Ferrard. New York.
- Gumanti, F. M. 2006. *Kajian Sistem Produksi Destilat Asap Tempurung Kelapa dan Pemanfaatannya sebagai Alternatif Bahan Pengawet Mie Basah*. Skripsi. FPIK. IPB. Bogor.
- Haji, A. G., Mas'ud, Z. A., Lay, B. W., Sutjahjo, S. H. dan Pari, G. 2006. Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Organik Padat. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. Volume 16 no. 3.
- Haji, A. G. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 9 (3): 109-116.
- Hardiana, R., Rudiyanasyah dan Zaharah, T. A. 2012. Aktivitas Antioksidan Senyawa Golongan Fenol dari Beberapa Jenis Tumbuhan Famili Malvaceae. *JKK*. 1 (1): 8- 13.
- Hestirianto, M., D. dan Darmadji, P. 2008. *Diversifikasi Cita Rasa Kacang Telur dengan Aplikasi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa*. Prosiding Seminar Nasional Pangan. No. 18, hal. 143-151.
- Hollenbeck, C. M. 1977. *Novel Concepts in Technology and Design of Machinery for Production and Application of Smoke in the Food Industry*. Permagon Press. New York.
- Isa, I., Musa, W. J. A. dan Rahman, S. W. 2019. Pemanfaatan Asap Cair Tempurung Kelapa sebagai Pestisida Organik terhadap Mortalitas Ulat Grayak (*Spodoptera Litura F.*). *Jamb. J. Chem*. 01 (1): 15-20
- Indriyani, Y., Oramahi, H. A. dan Nurhaida. 2011. Evaluasi Asap Cair sebagai Bio-Termitisida untuk Pengendalian Rayap Tanah *Coptotermes sp.* *TENKAWANG : Jurnal Ilmu Kehutanan*. 1 (2): 87-96.
- Karseno, Darmadji, P. dan Rahayu, K. 2000. *Kajian sifat Fungsional Antibakteri Asap Cair dan Redestilat Total Asap Cair Kayu Karet (Heveabrasiliensis) terhadap Bakteri Patogen*. Seminar Nasional Industri Pangan. PATPI.

- Kasim, S., Fitrah, A. N. dan Hambali, E. 2015. Aplikasi Asap Cair pada Lateks. *PASTI*. 9 (1): 28-34.
- Kuntjahtjawati dan Darmaji, P. 2004. Identifikasi Komponen Volatil Asap Cair Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) Rajangan. *Agritech*. 24 (1): 17-22.
- Kurniaty, Y., Nararaya, W. H. B., Turawan, R. N. dan Nurmuhammad, F. 2016. Mengefektifkan Pemisahan Jenis Sampah sebagai Upaya Pengelolaan Sampah Terpadu di Kota Magelang. *Varia Justicia*. 12 (1): 135-150.
- Lestari, D. M., Mahmudati, N., Sukarsono, Nurwidodo dan Husamah. 2018. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Fenol Daun Gayam (*Inocarpus fagiferus Fosb*). *Biosfera*. 35 (1): 37-43.
- Lingbeck, J. M., Cordero, P., O'Bryan, C. A., Johnson, M. G., Ricke, S. C. dan Crandall, P. G. 2014. Functionality of Liquid Smoke as an All-Natural Antimicrobial in Food Preservation. *Meat Science*. 97(2): 197–206.
- Maga, J. A. 1987. The Flavor Chemistry of Wood Smoke. *J. Food Review International*. 3 (1-2): 139–183.
- Maga, J. A. 1988. *Smoke In Food Processing*. CRC Press. Florida.
- Mardyaningsih, M., Leki, A. dan Engel, S. S. 2016. *Teknologi Pembuatan Liquid Smoke Daun Kesambi sebagai Bahan Pengasapan Se'i Ikan Olahan Khas Nusa Tenggara Timur*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”. ISSN: 1693-4393.
- Maulina, S. dan Putri, F. S. Pengaruh Suhu, Waktu, dan Kadar Air Bahan Baku terhadap Pirolisis Serbuk Pelepeh Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6 (2): 35-40.
- Mugiastuti, E. dan Manan, A. 2009. Pemanfaatan Asap Cair untuk Mengendalikan *Fusarium oxysporum* dan *Meloidogyne spp.* *Jurnal Pembangunan Pedesaan*. 9 (1): 43-49.
- Murtadho, D. dan Said, E. G. 1988. *Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Padat: Edisi Pertama*. PT. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta.
- Nasruddin. 2015. Karakteristik Asap Cair yang Ditambahkan Ekstrak Aroma Daun Pandan Wangi (*Pandanus amaryllifolius Roxb.*) *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 26 (1): 19-31.
- Ndahawali, D. H. 2018. Pemanfaatan Asap Cair Hasil Pirolisis untuk Pengawetan Produk Perikanan. *Pojok Ilmiah: Buletin Matric*. 15 (1): 31-42.

- Ngadianto, A., Widyorini, R. dan Lukmandaru, G. 2012. *Ketahanan Papan Partikel Limbah Kayu Mahoni dan Sengon dengan Perlakuan Pengawetan Asap Cair terhadap Serangan Rayap Kayu Kering *Cryptotermes Cynocephalus Light**. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI). Vol. 14, hal 213-219.
- Nisandi. 2007. *Pengolahan dan Pemanfaatan Sampah Organik Menjadi Briket Arang dan Asap Cair*. Seminar Nasional Teknologi (SNT). ISSN: 1978 – 9777.
- Noor, E., Luditama, C. dan Pari, G. 2014. *Isolasi dan Pemurnian Asap Cair Berbahan Dasar Tempurung dan Sabut Kelapa Secara Pirolisis dan Distilasi*. Prosiding Konferensi Nasional Kelapa. 8: 93-102.
- Okky, Prameswari, M. dan Widjanarko, S. B. 2014. The Effect of Water Extract of Pandan Wangi Leaf to Decrease Blood Glucose Levels and Pancreas Histopathology at Diabetes Mellitus Rats. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 2 (2): 16-27.
- Paris, O., C. Zollfrank dan Zickler, G. A. 2005. Decomposition and Carbonization of Wood Biopolymer Micro – Structural Study of Wood Pyrolises. *J. Carbon*. (43): 53 – 66.
- Prasetyowati, Hermanto, M. dan Farizy, S. 2014. Pembuatan Asap Cair dari Cangkang Buah Karet sebagai Koagulan Lateks. *Jurnal Teknik Kimia*. 20 (4): 14-21.
- Prasetyowati, Ayu, P. N. dan Mutia, R. H. 2014. Pembuatan Asap Cair dari Limbah Kulit Singkong (*Manihot Esculenta L. Skin*) untuk Bahan Pengawet Kayu. *Jurnal Teknik Kimia*. 1 (20): 64-75.
- Pszczola, D. E. 1995. Tour Highlights Production and Uses of Smokes Based Flavours. *J. Food Technology*. 49 (1): 70 – 74.
- Randhir, R., Lin, Y. T. dan Shetty, K. 2004. Phenolics, Their Antioxidant and Antimicrobial Activity in Dark Germinated Fenugreek Sprouts in Response to Peptide and Phytochemical Elicitors. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 13 (3): 295 - 307.
- Ratnawati dan Hartanto, S. 2010. Pengaruh Suhu Pirolisis Cangkang Sawit terhadap Kuantitas dan Kualitas Asap Cair. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12 (1): 7-11.
- Reta, K. B. 2013. Pembuatan Asap Cair dari Tempurung Kelapa, Tongkol Jagung, dan Bambu Menggunakan Proses Slow Pyrolysis. *Jurnal Teknik Kimia*. Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang. Malang.

- Reveendran, K. A., Ganesh dan Khilar, K. C. 1996. Pyrolysis Characteristics of Biomass and Biomass Components. *Journal of Fuel*. 75 (8): 987 – 998.
- Ridhuan, K., Irawan, D. dan Inthifawzi, R. 2019. Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *TURBO*. 8 (1): 69-78.
- Ruiter, A. 1979. Colour of Smoked Foods Technology. *Food Tech*. 33 (5): 54 – 63.
- Salindeho, N., Mamujaja, C. F. dan Pandey, E. V. 2017. *Asap Cair Hasil Pirolisis Cangkang Pala dan Cangkang Kemiri*. Unsrat Press. Manado.
- Santiyo, W. 2012. Karakteristik Asap Cair Tempurung Nyamplung. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 30 (3): 217-226.
- Sarwendah, M., Feriadi, Wahyuni, T. dan Arisanti, T. N. 2019. Pemanfaatan Limbah Komoditas Perkebunan untuk Pembuatan Asap Cair. *Jurnal Littri*. 25 (1): 22-30.
- Slamet, S. 2015. Studi Eksperimen Pemilihan Biomassa untuk Memproduksi Gas Asap Cair (Liquid Smoke Gases) sebagai Bahan Pengawet. *SIMETRIS*. 6 (1): 189-196.
- Solichin, Anwar, M. A. dan Tedjapura, N. 2007. Penggunaan Asap Cair Deorub dalam Pengolahan RSS. *Jurnal Penelitian Karet*. 25 (1): 1-12.
- Sulhatun. 2012. Pemanfaatan Asap Cair Berbasis Cangkang Sawit sebagai Bahan Pengawet Alternative. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 1(1): 91-100.
- Suprihatin, A., Prihanto, D. dan Gilbert, M. 1999. *Sampah dan Pengelolaannya*. Indah Offset. Malang.
- Syahrani, K., Darmadji, P., Hidayat, C. dan Supriyadi. 2012. Profil Aroma Asap Cair Tempurung Kelapa Hasil Distilasi Fraksinasi Bertingkat pada Berbagai Perlakuan Suhu. *J. Agritech*. 32 (1): 105-110.
- Syam, T., Kushendarto, Bintoro, A. dan Indriyanto. 2007. *Keanekaragaman Pohon di Kampus Hijau Unila*. Universitas Lampung. Lampung.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. dan Samuel, V. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. Tim McGraw Hill. New York.
- Wibowo, S. 2012. Karakteristik Asap Cair Tempurung Nyamplung. *Penelitian Hasil Hutan*. 30 (3): 217-226.

- Widowati, A. dan Sunarta, S. *Pemanfaatan Asap Cair Limbah Destilasi Daun dan Ranting Kayu Putih sebagai Koagulan Getah Karet (Hevea Brasiliensis M.)*. Skripsi. FKT. UGM. Yogyakarta.
- Yatagai, M. 2000. *Utilization of Charcoal and Wood Vinegar in Japan*. Graduate School of Agricultural and Life Sciences. University of Tokyo.
- Yuliandari, P., Suroso, E. dan Anungputri, P. S. 2019. Studi Timbulan dan Komposisi Sampah di Kampus Universitas Lampung. *Journal of Tropical Upland Resources*. 1 (1): 121-127.