

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
SURAT KETERANGAN KESESUAIAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Penelitian Sebelumnya yang Relevan.....	6
B. Biomassa.....	9
C. Tempurung kelapa	11
D. <i>Bio-char</i>	12
E. <i>Bio-coke</i>	13
F. <i>Liquid Volatile Matter</i> (LVM)	15
G. Pirolisis	16
H. Destilasi	19
I. Homogenitas Campuran.....	19
J. Analisis <i>Proximate</i>	20
K. Analisis Nilai Kalor	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
A. Waktu dan Tempat Penelitian	24
B. Jenis Penelitian	24
C. Alat dan Bahan Penelitian	24
D. Prosedur Penelitian	26
E. Analisis <i>Proximate</i>	29
F. Analisis Nilai Kalor.....	31
G. Diagram Alir Penelitian.....	33
DAFTAR PUSTAKA	34

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar dalam kehidupan manusia yang terus meningkat sejalan dengan semakin bertambahnya populasi manusia. Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, maka kebutuhan bahan bakar semakin meningkat, hal ini menyebabkan cadangan energi fosil semakin lama semakin menurun. Bahan bakar minyak atau bahan bakar fosil merupakan salah satu sumber energi yang bersifat tak terbarukan (Affandy *dkk.*, 2017). Penggunaan energi fosil yang terus meningkat menyebabkan sumber energi fosil semakin langka sehingga terjadi krisis energi. Krisis energi merupakan isu yang sangat mengkhawatirkan di dunia saat ini, hal ini dipengaruhi oleh kenyataan bahwa kebutuhan terhadap bahan bakar semakin meningkat pesat, sementara itu sumber bahan baku fosil di alam semakin berkurang. Konsekuensinya adalah tanpa energi masyarakat akan kembali ke jaman purba kala sehingga harus dicarikan solusi secara cepat dan berkelanjutan untuk mengembangkan sumber energi baru berkalori tinggi sebagai energi alternatif bagi rumah tangga dan industri kecil, sehingga persediaan energi tetap terjaga dengan baik. Energi alternatif merupakan salah satu istilah yang merujuk kepada semua sumber energi yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar konvensional.

Biomassa merupakan salah sumber energi alternatif dari bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk

maupun buangan. Biomassa juga merupakan bahan biologis yang dapat dikonversi lebih lanjut menjadi bahan bakar energi alternatif untuk substitusi energi fosil, baik secara langsung maupun setelah diolah melalui serangkaian proses yang dikenal sebagai konversi biomassa (Dalimunthe *dkk.*, 2021). Biomassa yang umum digunakan sebagai bahan bakar adalah yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya. Potensi biomassa di Indonesia yang bisa digunakan sebagai sumber energi jumlahnya sangat melimpah, yaitu sebesar 146,7 juta ton per tahun. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak (Parinduri *dkk.*, 2020).

Salah satu sumber biomassa yang banyak dijumpai di Indonesia adalah tempurung kelapa. Indonesia termasuk negara penghasil tempurung kelapa di dunia, sekitar 360 ribu ton tempurung kelapa dihasilkan tiap tahunnya. Awalnya tempurung kelapa hanya dianggap sebagai limbah, kemudian digunakan untuk keperluan domestik seperti pengasapan yang mengakibatkan meningkatnya polusi udara. Proses pembakaran tempurung kelapa menghasilkan banyak asap karena kandungan volatile matter yang tinggi menyebabkan tempurung kelapa menghasilkan CO₂ yang relatif lebih banyak dan berdampak pada efek rumah kaca (Irsan *dkk.*, 2019). Tempurung kelapa termasuk dalam kelompok kayu keras yang mengandung lignoselulosa. Lignoselulosa terdiri dari tiga komponen utama: selulosa, hemiselulosa dan lignin. Untuk mengkonversi tempurung kelapa menjadi bahan bakar adalah dengan metode pirolisis (Mashuni *dkk.*, 2020). Tempurung kelapa mengandung

bahan organik dan bahan anorganik yaitu 33,61% Selulosa, 36,51% Lignin, dan 0,61% abu (Satheesh *dkk.*, 2019).

Tempurung kelapa berpotensi untuk dijadikan bahan bakar padat yaitu *bio-coke* karena kandungan karbon yang tinggi. *Bio-coke* merupakan bahan bakar biomassa padat yang memiliki kepadatan dan kekuatan tinggi dibandingkan dengan bahan bakar biomassa padat konvensional sehingga bisa menjadi bahan bakar pengganti batubara konvensional. *Bio-coke* dikembangkan dan diproduksi dari biomassa dibawah kompresi tinggi pada suhu sedang (300-500°C). *Bio-coke* menunjukkan beberapa fitur unik, seperti nilai kalor yang tinggi, kekuatan mekanik yang tinggi, dan dibandingkan dengan briket biasa dan juga sebanding dengan kokas konvensional. Salah satu metode yang dapat mengonversi limbah biomassa menjadi *bio-coke* adalah metode pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi thermal material organik melalui proses pemanasan suhu tinggi dalam keadaan tanpa oksigen untuk mendapatkan arang yang berkualitas. Fungsi utama karbonisasi dalam proses pirolisis adalah untuk meningkatkan nilai kalor, karena selama proses karbonisasi terjadi pelepasan kandungan air dan sejumlah senyawa volatile. *Liquid Volatile Matter* (LVM) merupakan cairan kondensasi hasil pirolisis dari biomassa dan memiliki nilai kalor yang tinggi. Oleh karena itu, menambahkan LVM kedalam *bio-coke* diyakini mampu meningkatkan nilai kalor dari *bio-coke* (Jahiding *dkk.*, 2021). Metode *Liquid Solid Mixing* merupakan metode pembuatan *bio-coke hybrid* dengan mencampurkan LVM dengan biomassa guna meningkatkan nilai kalor dari *bio-coke hybrid*.

Penelitian yang berkaitan dengan produksi solid fuel menggunakan metode *Liquid Solid Mixing* telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya seperti yang dilakukan oleh M. Jahiding dkk. (2021) dengan judul “Analisis Kualitas *Bio-coke* Cangkang Kakao Terinjeksi Lvm Sebagai Bahan Bakar Alternatif”, diperoleh hasil Nilai Kalor *bio-coke* terinjeksi LVM memiliki nilai yang lebih besar dibanding dengan *bio-coke* tanpa injeksi LVM.

Berdasarkan uraian diatas, menjadi dasar penulis berfikir untuk meningkatkan penelitian *bio-coke* dari limbah tempurung kelapa yang diproduksi dengan metode *Liquid Solid Mixing*. Untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan meneliti beberapa parameter penting yang mempengaruhi kualitas *bio-coke* dari limbah tempurung kelapa sebagai bahan bakar padat (bahan bakar alternatif). Oleh karena itu penelitian yang akan dilakukan berjudul **“Produksi dan Karakterisasi *bio-coke hybrid* limbah tempurung kelapa yang diproduksi dengan metode *Liquid Solid Mixing*”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara membuat *bio-coke hybrid* dari limbah tempurung kelapa menggunakan metode *Liquid Solid Mixing*?
2. Bagaiman pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai proximate *bio-coke hybrid*?

3. Bagaimana pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor *bio-coke hybrid*?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat *bio-coke* dari limbah tempurung kelapa menggunakan metode *Liquid Solid Mixing*.
2. Menganalisa pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai proximate *bio-coke hybrid*.
3. Menganalisa pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor *bio-coke hybrid*.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan bahan kajian untuk pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang energi alternatif.
2. Dapat menghasilkan *bio-coke* dari limbah tempurung kelapa yang berkualitas tinggi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Sebelumnya yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh M. Jahiding *dkk.* (2021) dengan judul “Analisis Kualitas *Bio-coke* Cangkang Kakao Terinjeksi Lvm Sebagai Bahan Bakar Alternatif “. Penelitian ini menggunakan serapan difusi melalui proses penceluman *bio-coke* kedalam LVM sampai keadaan jenuh. *Bio-coke* diproduksi dari cangkang kakao yang telah dihaluskan dengan ukuran 80 mesh, kemudian dipirolisis dengan variasi suhu 400, 500 dan 600 °C. LVM diperoleh dari hasil pirolisis cangkang kakao dengan variasi suhu pirolisis 400, 500 dan 600 °C , kemudian didestilasi pada suhu 70-80 °C. *Bio-coke* kemudian dicelupkan kedalam LVM sampai keadaan jenuh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proximate dan nilai kalor terbaik diperoleh pada temperatur 600°C. Nilai Kalor *bio-coke* terinjeksi LVM memiliki nilai yang lebih besar dibanding dengan *bio-coke* tanpa injeksi LVM. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada temperatur pirolisis 600 °C yaitu 5986,55 kal/gr untuk *bio-coke* tanpa LVM dan 7007,85 kal/gr untuk *bio-coke* terinjeksi LVM. Nilai proximate (kadar air, *volatile matter* dan *fix carbon*) memenuhi standar kualitas *bio-coke* baik SNI 01-6235-2000, Jepang, Amerika dan Inggris, sementara kabar abu tidak memenuhi standar kualitas dari semua standar baku mutu.

Penelitian yang dilakukan oleh Baharin *dkk.* (2020) dengan judul penelitian “Conversion and characterization of Bio-coke from abundant biomass waste in Malaysia”. Penelitian menggunakan tujuh sampel biomassa

untuk dikonversi menjadi *bio-coke*, yaitu sekam padi, serbuk gergaji, sabut kelapa, ampas tebu, pelepah kelapa sawit, batang kelapa sawit, dan tandan kosong kelapa sawit. Produksi *bio-coke* dilakukan dengan menghaluskan semua sampel dengan ukuran partikel kurang dari 1 mm, kemudian sampel dimasukkan dalam mesin pres hidrolik dan dipanaskan menggunakan tanur listrik pada suhu 130, 150, 170, dan 190 °C. Hasil penelitian ini menunjukkan kemungkinan penggunaan Bio Coke sebagai sumber bahan bakar alternatif, berdasarkan karakteristik fisik bahan bakar padat biomassa, dibandingkan dengan bahan bakar konvensional. Kerapatan yang tinggi dan kekuatan mekanik yang tinggi, pada suhu tinggi *Bio-coke* menunjukkan bahwa *Bio-coke* dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengurangi penggunaan batu bara kokas. Selain itu, tidak adanya penurunan berat badan selama produksi *Bio-coke* menjadikannya bahan bakar biomassa tanpa emisi.

Penelitian yang dilakukan oleh Dalimunthe *dkk.* (2021) dengan judul “Analysis of the Quality of Mixed Coconut Shell Waste Briquettes with Various Biomass Additives as Alternative Fuels”. Pada penelitian ini briket diproduksi dengan campuran tempurung kelapa dengan berbagai bahan aditif biomassa. Metode yang digunakan yaitu metode karbonisasi untuk memperoleh arang dari biomassa, selanjutnya digiling dengan ukuran 60 mesh, kemudian arang tempurung kelapa dan arang dari biomassa lain dicampur dan direkatkan dengan perekat pati. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi diperoleh dari campuran limbah tempurung kelapa dan arang bambu

dengan nilai 7110,7288 kal/gr dan nilai kalor terendah diperoleh dari campuran limbah tempurung kelapa dan limbah kulit sagu.

Penelitian yang dilakukan oleh Hasan *dkk.* (2017) dengan judul “Analisis Proximate Dan Nilai Kalor Briket Hybrid (Brown Coal – Kulit Durian) Dengan Perekat Liquid Volatile Matter (Lvm) Yang Di Preparasi Dengan Metode Pirolisis”. Pada penelitian ini briket diproduksi dengan paduan batu bara dan bio arang hasil pirolisis kulit durian pada suhu 400, 500, 600 dan 700 °C. Sampel briket hybrid ini degerus dengan ukuran 60 dan 100 mesh, kemudian dengan perekat LVM dengan presentase 5%, 10%, dan 15%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Peningkatan suhu pirolisis dapat mengurangi kadar air, volatile matters dan meningkatkan fixed carbon, kadar abu dan nilai kalor. Briket hybrid memiliki nilai kalori berkisar antara 5144,79kal/g - 6922,07 kal / g.

Penelitian yang dilakukan oleh Wibowo & Imam. (2017) dengan judul “Optimasi Proses pirolisis pada Pembuatan Briket Berbahan Ampas batang Tebu dan Sekam Padi”. Pada penelitian ini produksi briket dilakukan dengan variasi waktu dan suhu pirolisis. Variasi waktu yaitu 30 menit, 60 menit dan 90 menit, sedangkan variasi suhu pirolisis yaitu 200, 250, 300 dan 350 °C. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa lamanya waktu proses pirolisis akan berpengaruh signifikan terhadap kadar air briket, lamanya waktu dan tingginya suhu tidak berpengaruh terhadap kadar abu pada briket, dan perubahan suhu proses pirolisis berpengaruh signifikan terhadap kadar karbon dari briket.

B. Biomassa

Sumber energi baru dan terbarukan yang masih melimpah di Indonesia salah satunya adalah biomassa. Potensi biomassa di Indonesia mencapai 32,654 MW, sementara kapasitas terpasang adalah 1,1716 MW, dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya, proses konversi energi biomassa terbilang lebih murah. Biomassa sering diterjemahkan sebagai bioresources atau sumber daya yang di peroleh dari hayati. Basis sumber daya alam meliputi ribuan spesies tanaman daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan, limbah residu, dari proses industri, dan kotoran hewan. Biomassa merupakan sumber daya alam terbaharui dan energi yang diperoleh dari biomassa disebut energi terbarukan (Zulkania, 2016).

Biomassa adalah produk fotosintesis yang menyerap energi matahari dan mengubah karbon dioksida, dengan air, menjadi campuran karbon, hidrogen, dan oksigen. Biomassa juga merupakan bahan biologis yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar, baik secara langsung maupun setelah diolah melalui serangkaian proses yang dikenal sebagai konversi biomassa. Limbah biodegradable yang dapat digunakan sebagai bahan bakar juga merupakan bagian dari biomassa tetapi tidak termasuk bahan organik yang telah diubah oleh proses geologi menjadi zat seperti batubara atau minyak bumi. Secara teori, potensi energi biomassa Indonesia diperkirakan sekitar 49.810 MW. Angka ini diasumsikan berdasarkan kandungan energi dari produksi tahunan sekitar 200 juta ton biomassa dari sisa-sisa pertanian, kehutanan, perkebunan, dan limbah padat urban. Namun kenyataannya, besarnya potensi

tersebut tidak sebanding dengan kapasitas terpasang sebesar 302,4 MW atau termanfaatkan 0,64 persen. Jika saja potensi yang ada dapat dimaksimalkan dengan meningkatkan jumlah kapasitas terpasang, maka akan membantu bahan bakar fosil yang selama ini menjadi tumpuan penggunaan energi (Dalimunthe *dkk.*, 2021).

Biomassa merupakan bahan bakar organik yang terbentuk dari zat-zat organik yang disusun oleh tumbuh-tumbuhan melalui proses fotosintesis (dengan bantuan energi matahari). Biomassa meliputi limbah kayu, limbah pertanian, perkebunan, hasil hutan, komponen organik dari industri dan rumah tangga. Beberapa kandungan unsur kimia yang biasa terdapat. antara lain: zat arang atau karbon (C), hidrogen (H), zat asam atau oksigen (O), zat lemak atau nitrogen (N), belerang (S), abu dan air, yang semuanya itu terikat dalam satu persenyawaan kimia. Karena sifatnya yang menguntungkan yaitu dengan memanfaatkannya secara lestari dan mudah di perbaharui. Sumber energi biomassa memiliki beberapa kelebihan dibandingkan energi fosil. Selain sifatnya dapat diperbaharui secara terus menerus juga lebih ramah terhadap lingkungan. Energi biomassa dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar minyak bumi (fosil) yaitu dengan cara mengubahnya menjadi bio-arang yang memiliki nilai kalor yang tinggi. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia menggunakan pemanasan dengan atau tanpa menggunakan oksigen dalam pembakarannya (Ridhuan *dkk.*, 2019).

C. Tempurung kelapa

Tempurung kelapa termasuk dalam kelompok kayu keras yang mengandung lignoselulosa. Lignoselulosa terdiri dari tiga komponen utama: selulosa, hemiselulosa dan lignin. Tempurung kelapa dapat diubah menjadi bahan yang berguna dengan menggunakan metode tertentu, seperti pirolisis (jurnal pak jahiding). Tempurung kelapa mengandung lignoselulosa. Lignoselulosa terdiri dari tiga komponen utama: selulosa, hemiselulosa dan lignin. Tempurung kelapa dapat diubah menjadi bahan yang berguna dengan menggunakan metode tertentu, seperti pirolisis. Menggunakan pirolisis, lignoselulosa dalam tempurung kelapa dapat diubah menjadi zat cair yang mudah menguap (LVM), yang dihasilkan melalui dispersi uap asap produk pembakaran bebas oksigen dalam reaktor pirolisis (Mashuni *dkk.*, 2020).

Tempurung kelapa memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi dan kandungan selulosa yang lebih rendah. Tempurung kelapa merupakan salah satu bahan baku yang sangat potensial untuk dijadikan asap cair; tempurung kelapa mengandung 27,7% pentosa, selulosa 26,6%, lignin 29,4%, air 8%, pelarut ekstraksi 4,2%, uronat anhidrat 3,5%, dan abu 0,6% (Rizal *dkk.*, 2020).

Tempurung kelapa mengandung bahan organik dan bahan anorganik dan bahan organik dalam cangkang kelapa adalah 33,61% Selulosa, 36,51% Lignin, 29,27% Pena dan 0,61% abu (Satheesh *dkk.*, 2019). Tempurung kelapa memiliki kandungan yang baik untuk menghasilkan produk berbasis karbon karena memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi (Irsan *dkk.*, 2019)



Gambar 2.1. Limbah tempurung kelapa (Eskak, 2015).

D. *Bio-char*

Bio-char adalah arang hitam hasil dari proses pemanasan biomassa pada keadaan oksigen terbatas atau tanpa oksigen (Tambunan dkk., 2014). *Bio-char* atau biasa disebut arang adalah produk yang dihasilkan ketika limbah biomassa (diutamakan limbah pertanian) dipanaskan tanpa udara atau dengan udara yang sangat sedikit. Proses pembuatan arang ini sering disebut pirolisis. Bahan baku yang bisa digunakan untuk pembuatan *bio-char* adalah sampah biomassa yang tidak dimanfaatkan seperti: sekam padi, tongkol jagung, kulit buah kakao atau coklat, cangkang kemiri, kulit kopi, limbah gergaji kayu, ampas daun minyak kayu putih, ranting kayu seperti pada limbah sisa pakan ternak, tempurung kelapa, dan lain sejenisnya (Widiastuti & Lantang, 2017).

Salah satu teknologi pengolahan limbah perkebunan kelapa sawit adalah dengan menggunakan teknologi pirolisis. Pirolisis cepat adalah dekomposisi termal senyawa organik secara cepat dengan suhu 400-600 °C dalam ketiadaan oksigen. Produk pirolisis adalah *bio-char*, cairan dan gas. *bio-*

char dari produk pirolisis dimanfaatkan sebagai bahan baku bio-briket (Yanti dkk., 2022).

E. *Bio-coke*

Bio-coke adalah bahan bakar biomassa padat yang memiliki kepadatan dan kekuatan tinggi dibandingkan dengan bahan bakar biomassa padat konvensional dan merupakan bahan bakar pengganti batubara kokas. *Bio-coke* dikembangkan dan diproduksi dari biomassa di bawah kompresi tinggi (sekitar 20 MPa) pada suhu sedang (300-500°C). *Bio-coke* menunjukkan beberapa fitur unik, seperti nilai kalor yang tinggi, kekuatan mekanik yang tinggi, dan densitas (1,4 g/cm³) dibandingkan dengan briket biasa dan juga sebanding dengan kokas konvensional memiliki kepadatan 0,63-0,85 g/cm³ dan nilai kalori 18-31 MJ/kg (Jahiding dkk., 2021).

komponen utama biomassa yang digunakan untuk menghasilkan *bio-coke* yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin, dimana hemiselulosa memiliki sifat perekat yang berfungsi untuk mengeraskan *bio-coke*. Hemiselulosa mengikat lembaran serat selulosa membentuk mikrofibril yang meningkatkan stabilitas dinding sel. Hemiselulosa juga berikatan silang dengan lignin membentuk jaringan kompleks dan memberikan struktur yang kuat (Mizuno 2015). Lignin adalah gabungan beberapa senyawa yang hubungannya erat satu sama lain, mengandung karbon, hidrogen dan oksigen, namun proporsi karbonnya lebih tinggi dibanding senyawa karbohidrat. Lignin bukan karbohidrat, hal ini dikarenakan oleh proporsi karbon yang terdapat pada lignin lebih tinggi dibanding senyawa karbohidrat, yang mana lignin ini berfungsi

sebagai bahan pengikat komponen lainnya. Selulosa hampir sama dengan hemiselulosa, yang membedakan selulosa memiliki derajat polimerisasi yang lebih tinggi dan membentuk serat-serat panjang dibandingkan dengan hemiselulosa (Pertiwi, 2016).

Bio-coke diketahui dapat mempertahankan lebih banyak energi biomassa, karena tidak adanya penurunan berat badan selama produksinya, yang menyiratkan bahwa semua komponen dalam 100 gram bahan baku dapat diubah menjadi 100 gram *bio-coke*, tanpa melepaskan gas. *Bio-coke*, sebagai pengganti coke batubara, dapat mengurangi emisi karbon dioksida (CO₂) sebesar 2,16 ton . Selain itu, produksi *Bio-coke* juga dapat berkontribusi terhadap pengelolaan limbah biomassa yang efisien, karena 1 ton limbah biomassa dapat dikonversi menjadi 1 ton produk bernilai tambah. Dengan demikian, *Bio-coke* juga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk mengurangi penggunaan coke batubara (Baharin dkk., 2020).

Bio-coke yang berkualitas menurut dapat ditentukan dengan syarat-syarat sebagai berikut : Cukup keras dan tidak mudah hancur, mempunyai kandungan arang (fixed carbon) lebih dari 47,72%, memiliki kadar abu maksimal 7%, kadar air maksimal 10%, kadar zat menguap maksimal 10%, serta tidak tercemar oleh unsur-unsur yang membahayakan (Karim 2020).



Gambar 2.2. *Bio-coke* (Adila dkk., 2018).

F. *Liquid Volatile Matter (LVM)*

Liquid Volatile Matter adalah kondensat komponen asap yang dapat digunakan untuk menciptakan flavor asap pada produk. LVM diproduksi dengan cara pembakaran yang tidak sempurna yang melibatkan reaksi dekomposisi konstituen polimer menjadi senyawa organik dengan berat molekul rendah karena pengaruh panas yang meliputi reaksi oksidasi, polimerisasi, dan kondensasi. Media pendingin yang digunakan pada kondensor adalah air yang dialirkan melalui pipa *inlet* yang keluar dari hasil pembakaran tidak sempurna kemudian dialirkan melewati kondensor dan dikondensasikan menjadi distilat asap (Jahiding dkk., 2014).

Liquid Volatile Matter (LVM) merupakan suatu hasil kondensasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Bahan baku yang banyak digunakan antara lain berbagai macam jenis kayu, bongkol kelapa sawit,

tempurung kelapa, sekam, ampas atau serbuk gergaji kayu dan lain sebagainya. Selama pembakaran, komponen dari kayu akan mengalami pirolisa menghasilkan berbagai macam senyawa antara lain fenol, karbonil, asam, furan, alkohol, lakton, hidrokarbon, polisiklik aromatik dan lain sebagainya (Hasan *dkk.*, 2017).

Liquid Volatile Matter (LVM) merupakan asap cair yang dihasilkan dari kondensasi limbah organik yang mengandung lignoselulosa melalui reaktor pirolisis. . LVM memiliki nilai kalor lebih tinggi dibanding dengan *bio-coke* , sehingga injeksi LVM dalam *bio-coke* diyakini mampu meningkatkan nilai kalor dari *bio-coke*. (Jahiding *dkk.*, 2021).

G. Pirolisis

Pirolisis merupakan proses dekomposisi thermal material organik melalui proses pemanasan suhu tinggi dalam keadaan tanpa oksigen untuk mendapatkan arang yang berkualitas. Fungsi utama karbonisasi dalam proses pirolisis adalah untuk meningkatkan nilai kalor, karena selama proses karbonisasi terjadi pelepasan kandungan air dan sejumlah senyawa volatile (Jahiding *dkk.*, 2021).

Pirolisis adalah penguraian kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, dimana bahan baku akan memecah struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis yang hanya menyisakan karbon sebagai residu disebut karbonisasi. Biasanya ada tiga produk dalam proses pirolisis: gas, produk cair, dan arang. Uap yang dihasilkan dalam proses

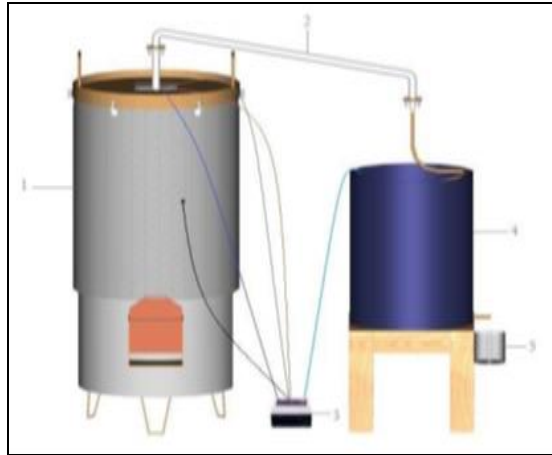
pirolisis mengandung karbon monoksida, metana, karbon dioksida, tar yang mudah menguap dan air (Sa'diyah *dkk.*, 2018).

Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia sehingga fase padat berubah menjadi fase gas. Proses ini merupakan proses penguraian melalui pemanasan dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu padatan (*char*), cairan (Bio-oil), dan gas (H_2 , CO, CO_2 , dan CH_4). Padatan (*char*) hasil pirolisis tempurung kelapa sawit merupakan bahan baku briket dengan nilai kalor yang cukup tinggi. Pirolisis biomassa menghasilkan produk yang mengandung cairan, gas dan arang padat (*char*). Produk utama hasil pirolisis biomassa adalah produk cair dengan perolehan mencapai 75% dari umpan kering (kadar air umpan kurang dari 10% berat). Perbandingan produk tersebut bergantung pada jenis umpan, temperatur pirolisis, laju pemanasan, dan waktu tinggal. Tetapi pada umumnya terdiri atas 40–65% cairan organik, 10–20% *char*, 10–30% gas dan 5–15% air dengan basis umpan kering. Kebanyakan reaktor pirolisis membutuhkan umpan yang mengandung 5–15% air (Caturwati *dkk.*, 2015).

Pirolisis merupakan suatu proses pemanasan suatu zat atau bahan dengan atau tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusunnya. Penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar dengan suhu yang cukup tinggi sehingga akan terjadi reaksi penguraian dari senyawa-senyawa kompleks yang menyusun bahan biomassa

dan menghasilkan zat dalam tiga bentuk yaitu padatan, cairan dan gas, untuk mendapatkan hasil produk pirolisis yang optimal maka diperlukan suatu unit peralatan atau reaktor yang lebih efektif dan efisien dengan bagiannya dalam memproses biomassa tersebut menjadi bioarang dan asap cair. Peralatan tersebut yaitu reaktor dan kondensor. Pada reaktor terjadi proses pembakaran pirolisis biomassa dari padatan menjadi gas panas dan juga menghasilkan bio-arang, dan pada kondensor terjadi proses pendingin gas panas pembakaran menjadi cairan dan menghasilkan asap cair. Unit rangkaian tersebut merupakan satu kesatuan utuh dalam system kerja produksi pirolisis. Proses pembakaran di bagian reaktor merupakan faktor yang sangat menentukan terhadap hasil bio-arang dan asap cair yang didapatkan (Ridhuan *dkk*,2020).

Pirolisis biomassa bersifat relatif terhadap temperatur rendah yaitu sekitar 300 – 650°C dan beroperasi dalam reaktor tanpa kehadiran oksigen. Proses dekomposisi pirolisis melibatkan pemanasan biomassa dalam sebuah reaktor pada temperatur pirolisis tanpa kehadiran oksigen untuk menghasilkan produk baru yang berguna. Hasil produk pirolisis sangat dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan selama proses pirolisis (Mustofa, 2019).



Gambar 2.3. Sistem Rangkaian Reaktor Pirolisis (Ridhuan *dkk*,2020)

H. Destilasi

Destilasi atau penyulingan merupakan metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (*volatilitas*) bahan. Dalam penyulingan campuran zat dididihkan sehingga menguap, dan uap ini kemudian digunakan kembali kedalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dahulu, sedangkan zat yang memiliki titik didih lebih tinggi akan mengembun dan akan menguap apabila mencapai titik didihnya. Metode ini termasuk unit operasi kimia jenis perpindahan massa. Penerapan proses ini didasarkan pada teori bahwa pada suatu larutan, masing-masing komponen akan menguap pada titik didihnya (Fatimura, 2014).

I. Homogenitas Campuran

Pada operasi *powder-mixing* konvensional, campuran homogen sempurna didefinisikan bahwa komponen *powder* yang diselidiki menjadi seragam di seluruh campuran. Kondisi keseragaman (homogen) pada campuran dapat didefinisikan sebagai kondisi dimana bahan solid telah bercampur merata

ke dalam bahan liquid. Campuran yang sempurna adalah ketika konsentrasi pada titik yang dipilih secara acak di dalam campuran adalah sama dengan konsentrasi *overallnya* (Abdillah, 2017).

J. Analisis Proximate

1. Kadar air (*moisture*)

Kandungan air yang tinggi menyulitkan penyalaan dan mengurangi temperatur pembakaran. Kadar air sangat menentukan kualitas bio-arang (*bio-char*) yang dihasilkan. *Bio-char* dengan kadar air rendah akan memiliki nilai kalor tinggi (Sudiro, 2016). Perhitungan nilai kadar air dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{((MS - (MC + SP(105^\circ\text{C})) - MCK)) \times 100\%}{MS} \quad (1)$$

Keterangan :

MCK : Massa cawan kosong (gram)

MS : Massa sampel (gram)

MC+SP (1050C) : Massa cawan + Massa setelah pemanasan pada suhu 105 °C (gram).

2. Zat Terbang (*volatile matter*)

Zat terbang (*volatile matter*) berpengaruh terhadap pembakaran dan intensitas *bio-char*. Semakin banyak kandungan volatile matter pada bio-arang (*bio-char*) maka akan semakin mudah untuk terbakar dan menyala

(Krisnayana, 2018). Perhitungan nilai *volatile matter* dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Volatile matter (\%)} = \text{Kadar zat hilang (KZH) (750 }^{\circ}\text{C)} - \quad (2)$$

Kadar air

$$\text{KZH (\%)} = \frac{[MS - (MC + SP(750^{\circ}\text{C})) - MCK] \times 100\%}{MS} \quad (3)$$

Dengan :

MCK : Massa cawan kosong (gram)

MS : Massa sampel (gram)

MC+SP (750°C) : Massa cawan + sampel setelah pemanasan pada suhu 750°C (gram)

3. Kadar Abu (*ash content*)

Kadar abu merupakan ukuran kandungan material dan berbagai material anorganik didalam bahan. Penentuan kadar abu adalah dengan mengoksidasikan semua zat 4 organik pada suhu yang tinggi yaitu sekitar 500 - 600°C dan kemudian melakukan penimbangan zat yang tertinggal setelah proses pembakaran tersebut (Soolany & Aji, 2020). Perhitungan nilai kadar abu dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{((MS - (MC + SP(700^{\circ}\text{C})) - MCK)) \times 100\%}{MS} \quad (4)$$

Keterangan :

MCK : Massa cawan kosong (gram)

MS : Massa sampel (gram)

MC + SP (700⁰C) : Massa cawan + sampel setelah pemanasan pada suhu
700⁰C (gram)

4. Karbon Terikat (*fixed carbon*)

Bio-arang (*bio-char*) dapat dikatakan berkualitas baik atau tidak ditentukan dari kandungan karbon di dalamnya. Semakin tinggi *fixed carbon* yang terkandung dalam bio-arang (*bio-char*) maka dapat dikatakan berkualitas baik karena *fixed carbon* ini merupakan pembangkit utama panas selama pembakaran (Soolany, 2018). Persamaan untuk mencari fixed carbon adalah sebagai berikut:

$$\% \text{Fixed carbon} = 100\% - (\% \text{air} + \% \text{abu} + \% \text{volatile matter}) \quad (5)$$

K. Analisis Nilai Kalor

Nilai kalor dari suatu bahan bakar menunjukkan energi yang terkandung di dalam bahan bakar setiap satuan massa bahan bakar (Btu/lbm) atau (Kcal/kg). Nilai kalor ini penting diketahui untuk mengukur kandungan energi dari setiap massa bahan bakar sehingga konsumsi untuk menghasilkan energi tertentu dapat dikalkulasi secara tepat. Nilai kalor bahan bakar padat seperti *bio-coke* yang bersumber dari biomassa dapat diukur dengan menggunakan bomb calorimeter dan secara teoritik nilai kalor dapat dihitung dengan menggunakan formula Dulong (Krisnayana, 2018)

Bomb calorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran sempurna dalam oksigen berlebih suatu materi atau sampel tertentu. Sejumlah sampel ditempatkan pada tabung

beroksigen yang tercelup dalam medium penyerap kalor (kalorimeter), dan sampel akan terbakar oleh api listrik dari kawat logam yang terpasang dalam tabung (Edie *dkk.*, 2018). Panas yang diserap air dalam bomb calorimeter dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (6)$$

Keterangan :

Q : Panas yang diserap (kJ)

m : Massa air di dalam bomb calorimeter (gram)

C_p : Specific heat 4,186 kJ/kg°C

ΔT : Perbedaan temperatur (°C)

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada bulan November 2022 hingga selesai.

2. Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di:

1. Laboratorium Fisika Material dan Energi, FMIPA, Universitas Halu Oleo, Kendari, untuk preparasi sampel, proses pirolisis dan proses destilasi.
2. Laboratorium Nano teknologi, FMIPA, Universitas Halu Oleo, Kendari, untuk analisis proximate dan uji nilai kalor sampel.

B. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dalam bidang material energi yang berjudul “Produksi dan Karakterisasi *bio-coke hybrid* limbah tempurung kelapa yang diproduksi dengan metode *Liquid Solid Mixing* “.

C. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1. sebagai berikut:

Tabel 3.1. Alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat	Fungsi
1	Timbangan	Untuk menimbang sampel tempurung kelapa
2	Karung	Sebagai wadah tempurung kelapa
3	Cluser	Untuk menghaluskan sampel
4	Cetakan	Untuk mencetak <i>bio-coke</i>
5	Sarung tangan	Untuk melindungi tangan
6	Alat pirolisis	Untuk tempurung kelapa menjadi <i>bio-coke</i>
7	Ayakan	Untuk menyaring sampel dengan ukuran tertentu
8	Tanur	Untuk menentukan volatile matter dan kadar abu
9	Bomb calorimeter	Untuk mengukur jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran sempurna dalam oksigen berlebih suatu sampel
10	Cawan	porcelain Sebagai wadah sampel yang akan dianalisis
11	Desikator	Sebagai tempat untuk mendinginkan sampel yang telah dipanaskan
12	Gegep	Untuk mengangkat cawan dalam tanur dan oven
13	Botol	Sebagai wadah LVM
14	Pipet tetes	Untuk memindahkan LVM tempurung kelapa

2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini di sajikan dalam tabel 3.2. sebagai berikut:

Tabel 3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No.	Bahan	Fungsi
1	Tempurung kelapa	Sebagai bahan baku utama
2	Liquid volatile matter	Sebagai bahan baku paduan
3	Air dan Aseton	untuk membersihkan cetakan <i>bio-coke</i>

D. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Sampel

a) Sampel Tempurung kelapa

1. Sampel tempurung kelapa dijemur dibawah sinar matahari sampai kering untuk mengurangi kadar air.
2. Sampel tempurung kelapa dipirolisis dengan variasi suhu 400°C, 500 °C , dan 600 °C untuk memperoleh *bio-char* .
3. *Bio-char* Tempurung kelapa kemudian dihaluskan menggunakan cluser lalu diayak dengan ukuran 60 mesh.

b) liquid volatile matter (LVM)

1. Tempurung kelapa dipirolisis pada suhu 400, 500 dan 600 °C.
2. LVM disaring menggunakan kertas Whatman nomor 1.

3. LVM hasil pirolisis didestilasi pada suhu 70-90 °C untuk memperoleh LVM murni.

2. Tahap Pembuatan Bio Coke dengan Metode Liquid Solid Mixing

- a) *Bio-char* tempurung kelapa sebanyak 10 gram dicampur dengan 10 %, 20%, dan 30% LVM hingga homogen.
- b) Sampel dimasukkan ke dalam cetakan *bio-coke hybrid* dan ditekan dengan tekanan 10 MPa.



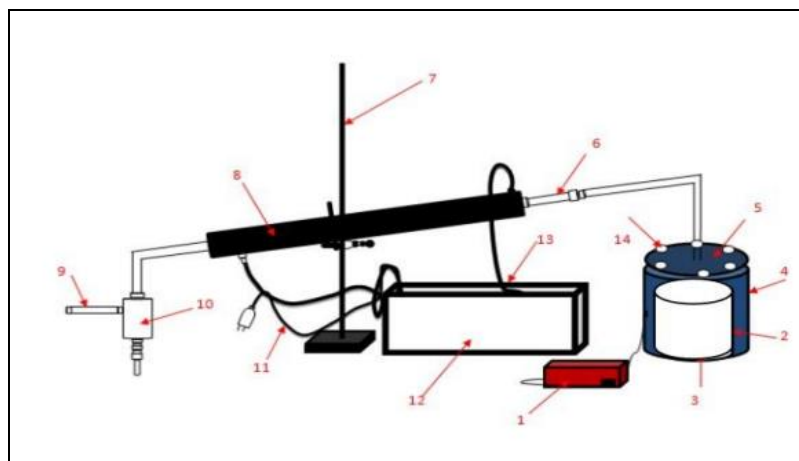
Gambar 3.1 cetakan *bio-coke hybrid* (M. Jahding, 2022).

- c) Cetakan yang telah berisi *bio-char* tempurung kelapa dan LVM dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis.
- d) Beban diletakan di atas penutup cetakan seberat 2 kg.



Gambar 3.2. Anak Timbangan 1,0 kg (Ulfa, 2018)

- e) Temperatur pirolisis diatur pada suhu kamar sebagai suhu awal pirolisis, setelah mencapai temperatur 120 °C selanjutnya temperatur dipertahankan selama 30 menit.
- f) Temperatur pirolisis diturunkan pada suhu kamar (30 °C), dan bio coke hybrid dikeluarkan dari cetakan.
- g) Ulangi langkah a-g untuk *bio-char* 500 dan 600 °C.



Gambar 3.3. Rangkaian alat pirolisis (M. Jahiding, 2015).

Keterangan:

1. Pengatur temperatur
2. Elemen panas
3. Wadah limbah
4. Heater
5. Penutup v reaktor
6. Pipa tempat mengalirnya asap
7. Statif atau penyangga
8. Pipa kondensor (spiral)

9. Tempat keluarnya asap
10. Penampung tar
11. Kabel penghubung
12. Air sirkulasi
13. Pompa air
14. Lubang penutup heater.

E. Analisis Proximate

a) Kadar air (moisture)

- 1) Cawan yang akan digunakan untuk menyimpan sampel *bio-coke hybrid* dicuci menggunakan air bersih agar menghilangkan kotoran yang masih tertempel pada cawan,.
- 2) Cawan dipanaskan menggunakan tanur dengan suhu sampai 110°C selama 10 - 15 menit.
- 3) Setelah dipanaskan, cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 10 menit untuk didinginkan hingga mencapai suhu kamar.
- 4) Massa cawan kosong (MCK) diukur menggunakan neraca.
- 5) Massa sampel *bio-coke hybrid* (MS) diukur menggunakan neraca, kemudian sampel *bio-coke hybrid* dimasukkan ke dalam cawan yang telah diketahui bobot konstannya atau massa kosongnya.
- 6) Cawan yang telah berisi sampel dimasukkan ke dalam oven.
- 7) Cawan dipanaskan pada suhu 105°C selama 3 jam untuk menguapkan kadar air pada sampel.

- 8) Setelah 3 jam, cawan yang berisi *bio-coke hybrid* tersebut dikeluarkan kemudian dimasukkan ke dalam desikator untuk proses pendinginan dan agar terhindar dari kontaminasi suhu luar,.
- 9) Massa cawan yang berisi *bio-coke hybrid* yang telah didinginkan dalam desikator selama 15 menit diukur menggunakan neraca.
- 10) Kadar air yang terkandung dalam sampel dihitung menggunakan persamaan (1).

b) Kandungan Zat Terbang (volatile matter)

- 1) Sampel *bio-coke coke hybrid* yang telah diketahui kadar airnya dimasukkan ke dalam cawan.
- 2) Cawan ditutup menggunakan aluminium foil dan sampel dimasukkan ke dalam tanur dengan hati-hati.
- 3) Sampel dipanaskan pada suhu 750°C selama 15 menit, untuk menguapkan gas-gas yang terkandung dalam sampel.
- 4) Setelah dipanaskan didalam tanur, sampel didinginkan didalam desikator.
- 5) Penutup porselin dibuka dan cawan yang berisi sampel *bio-coke* ditimbang menggunakan neraca
- 6) Kadar volatile matter yang terkandung dalam sampel dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan (3).

C) Kadar Abu (ash content)

- 1) Sampel dimasukkan ke dalam cawan porselin yang tanpa penutup kemudian dipanaskan menggunakan tanur pada suhu 700°C selama 3 jam.

- 2) Sampel didinginkan dengan menggunakan desikator selama 15 menit.
- 3) Massa cawan yang berisi *bio-coke* diukur menggunakan neraca.
- 4) Kadar abu dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

d) Kandungan Karbon Terikat (fixed carbon)

Kadar karbon terikat (fixed carbon) adalah fraksi karbon dalam arang selain fraksi abu, zat mudah menguap dan air. Fixed carbon dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

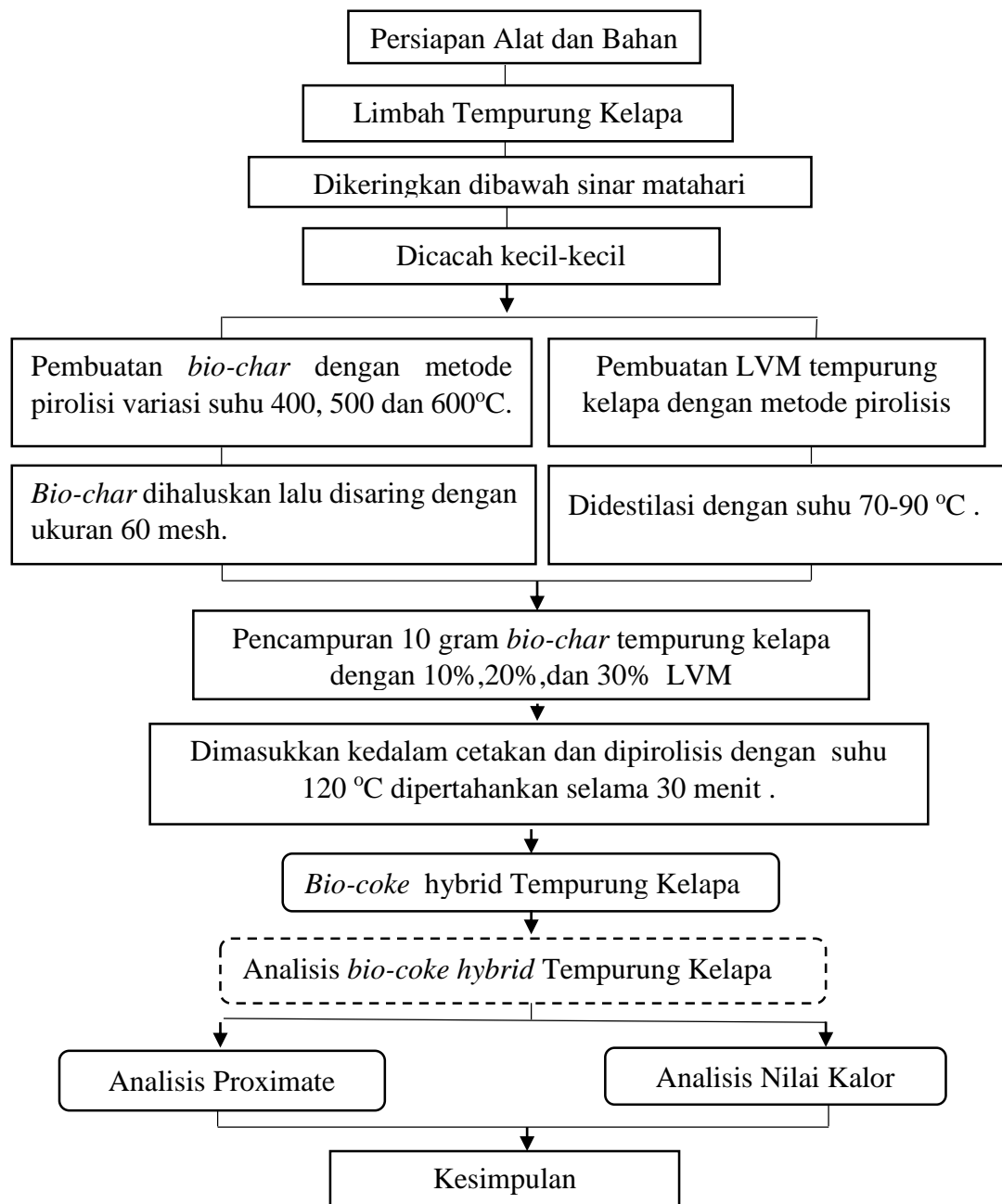
F. Analisis Nilai Kalor

- a. Sampel ditimbang kemudian ditempatkan pada cawan.
- b. Sampel diikat dengan kawat niklin sepanjang 10 cm dan dipasang pada katup positif dan negatif pada tempat cawan.
- c. Cawan dimasukkan ke dalam reaktor secara perlahan-lahan dan ditutup dengan rapat dan benar (jangan sampai kawat niklin lepas dari sampel).
- d. Reaktor diisi dengan gas oksigen dengan tekanan 20 sampai 30 atm kemudian kran pembuka gas ditutup dengan benarjangan sampai gas bocor jika terjadi kebocoran ulangi pengisian gas.
- e. Tabung atau bejana dipanaskan diisi dengan air 2000 mL dengan tepat.
- f. Reaktor dimasukkan ke dalam bejana pemanas dan dihubungkan reaktor dengan katup positif dan negatif pada arus.
- g. Alat ditutup dengan benar, termometer khusus bomb calorimeter dipasang dengan benar dan pengaduk dihidupkan sehingga suhu dalam bejana pemanas konstan dan homogen (diaduk sampai suhunya konstan).

- h. Tombol pembakar ditekan dan diamati perubahan suhu awal pembakaran dan kenaikan suhunya sampai diperoleh suhu konstan (catat suhunya sebagai suhu akhir).
- i. Alatnya dimatikan lalu termometer khusus bomb calorimeter dilepas dan dikeluarkan reaktornya dan membuka kran oksigen sampai oksigen keluar, kemudian buka reaktor dan bersihkan.

G. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, L. H. (2017). *Pengaruh Mixing Time Terhadap Homogenitas Slurry Propelan Dengan Mixer Sigma Blade*. <http://repository.its.ac.id/47327/>
- Affandy, A. L., Samman, F. A., & Sadjad, R. S. (2017). Parameterisasi Kendali PID pada Konverter DC/DC Penurun Tegangan dengan Kriteria Domain Waktu dan Efisiensi Daya. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 21(1), 87–92. <https://doi.org/10.25042/jpe.052017.13>
- Dalimunthe, Y. K., Kasmungin, S., Satiawati, L., Madani, T., & Rizky, T. A. (2021). Analysis of the Quality of Mixed Coconut Shell Waste Briquettes with Various Biomass Additives as Alternative Fuels. *Journal of Earth Energy Science, Engineering, and Technology*, 4(2), 2–7. <https://doi.org/10.25105/jeeset.v4i2.9118>
- Hasan, E. S., Jahiding, M., Mashuni, Ilmawati, W. O. S., Wati, W., & Sudiana, I. N. (2017). Proximate and the Calorific Value Analysis of Brown Coal for High-Calorie Hybrid Briquette Application. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/846/1/012022>
- Irsan, M., Yuliansyah, A. T., & Purwono, S. (2019). Produksi Bahan Bakar Padat Dari Tempurung Kelapa Dengan Metode Hydrothermal Treatment. *Konversi*, 8(1), 2–8. <https://doi.org/10.20527/k.v8i1.6505>
- Jahiding, M., Lestari, L., Oktaviani, D. L., & Rizki, R. S. (2021). *Analisis kualitas bio-coke cangkang kakao terinjeksi lvm sebagai bahan bakar alternatif*. 1(November), 1725–1733.
- Kamal Baharin, N. S., Koesoemadinata, V. C., Nakamura, S., Yahya, W. J., Muhammad Yuzir, M. A., Md Akhir, F. N., Iwamoto, K., Othman, N., Ida, T., & Hara, H. (2020). Conversion and characterization of *Bio-coke* from abundant biomass waste in Malaysia. *Renewable Energy*, 162, 1017–1025. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.083>
- Mashuni, Yanti, N. A., Jahiding, M., Kadidae, L. O., Djaila, R., & Hamid, F. H. (2020). Analysis of liquid volatile matters from coconut shell pyrolysis by GC-MS and its potential as antifungal agent. *Asian Journal of Chemistry*, 32(7), 1728–1732. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2020.21657>
- Pertiwi, N. (2016). Kandungan Lignin, Selulosa, Hemiselulosa dan Tanin Limbah Kulit Kopi yang di Fermentasi Menggunakan Jamur *Aspergillus niger* dan *Trichoderma viride*. *Skripsi*, 23.
- Rizal, W. A., Nisa, K., Maryana, R., Prasetyo, D. J., Pratiwi, D., Jatmiko, T. H., Ariani, D., & Suwanto, A. (2020). Chemical composition of liquid smoke from coconut shell waste produced by SME in Rongkop Gunungkidul.

- IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012057>
- Sa'diyah, K., Rohman, F., Harsanti, W., Nugraha, I., & Febrianto, N. A. (2018). Pyrolysis of Coconut Coir and Shell as Alternative Energy Source. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 7(2). <https://doi.org/10.15294/jbat.v7i2.11393>
- Satheesh, M., Pugazhivadivu, M., Prabu, B., Gunasegaran, V., & Manikandan, A. (2019). Synthesis and Characterization of Coconut Shell Ash. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(7), 4123–4128. <https://doi.org/10.1166/jnn.2019.16299>
- Tambunan, S., Siswanto, B., & Handayanto, E. (2014). Pengaruh Aplikasi Bahan Organik Segar Dan *Bio-char* Terhadap Ketersediaan P Dalam Tanah Di Lahan Kering Malang Selatan. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 1(1), 85–92. <http://jtsl.ub.ac.id>
- Widiastuti, M. M. D., & Lantang, B. (2017). Pelatihan Pembuatan *Bio-char* dari Limbah Sekam Padi Menggunakan Metode Retort Kiln. *Agrokreatif Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 129. <https://doi.org/10.29244/agrokreatif.3.2.129-135>
- Yanti, R. N., Ratnaningsih, A. T., & Ikhsani, H. (2022). Pembuatan bio-briket dari produk pirolisis *bio-char* cangkang kelapa sawit sebagai sumber energi alternatif. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 19(1), 11–18. <https://doi.org/10.31849/jip.v19i1.7815>
- Zulkania, A. (2016). Pengaruh Temperatur Dan Ukuran Partikel Biomassa Terhadap Bio-Oil Hasil Pirolisis Ampas Tebu / Baggase. *Teknoin*, 22(5), 328–336. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol22.iss5.art2>