BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

A. Briket Arang

Kebutuhan terhadap sumber energi terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan berkembangnya berbagai aktivitas masyarakat. Kondisi tersebut menjadikan ketersediaan energi sebagai salah satu aspek penting dalam menunjang keberlangsungan pembangunan, terutama karena pemanfaatannya mencakup sektor rumah tangga, industri, hingga transportasi. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan untuk membantu memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan adalah briket berbasis biomassa. Briket merupakan bahan bakar berbentuk padat yang diperoleh dengan mengolah dan memadatkan sisa-sisa bahan organik atau biomassa menggunakan tekanan tertentu. Berbagai limbah pertanian dan kehutanan yang belum dimanfaatkan secara maksimal dapat digunakan sebagai bahan baku, seperti kayu, sekam padi, jerami, ampas tebu, cangkang kemiri, cangkang kelapa sawit, tempurung kelapa, serta tongkol jagung. Pemanfaatan limbah tersebut sebagai briket dapat memberikan nilai tambah terhadap material yang sebelumnya kurang termanfaatkan. Selain itu, karakteristik pembakaran yang relatif tahan lama menjadikan briket berpotensi digunakan sebagai sumber energi, khususnya untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga. Dengan demikian, pengembangan briket dari biomassa dapat menjadi salah satu upaya dalam menyediakan energi alternatif sekaligus meningkatkan pemanfaatan limbah organik (Zaenal Arifin, et all,. 2023).

Pengembangan briket sebagai bahan bakar alternatif memiliki peluang yang cukup besar karena proses pembuatannya relatif sederhana dan dapat memanfaatkan bahan baku yang mudah ditemukan. Briket umumnya dibuat dengan mengolah biomassa, yaitu material organik yang terbentuk melalui aktivitas fotosintesis, menjadi bahan bakar padat yang memiliki karakteristik pembakaran tertentu. Bahan biomassa tersebut dapat bersumber dari berbagai jenis limbah, baik yang berasal dari kegiatan pertanian, aktivitas perkotaan, maupun proses industri. Selain ketersediaan bahan baku yang beragam, briket juga memiliki keunggulan berupa nilai kalor yang relatif tinggi serta kemampuan mempertahankan

pembakaran dalam waktu yang cukup lama. Kualitas briket perlu diperhatikan agar dapat digunakan secara efektif sebagai bahan bakar. Berdasarkan SNI 1683:2021, briket yang memenuhi kriteria kualitas memiliki nilai kalor lebih dari 6.500 kal/gram, kadar abu tidak melebihi 4%, dan kadar air maksimal sebesar 8%. Briket yang baik juga diharapkan mudah dinyalakan serta mampu mempertahankan proses pembakaran pada rentang suhu sekitar 300–500°C dalam durasi yang relatif panjang. Oleh sebab itu, pengujian terhadap karakteristik briket, terutama nilai kalor, menjadi bagian penting dalam proses pembuatannya. Nilai kalor dapat digunakan sebagai salah satu indikator untuk menilai seberapa baik energi yang dihasilkan dari pembakaran briket dan menentukan kelayakannya sebagai bahan bakar alternatif.

Arang briket dapat dikembangkan sebagai salah satu sumber energi alternatif dengan memanfaatkan berbagai material biomassa yang tersedia di lingkungan. Bahan bakunya dapat berupa serbuk gergaji, tempurung kelapa, maupun berbagai jenis material organik lainnya. Dalam proses pembuatannya, biomassa terlebih dahulu mengalami karbonisasi, kemudian diolah melalui tahapan penghancuran, pencampuran dengan bahan pendukung, hingga pembentukan sesuai ukuran yang diinginkan. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, penggunaan arang briket memiliki sejumlah keunggulan, antara lain biaya yang relatif terjangkau, pemanfaatan limbah yang lebih optimal, serta karakteristik yang lebih ramah terhadap lingkungan. Muzakky et al. (2025) menjelaskan bahwa arang briket mempunyai beberapa karakteristik penting yang mendukung pemanfaatannya sebagai sumber energi alternatif yang efisien sekaligus lebih berwawasan lingkungan. Karakteristik tersebut meliputi

1. Nilai Kalor Tinggi

   Briket arang memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, umumnya berkisar antar 5.000 – 7.500 kal/gram tergantung jenis bahan baku dan proses pembuatannya. Nilai kalor tinggi ini membuat briket mampu :

   a. Menghasilkan panas yang stabil dan merata
   b. Memiliki waktu pembakaran yang lebih lama dibanding arang biasa
   c. Efisien digunakan untuk kegiatan rumah tangga maupun industry seperti pengeringan, pembakaran logam ringan, dan produksi makanan.

2. Prosuksi Abu yang Minim

   Proses pembakaran arang briket menghasilkan residu abu dalam jumlah kecil, sehingga :

   a. Membuat proses pembersihan lebih mudah
   b. Mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah padat
   c. Meningkatkan efisiensi panas karena sedikit abu yang menumpuk pada ruang pembakaran.

3. Ramah Lingkungan

   Briket arang dinilai lebih ramah lingkungan karena :

   a. Dibuat dari bahan baku limbah biomassa seperti tepurung kelapa, tongkol jagung, cangkang sawit, cangkang kemiri dll
   b. Memiliki emisi gas berbahaya yang lebih rendah, terutama CO dan SO2 dibanding bahan bakar fosil
   c. Mengurangi kebutuhan terhadap bahan bakar sehingga membantu mengurangi deforestasi.

4. Mudah Dibentuk dan Digunakan

   Arang briket dapat dibentuk menjadi beberapa ukuran dan bentuk seperti silinder, kubus, bentuk sarang lebah (*honeycomb*), atau tablet sehingga :

   a. Lebih mudah ditata dalam tungku
   b. Efisiensi pembakaran lebih tinggi berkat bentuk yang seragam
   c. Praktis untuk transportasi, penyimpanan dan penggunaan.

Muzakky et al. (2025) menjelaskan bahwa proses pembuatan arang briket membutuhkan beberapa komponen utama yang saling mendukung. Biomassa berperan sebagai bahan dasar, yang dapat berasal dari berbagai sumber seperti tempurung kelapa dan tongkol jagung. Dalam proses pembentukan briket, diperlukan pula bahan perekat, salah satunya tepung kanji, untuk menyatukan partikel-partikel arang agar menghasilkan bentuk yang lebih kompak. Selain itu, air digunakan sebagai media pencampur untuk membantu proses homogenisasi bahan sebelum dilakukan pencetakan.

Pemanfaatan arang briket memberikan sejumlah keuntungan, terutama karena bahan bakunya dapat berasal dari limbah organik yang sebelumnya kurang dimanfaatkan. Penggunaannya juga berpotensi menghasilkan proses pembakaran

yang lebih efisien dan relatif lebih bersih serta dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Dari sisi pemanfaatan, arang briket dapat digunakan dalam berbagai kegiatan, mulai dari kebutuhan memasak di rumah tangga, sumber energi bagi industri skala kecil, hingga bahan bakar untuk keperluan pemanasan.

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, pengembangan arang briket masih menghadapi beberapa hambatan. Salah satunya adalah pemenuhan standar mutu yang diperlukan untuk memasuki pasar ekspor. Selain itu, keterbatasan teknologi dan fasilitas produksi juga dapat menjadi kendala dalam meningkatkan kapasitas produksi ke skala yang lebih besar. Persaingan harga dengan bahan bakar konvensional menjadi tantangan lainnya karena dapat memengaruhi daya saing briket di pasar.

Berdasarkan penggunaannya, arang briket dapat diaplikasikan pada beberapa sektor. Pada tingkat rumah tangga, briket dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk kegiatan memasak, khususnya pada wilayah yang memiliki keterbatasan akses terhadap sumber energi tertentu. Dalam sektor industri, briket dapat digunakan sebagai sumber panas pada proses pengeringan maupun pemanggangan. Sementara itu, briket yang berbahan dasar tempurung kelapa memiliki peluang pasar internasional yang cukup besar dan telah dimanfaatkan sebagai komoditas ekspor ke sejumlah negara maju.

Briket bioarang dapat menjadi salah satu pilihan bahan bakar alternatif yang memiliki kualitas dan nilai guna cukup baik. Penggunaannya didukung oleh biaya produksi yang relatif rendah karena bahan baku dapat diperoleh dari berbagai jenis limbah atau material organik yang sebelumnya tidak memiliki nilai guna optimal. Selain ekonomis, karakteristik pembakarannya memungkinkan briket digunakan untuk kebutuhan yang memerlukan suplai panas secara berkelanjutan dalam waktu relatif lama. Oleh karena itu, briket bioarang berpotensi diterapkan pada berbagai kegiatan yang membutuhkan proses pembakaran terus-menerus, seperti usaha kuliner, warung makan, rumah makan, maupun usaha yang menggunakan tungku untuk memasak, termasuk warung soto dan penjual sate (Fera Anissa, 2019). Pemanfaatan tersebut menunjukkan bahwa briket bioarang tidak hanya berfungsi sebagai alternatif bahan bakar, tetapi juga memiliki potensi dalam mendukung

kebutuhan energi yang lebih ekonomis dan memanfaatkan limbah secara produktif. Adapun beberapa kegunaan briket bioarang menurut Fera Anissa (2019) meliputi:

1. Briket arang dengan ukuran relatif kecil dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar pada tungku maupun anglo tanpa memerlukan peralatan khusus. Setelah dinyalakan, panas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas memasak, termasuk proses pembakaran sate, sebagaimana penggunaan arang kayu pada umumnya.
2. Efektivitas penggunaan briket dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan tungku yang dirancang khusus untuk pembakaran briket arang. Pada tungku tersebut, proses penyalaan dapat dimulai dari bagian tengah, kemudian sistem ventilasi membantu mengarahkan aliran udara dan panas ke bagian atas sehingga pembakaran berlangsung lebih merata. Kondisi tersebut memungkinkan briket terbakar secara lebih optimal hingga tersisa sedikit residu.

Pemanfaatan briket arang memiliki beberapa kelebihan, salah satunya berkaitan dengan aspek ekonomis. Proses produksinya dapat dilakukan menggunakan peralatan yang relatif sederhana dengan bahan baku yang mudah diperoleh dan berbiaya rendah. Bahkan, material yang digunakan dapat berasal dari limbah seperti sampah organik dan daun kering yang sudah tidak dimanfaatkan. Dengan demikian, pengolahan limbah menjadi briket tidak hanya menghasilkan bahan bakar alternatif, tetapi juga dapat memberikan nilai tambah terhadap material yang sebelumnya dianggap tidak berguna.

1. Lebih ekonomis, karena biaya penggunaannya relatif rendah dibandingkan minyak maupun arang kayu.
2. Lebih praktis selama pembakaran, karena pengguna tidak perlu terus-menerus melakukan pengipasan atau menambahkan bahan bakar baru.
3. Memiliki durasi pembakaran yang relatif panjang, sehingga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan panas dalam waktu yang lebih lama.
4. Relatif aman dalam penggunaannya, karena proses pembakaran berlangsung di bagian tengah tungku sehingga api lebih terkendali dan tidak mudah menyebar.

5. Mudah dalam penyimpanan dan pemindahan, karena bentuknya padat dan lebih praktis untuk ditata maupun dibawa.

Menurut Fera Anissa (2019), kualitas biobriket dapat dikenali dari karakteristik fisik maupun performa pembakarannya. Secara fisik, briket yang baik memiliki permukaan yang relatif halus dan tidak meninggalkan noda hitam pada tangan ketika disentuh. Selain karakteristik tersebut, kualitas briket juga dapat dievaluasi melalui beberapa parameter pengujian berikut:

1. Mudah dinyalakan. Briket yang memiliki kualitas baik seharusnya dapat dinyalakan dengan relatif mudah. Pengujiannya dilakukan dengan memberikan sumber api pada briket, kemudian mencatat waktu yang diperlukan hingga bagian briket mulai terbakar dan menghasilkan nyala.
2. Tidak mengeluarkan asap. Setelah briket berhasil dinyalakan, jumlah asap yang dihasilkan selama proses pembakaran diamati. Briket yang menghasilkan asap dalam jumlah besar dapat menunjukkan kualitas pembakaran yang kurang baik, sedangkan pembakaran dengan sedikit atau tanpa asap menjadi salah satu indikator karakteristik briket yang lebih baik..
3. Pengujian ini bertujuan mengetahui kemampuan briket dalam mempertahankan proses pembakaran serta efektivitas penggunaannya sebagai bahan bakar. Pengukuran dilakukan dengan mencatat lama waktu pembakaran menggunakan stopwatch dan menimbang perubahan massa briket selama proses berlangsung. Data tersebut dapat digunakan untuk mengetahui laju pembakaran dan mengevaluasi performa briket sebagai sumber energi.

Pembuatan briket pada dasarnya dilakukan dengan memberikan tekanan pada campuran bahan baku hingga terbentuk material padat berbentuk blok, kemudian dilanjutkan dengan proses pengeringan untuk menghasilkan struktur yang lebih kuat. Teknologi pembriketan telah banyak diterapkan pada bahan bakar padat, termasuk batu bara yang memiliki nilai kalor relatif rendah maupun material batu bara berukuran kecil, dengan tujuan meningkatkan nilai guna dan nilai ekonominya. Produk briket selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi, baik pada lingkungan rumah tangga maupun kegiatan industri.

Karakteristik bahan baku menjadi salah satu faktor yang menentukan mutu briket yang dihasilkan. Bahan dengan kadar air yang rendah cenderung lebih

mendukung pencapaian nilai kalor yang tinggi. Namun, kandungan zat volatil juga perlu diperhatikan karena berhubungan dengan karakteristik pembakaran. Semakin tinggi kandungan zat volatil dalam suatu bahan, umumnya semakin cepat bahan tersebut mengalami pembakaran dan habis terbakar. Untuk menghasilkan briket dengan karakteristik yang sesuai, proses produksinya memerlukan beberapa tahapan pengolahan bahan baku. Perlakuan awal dapat mencakup *debarking* atau proses pelepasan kulit kayu, pengecilan ukuran partikel, pengeringan, serta pengayakan untuk memperoleh ukuran bahan yang lebih seragam. Pengendalian kadar air merupakan bagian penting dalam tahapan tersebut karena kadar air yang terlalu tinggi dapat menurunkan nilai kalor.

Meskipun demikian, proses pengeringan yang dilakukan secara berlebihan juga kurang efisien dari sisi energi dan waktu. Kadar air sekitar 12–15% dapat menjadi kisaran yang sesuai, meskipun kondisi optimalnya tetap bergantung pada karakteristik bahan baku yang digunakan. Kualitas briket yang baik akan meningkatkan efektivitas pemanfaatannya sebagai bahan bakar dan memberikan keuntungan yang lebih besar bagi pengguna. Menurut Subagyo et al. (2022), penilaian terhadap mutu briket dapat dilakukan melalui analisis *proximate* dan *ultimate*. Analisis *proximate* digunakan untuk mengetahui beberapa karakteristik dasar bahan bakar melalui sejumlah parameter pengujian yang berkaitan dengan komposisi dan sifat pembakarannya. Parameter-parameter tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kualitas briket yang dihasilkan. Pada analisi proximate, ada beberapa parameter yang digunakan :

1. Kadar air (*moisture)*

   Kadar air adalah ukuran yang digunakan untuk mengetahui proporsi kandungan air yang terdapat dalam suatu bahan, yang dinyatakan dalam bentuk persentase terhadap berat keseluruhan bahan. Dalam pembuatan briket berbahan dasar biomassa, parameter ini perlu diperhatikan karena berkaitan langsung dengan karakteristik pembakaran, seperti proses penyalaan, kestabilan api, serta tingkat efisiensi bahan bakar.

   Kandungan air yang terdapat pada bahan bakar padat sebaiknya berada pada tingkat yang rendah. Kondisi tersebut dapat membantu briket lebih mudah dinyalakan sekaligus mendukung pencapaian nilai kalor yang lebih

tinggi. Sebaliknya, kadar air yang berlebihan dapat menghambat proses penyalaan dan menyebabkan temperatur pembakaran menjadi lebih rendah. Hal ini terjadi karena sebagian energi panas yang dihasilkan selama pembakaran digunakan terlebih dahulu untuk menguapkan kandungan air dalam briket, sehingga energi yang tersedia untuk proses pembakaran menjadi berkurang. Nilai kadar air pada briket dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$kadar\ air\ = \frac{W\text{-}B}{W} x\ 100\%$$

Dimana :

W = berat mula - mula (gram)

B = berat setelah dikeringkan (gram)

Kandungan *moisture* pada bahan bakar padat pada dasarnya dapat dibedakan berdasarkan bentuk keberadaan air di dalam bahan. Secara umum, air tersebut terdiri atas dua jenis, yaitu *free moisture* yang merupakan air bebas dan *inherent moisture* yang berupa air yang terikat di dalam bahan.

a. *Free moisture* (uap air bebas). *Free moisture* merupakan kandungan air yang berada dalam bentuk bebas sehingga relatif mudah dikeluarkan dari bahan melalui proses pengeringan atau penguapan, salah satunya dengan metode *air drying*. Keberadaan *free moisture* perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi proses penanganan dan persiapan bahan bakar. Oleh sebab itu, informasi mengenai kadar *free moisture* menjadi salah satu pertimbangan dalam perancangan peralatan yang digunakan untuk *coal handling* dan *coal preparation*.
b. *Inherent moisture* (uap air terikat). Berbeda dengan *free moisture*, *inherent moisture* merupakan kandungan air yang masih terikat di dalam struktur bahan. Penentuannya dilakukan melalui proses pemanasan sampel briket pada suhu sekitar 110°C selama satu jam. Besarnya kehilangan massa setelah pemanasan digunakan sebagai dasar untuk mengetahui kadar *inherent moisture* yang terdapat dalam bahan..

Kandungan air yang berlebihan pada briket dapat memengaruhi karakteristik pembakarannya. Briket dengan kadar air tinggi cenderung membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kondisi pembakaran dan lebih sulit mengalami penyalaan awal. Kondisi tersebut terjadi karena energi panas yang dihasilkan tidak seluruhnya digunakan untuk proses pembakaran, melainkan sebagian terlebih dahulu dimanfaatkan untuk menghilangkan kandungan air melalui proses penguapan. Akibatnya, efektivitas pembakaran dan pemanfaatan energi dari briket menjadi lebih rendah.

Penelitian terbaru mengenai karakteristik bahan bakar briket juga menunjukkan bahwa kandungan air memengaruhi temperatur di dalam bahan selama pembakaran dan jumlah energi yang diperlukan untuk mencapai temperatur pembakaran. Kandungan air yang tinggi dapat menyebabkan efisiensi pembakaran menurun, pembakaran menjadi lebih lambat, dan meningkatkan kemungkinan terjadinya pembakaran yang tidak sempurna.

Pembakaran yang kurang sempurna perlu diperhatikan dari aspek kesehatan lingkungan, karena dapat menghasilkan emisi berupa asap, partikulat, dan gas seperti karbon monoksida (CO)**.** Emisi tersebut dapat menurunkan kualitas udara apabila jumlahnya tinggi dan paparan terjadi dalam waktu yang cukup lama. Penelitian mengenai emisi dari pembakaran briket menunjukkan bahwa jenis bahan bakar dan kondisi pembakaran dapat memengaruhi jumlah polutan udara yang dihasilkan. Oleh karena itu, kualitas bahan bakar dan proses pembakaran merupakan bagian penting dalam upaya mengurangi pencemaran udara (Li et al., 2023).

Sebaliknya, kadar air yang rendah memungkinkan proses pembakaran berlangsung lebih mudah dan efisien, sehingga energi panas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih optimal. Dari sudut pandang kesehatan lingkungan, pemanfaatan limbah biomassa menjadi briket juga dapat menjadi salah satu upaya pengelolaan limbah padat melalui pemanfaatan kembali (*reuse*) (Kebede et al., 2022)**.**

Dengan demikian, pengendalian kadar air dalam pembuatan briket tidak hanya bertujuan menghasilkan bahan bakar dengan kualitas pembakaran yang baik, tetapi juga mendukung pengelolaan limbah biomassa, pengurangan praktik pembakaran terbuka, serta upaya pengendalian pencemaran udara dan perlindungan kesehatan masyarakat**.**

2. Kadar abu

Kadar abu (*ash content***)** merupakan persentase sisa setelah suatu bahan mengalami proses pembakaran atau pemanasan pada kondisi dan suhu tertentu hingga seluruh komponen organiknya teroksidasi. Pada briket biomassa, kadar abu menggambarkan jumlah mineral dan bahan anorganik yang tidak terbakar, seperti silika (SiO_2), kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), dan mineral lainnya**.**

Kadar abu menjadi salah satu indikator yang digunakan untuk mengevaluasi mutu briket sebagai bahan bakar padat. Besarnya kandungan abu berhubungan dengan jumlah material yang tidak dapat terbakar selama proses pembakaran. Semakin banyak abu yang dihasilkan, semakin berkurang bagian briket yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Selain itu, keberadaan abu dalam jumlah tinggi dapat menghambat proses transfer panas dan menghasilkan residu yang tertinggal setelah pembakaran selesai. Penumpukan residu tersebut juga dapat mengganggu kinerja peralatan pembakaran serta berkontribusi terhadap peningkatan emisi partikulat. Oleh karena itu, kadar abu yang rendah umumnya menunjukkan karakteristik bahan bakar yang lebih baik. Kadar abu dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

:

$$kadar\ abu\ = \frac{F}{W} x\ 100\%$$

Dimana:

F = berat abu (gram)

W = berat mula-mula (gram)

Kadar abu perlu diperhatikan karena berhubungan dengan residu

pembakaran dan pencemaran udara. Abu yang dihasilkan setelah pembakaran merupakan limbah padat yang harus dikelola dengan baik. Jika abu dibuang sembarangan, terutama dalam jumlah besar dan terus-menerus, material yang terkandung di dalamnya dapat terbawa oleh air hujan dan berpotensi masuk ke tanah maupun badan air.

sebagian abu tidak hanya tertinggal sebagai residu di tempat pembakaran. Partikel abu yang berukuran sangat kecil dapat terbawa bersama aliran udara dan asap sebagai partikulat. Pembakaran biomassa diketahui menghasilkan berbagai jenis partikulat dan polutan, sehingga karakteristik bahan bakar serta kondisi pembakaran perlu diperhatikan dalam pengendalian kualitas udara.

Apabila pembakaran briket dilakukan di dekat makanan yang terbuka, partikel abu yang terbawa udara dapat mengendap pada permukaan makanan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan makanan mengalami kontaminasi fisik, yaitu masuknya benda asing atau partikel yang bukan merupakan bagian dari makanan. Jenis kontaminasi tersebut menjadi salah satu faktor yang perlu mendapat perhatian dalam upaya menjaga keamanan pangan (Jiang, et al., 2024).

Selain menghasilkan residu padat, proses pembakaran biomassa juga dapat menghasilkan partikulat (PM) yang dilepaskan ke udara. Penelitian (Chen et al., 2023) menunjukkan bahwa pembakaran biomassa menghasilkan partikulat dengan berbagai komponen kimia, termasuk aerosol organik, karbon hitam, garam anorganik, dan senyawa hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH). Partikulat tersebut penting diperhatikan dalam kesehatan lingkungan karena kualitas udara hasil pembakaran dapat berhubungan dengan risiko paparan terhadap manusia.

Dengan demikian, pengujian kadar abu tidak hanya penting untuk mengetahui kualitas briket sebagai bahan bakar, tetapi juga memiliki kaitan dengan kesehatan lingkungan. Oleh karena itu, pengendalian kadar abu penting untuk menghasilkan bahan bakar yang lebih efisien sekaligus mendukung pengelolaan limbah biomassa dan perlindungan lingkungan.

3. Kadar zat-zat terbang (*volatile matter*)

Zat terbang (*volatile matter*) merupakan komponen bahan bakar padat yang dilepaskan dalam bentuk gas atau uap ketika bahan memperoleh pemanasan pada kondisi suhu tertentu. Pada briket yang berasal dari biomassa, komponen ini terutama berkaitan dengan senyawa organik yang memiliki sifat mudah menguap, termasuk hidrokarbon dan berbagai senyawa organik volatil lainnya. Ketika briket dipanaskan, komponen tersebut akan terlepas dan selanjutnya dapat mengalami pembakaran bersama gas yang terbentuk selama proses pembakaran.

Dalam analisis karakteristik bahan bakar, kandungan zat terbang menjadi salah satu parameter yang diperhitungkan dalam *proximate analysis*. Besarnya kandungan *volatile matter* dapat memengaruhi sifat briket ketika mengalami pemanasan, terutama berkaitan dengan kemudahan penyalaan dan perilaku pembakarannya. Oleh karena itu, parameter ini perlu diperhatikan dalam mengevaluasi kualitas serta karakteristik pembakaran briket biomassa.

Pada briket biomassa, kandungan zat terbang berhubungan dengan kemudahan penyalaan dan karakteristik pembakaran. Briket dengan kandungan zat terbang yang relatif tinggi umumnya lebih mudah menyala karena senyawa volatil akan dilepaskan ketika briket menerima panas dan kemudian dapat terbakar. Namun, jumlah zat terbang yang tinggi juga perlu diperhatikan karena apabila proses pembakaran tidak berlangsung sempurna, sebagian senyawa volatil dapat dilepaskan ke udara sebagai gas atau senyawa organik yang belum terbakar secara sempurna (Kebede et al., 2022).

Komponen *volatile matter* pada bahan bakar padat tersusun atas berbagai jenis gas yang dapat mengalami pembakaran, seperti hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO), dan metana (CH_4). Selain gas yang mudah terbakar, komponen volatil juga dapat mengandung gas yang tidak mengalami pembakaran, antara lain karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O). Secara umum, *volatile matter* merupakan fraksi bahan bakar padat yang

dilepaskan sebagai produk volatil ketika sampel mengalami pemanasan dalam kondisi tanpa udara pada temperatur sekitar 950°C.

Besarnya kandungan zat terbang turut menentukan karakteristik nyala dan jumlah asap selama pembakaran. Bahan bakar dengan *volatile matter* sekitar 40% cenderung menghasilkan nyala yang lebih panjang dan asap dalam jumlah lebih banyak. Sementara itu, kandungan *volatile matter* yang lebih rendah, yaitu sekitar 25% hingga 15%, cenderung lebih disukai karena menghasilkan asap yang relatif lebih sedikit. Oleh karena itu, kadar *volatile matter* perlu diperhatikan dalam mengevaluasi karakteristik pembakaran suatu briket. Nilai kadar zat terbang (*volatile matter*) dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$kadar\ zat\ terbang = \frac{W - B}{W} x\ 100\ \%$$

Dimana:

B = berat setelah dikeringkan (gram)
W= berat mula-mula(gram)

keberadaan zat-zat terbang perlu diperhatikan terutama ketika briket digunakan sebagai bahan bakar dalam ruang tertutup atau dengan ventilasi yang kurang baik. VOC dan produk pembakaran lainnya dapat terakumulasi di udara dan meningkatkan risiko paparan melalui pernapasan.

Hal ini menjadi penting karena penelitian (Liu et al., 2023) menunjukkan bahwa VOC dari pembakaran bahan bakar padat rumah tangga dapat berkontribusi terhadap pembentukan polutan sekunder seperti ozon dan aerosol organik sekunder. Penelitian tersebut juga menunjukkan adanya potensi risiko kesehatan melalui paparan inhalasi dari VOC yang berasal dari pembakaran bahan bakar padat.

4. Kadar karbon terikat (*fixed carbon*)

Karbon terikat (*fixed carbon*) menunjukkan fraksi karbon yang masih tertinggal dalam bahan bakar padat setelah komponen air dan zat-zat

volatil dikeluarkan selama proses pengujian. Komponen ini umumnya berada dalam bentuk arang (char) dan berperan sebagai bagian yang mengalami pembakaran lebih lanjut untuk menghasilkan energi panas. Meskipun disebut sebagai karbon terikat, kandungan tersebut tidak sepenuhnya terdiri atas karbon murni karena masih terdapat sejumlah unsur mineral lain di dalamnya, seperti silikon (Si), aluminium (Al), besi (Fe), titanium (Ti), magnesium (Mg), dan unsur lainnya. Besarnya kadar karbon terikat dapat diketahui melalui perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$kadar\ karbon\ terikat = 100 - (M + V + A)(\%)$$

Kadar karbon terikat biasanya diperoleh secara tidak langsung melalui analisis proksimat dengan persamaan: Karbon terikat (%) = 100% − [kadar air (%) + zat terbang (%) + kadar abu (%)]

Persamaan tersebut digunakan dalam penelitian briket untuk menentukan jumlah karbon yang tersisa setelah komponen air, zat terbang, dan abu diperhitungkan.

Penelitian Kebede et al. (2022) menunjukkan bahwa kandungan karbon terikat pada briket biomassa berkaitan dengan kemampuan bahan bakar dalam menghasilkan energi. Penelitian tersebut menemukan karbon terikat sekitar 38,62–41,75% pada beberapa jenis briket biomassa. Penulis juga menjelaskan bahwa karbon terikat merupakan bagian karbon yang tersedia untuk proses pembakaran dan berhubungan dengan nilai kalor bahan bakar.

5. Nilai kalor

Nilai kalor (*calorific value*) menggambarkan besarnya energi panas yang dapat dilepaskan dari proses pembakaran sempurna suatu bahan bakar. Besaran ini dapat digunakan untuk menunjukkan jumlah panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dalam satuan massa, volume, maupun berat tertentu, bergantung pada bentuk bahan bakar yang digunakan. Pada bahan bakar padat seperti briket biomassa, nilai kalor umumnya dinyatakan dalam kalori per gram (cal/g), kilokalori per kilogram (kcal/kg), atau megajoule per kilogram (MJ/kg).

Besarnya nilai kalor menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kemampuan suatu briket sebagai sumber energi. Briket yang memiliki nilai kalor lebih tinggi mampu menghasilkan energi panas yang lebih besar pada jumlah bahan bakar yang sama. Dengan demikian, semakin tinggi nilai kalor yang dimiliki briket, semakin besar pula potensi energi yang dapat dimanfaatkan selama proses pembakaran. Kebede et al. (2022) menyatakan bahwa nilai kalor merupakan salah satu karakteristik utama yang perlu diperhatikan dalam mengevaluasi kelayakan briket biomassa sebagai bahan bakar.

Besarnya nilai kalor pada briket tidak hanya ditentukan oleh satu faktor, tetapi berkaitan dengan karakteristik bahan penyusunnya. Beberapa parameter yang dapat memengaruhinya meliputi kandungan air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon*, serta jenis biomassa yang digunakan sebagai bahan baku. Secara umum, briket yang memiliki kandungan air lebih rendah dan proporsi karbon terikat yang lebih tinggi cenderung mampu menghasilkan nilai kalor yang lebih besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa komposisi dan karakteristik bahan baku perlu diperhatikan dalam upaya memperoleh briket dengan kemampuan menghasilkan energi panas yang optimal. Sebagai contoh, penelitian Kebede et al. (2022) memperoleh nilai kalor briket biomassa sekitar 3.979–4.577 cal/g, dengan perbedaan yang dipengaruhi oleh jenis biomassa dan bahan pengikat.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Briket Arang

No.	Karakteristik	Mutu	Satuan
1	Kadar air	≤ 8	%
2	Kadar abu	≤ 4	%
3	Kadar zat mudah menguap	10 – 17	%
4	Kadar karbon terikat	≥ 79	%
5	Nilai kalor	≥ 6500	Kal/g

Sumber : Badan Standar Nasional (SNI) : 1683 :2021

Kerangka Tabel :

1. Kadar air = Persentase jumlah air yang terdapat di dalam briket atau bahan bakar padat terhadap massa sampel.
2. Kadar abu = Persentase residu anorganik atau mineral yang tersisa setelah briket mengalami pembakaran sempurna.
3. Kadar zat mudah menguap = Persentase massa komponen yang terlepas dalam bentuk gas atau uap ketika briket dipanaskan pada kondisi dan suhu tertentu tanpa adanya udara.
4. Kadar karbon = Persentase bagian karbon yang tetap berada dalam briket setelah kandungan air, abu, dan zat mudah menguap diperhitungkan.
5. Nilai kalor = Jumlah energi panas yang dilepaskan melalui pembakaran sempurna dalam sejumlah tertentu bahan bakar.

B. Biomassa

Biomassa merupakan sumber daya hayati yang berasal dari material tumbuhan dan dapat dimanfaatkan baik sebagai bahan baku maupun sebagai sumber energi. Material tersebut dapat diperoleh secara langsung dari tanaman ataupun berasal dari hasil samping dan residu aktivitas biologis. Biomassa juga kerap disebut sebagai *fitomassa*, yang mencakup berbagai sumber daya hayati yang berasal dari ekosistem darat maupun perairan.

Ketersediaan biomassa yang berasal dari tanaman energi dalam jumlah besar menjadikannya salah satu sumber energi alternatif yang memiliki prospek untuk dikembangkan, meskipun pemanfaatannya dalam skala komersial masih belum optimal. Jenis biomassa yang dapat dimanfaatkan sangat beragam, meliputi kayu, rumput napier, rapeseed, eceng gondok, rumput laut, *Chlorella*, serbuk gergaji, serpihan kayu, jerami, sekam padi, limbah dapur, limbah industri pulp, serta kotoran hewan. Selain itu, hasil tanaman perkebunan seperti kayu putih, *hybrid poplar*, kelapa sawit, dan tebu juga termasuk dalam sumber biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku energi (Simanjuntak et al., 2024).

Potensi biomassa mencapai lebih dari 146 juta ton per tahun, namun pemanfaatannya masih dibawah 10 % sehingga menghasilkan banyak limbah pertanian yang berpotensi diolah menjadi energi alternatif. Pengembangan biomassa sebagai alternatif energi terbarukan memberikan manfaat yang tidak

terbatas pada pengurangan penggunaan bahan bakar fosil. Pemanfaatannya juga dapat menjadi bagian dari upaya pengelolaan limbah hasil kegiatan pertanian, membantu menekan potensi emisi gas rumah kaca, serta mengubah limbah yang sebelumnya bernilai rendah menjadi sumber daya yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi.

Tabel 2.2 Jenis Biomassa dan Rasio Ketersediaan

No.		Jenis Biomassa	Rasio ketersediaan energi (%)
1	Limbah Pertanian	Padi, gandum, jagung, akar dan umbi, tebu (residu hasil panen)	25
2	Limbah peternakan	Sapi, kambing dan domba, babi, kuda, kerbau dan onta	12,5
3	Limbah Kehutanan	Kayu industry	75
		Kayu bahan bakar	25
		Limbah kayu	100

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa setiap jenis biomassa memiliki potensi energi yang berbeda, sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan.

Biomassa tersusun atas dua kelompok utama, yaitu komponen organik dan anorganik, yang memiliki karakteristik serta fungsi berbeda dalam suatu sistem kehidupan. Menurut Simanjuntak et al. (2024), komposisi senyawa organik dalam biomassa dapat berbeda-beda bergantung pada jenis dan sumber bahan bakunya. Beberapa biomassa memiliki kandungan senyawa organik tertentu dalam jumlah dominan, seperti gliserida yang banyak ditemukan pada berbagai jenis minyak nabati, termasuk minyak rapeseed dan minyak kelapa sawit. Selain itu, sukrosa menjadi salah satu senyawa organik utama yang terdapat pada tanaman tebu dan

bit gula. Di samping senyawa organik, biomassa juga mengandung komponen anorganik yang keberadaan dan jumlahnya tidak selalu sama pada setiap jenis bahan. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku serta sumber biomassa yang digunakan. Dengan demikian, variasi komposisi organik dan anorganik pada biomassa dapat memengaruhi karakteristik serta potensi pemanfaatannya sebagai bahan baku energi.

Potensi energi yang dihasilkan dari biomassa berkaitan erat dengan karakteristik dan jenis bahan baku yang digunakan. Salah satu parameter yang umum digunakan untuk menggambarkan besarnya energi yang terkandung dalam biomassa adalah nilai kalor. Parameter tersebut menunjukkan jumlah energi panas yang dapat dilepaskan ketika suatu bahan mengalami proses pembakaran secara sempurna. Semakin tinggi nilai kalor yang dimiliki suatu bahan, semakin besar pula potensi energi yang dapat dihasilkan. Peningkatan nilai guna dan karakteristik energi biomassa dapat dilakukan melalui berbagai metode pengolahan. Salah satu teknologi yang banyak dikembangkan adalah proses termokimia, khususnya pirolisis. Melalui proses tersebut, biomassa dapat dikonversi menjadi produk yang memiliki karakteristik dan potensi pemanfaatan energi yang lebih baik (Simanjuntak et al., 2024).

C. Proses Pirolisis

Pirolisis merupakan salah satu metode dekomposisi termokimia yang berlangsung melalui pemanasan bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas. Selama proses tersebut, struktur kimia material mengalami penguraian sehingga menghasilkan produk dalam berbagai bentuk, terutama gas, cairan, dan residu padat berupa arang (*char*). Pirolisis termasuk salah satu bentuk *thermolysis* yang berkaitan dengan perubahan struktur material akibat pemanasan, khususnya pada bahan yang memiliki kandungan senyawa organik. Proses ini banyak diterapkan dalam pengolahan bahan organik karena mampu mengubah biomassa menjadi produk dengan karakteristik dan nilai guna yang berbeda dari bahan awal (Ridhuan et al., 2019).

Pirolisis merupakan teknologi termokimia yang memiliki potensi besar dalam mengonversi bahan organik menjadi berbagai produk yang memiliki nilai guna. Pengembangan teknologi ini masih terus dilakukan untuk mengoptimalkan proses

konversi biomassa sekaligus mengatasi berbagai kendala dalam penerapannya sebagai alternatif pengolahan limbah organik dan sumber energi terbarukan. Dibandingkan dengan beberapa metode pengolahan lainnya, proses termokimia memiliki keunggulan karena mampu menghasilkan produk dengan nilai ekonomi serta dapat diterapkan melalui tahapan pengolahan yang relatif sederhana.

Secara umum, proses pirolisis menghasilkan tiga kelompok produk utama, yaitu residu padat berupa arang (*char*), produk gas, dan fraksi cair yang dikenal sebagai *bio-oil*. Arang hasil pirolisis dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif setelah melalui proses aktivasi yang sesuai. Sementara itu, fraksi cair atau *bio-oil* memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan campuran maupun komponen pendukung dalam formulasi bahan bakar. Dengan demikian, pirolisis tidak hanya berfungsi sebagai metode pengolahan bahan organik, tetapi juga dapat menghasilkan produk turunan yang memiliki potensi pemanfaatan lebih luas (Simanjutak et al., 2024).

Menurut Ridhuan et al. (2019), berdasarkan kondisi dan karakteristik prosesnya, pirolisis dapat dikelompokkan menjadi empat jenis, yaitu sebagai berikut:

1. Pirolisis lambat (slow pyrolysis). *Slow pyrolysis* merupakan proses pirolisis yang berlangsung dengan peningkatan suhu secara bertahap dan relatif lambat, yaitu sekitar 5–7 K/menit. Kondisi pemanasan tersebut menyebabkan pembentukan produk cair dalam jumlah yang relatif rendah. Sebaliknya, proses ini lebih banyak menghasilkan produk padat berupa arang (*char*) serta produk gas.
2. Pirolisis cepat (fast pyrolysis*).* Pada metode *fast pyrolysis*, biomassa mengalami pemanasan dalam waktu yang sangat singkat, yaitu sekitar 0,5–2 detik, dengan temperatur berkisar antara 400–600°C. Setelah proses berlangsung, produk hasil pirolisis segera didinginkan atau dikondensasikan. Pendinginan yang cepat diperlukan untuk mempertahankan senyawa dengan berat molekul relatif tinggi agar tidak terus terurai menjadi gas dengan berat molekul yang lebih rendah. Melalui kondisi tersebut, produksi minyak hasil pirolisis dapat mencapai sekitar 75% lebih tinggi dibandingkan metode pirolisis konvensional.
3. Pirolisis kilat *(*flash pyrolysis*).* *Flash pyrolysis* merupakan metode yang berlangsung dalam waktu sangat singkat, hanya beberapa detik, dengan laju

pemanasan yang sangat tinggi. Pada pengolahan biomassa, penerapan metode ini memerlukan proses pemanasan yang cepat serta penggunaan bahan baku dengan ukuran partikel yang relatif kecil, yaitu sekitar 105–250 μm. Ukuran partikel tersebut diperlukan agar proses perpindah panas dan penguraian biomassa dapat berlangsung secara lebih efektif.

4. Pirolisis katalitik biomassa. Pirolisis katalitik merupakan metode yang memanfaatkan katalis selama proses penguraian biomassa dengan tujuan memperoleh produk minyak dengan karakteristik dan kualitas tertentu. Penggunaan katalis dapat membantu mengarahkan pembentukan produk hasil pirolisis sesuai dengan karakteristik yang diharapkan. Metode ini juga dapat dilakukan tanpa melalui tahapan prapengolahan sampel yang kompleks dan berbiaya tinggi, khususnya tahapan yang berkaitan dengan proses kondensasi dan penguapan kembali.

D. Jagung



Gambar 2. 1 Tanaman Jagung *(Zea Mays L.)*

Jagung merupakan salah satu komoditas pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan alternatif oleh masyarakat. Dalam proses produksinya, tanaman jagung menghasilkan residu pertanian berupa tongkol yang jumlahnya cukup melimpah (Nurjannah, 2021). Pemanfaatan limbah tersebut masih relatif terbatas karena sebagian tongkol jagung umumnya hanya dibuang atau dibakar secara langsung. Praktik tersebut berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan, salah satunya berupa pencemaran udara akibat emisi dari proses pembakaran.

Di sisi lain, tongkol jagung memiliki karakteristik yang mendukung pemanfaatannya sebagai bahan baku produk berbasis karbon. Kandungan selulosa

yang mencapai sekitar 41% dan hemiselulosa sebesar 36% menunjukkan bahwa tongkol jagung memiliki komponen karbon yang cukup tinggi sehingga berpotensi diolah menjadi arang aktif. Selain kandungan karbon tersebut, tongkol jagung juga memiliki kadar abu yang relatif rendah, yaitu sekitar 0,91%. Karakteristik tersebut semakin memperkuat potensi tongkol jagung untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pengembangan material berbasis karbon (Nuraprilia et al., 2024).

Limbah yang dihasilkan setelah kegiatan panen jagung masih dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti bahan pembuatan pupuk maupun sumber bahan bakar bagi kebutuhan rumah tangga. Namun, pembakaran sering kali dipilih sebagai cara yang praktis untuk mengurangi volume limbah karena prosesnya relatif mudah dilakukan. Di sisi lain, pembakaran secara langsung justru dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama akibat terbentuknya asap dan polutan yang dapat menurunkan kualitas udara. Tingginya luas lahan pertanian yang digunakan untuk budidaya jagung turut menyebabkan jumlah limbah tongkol jagung yang dihasilkan menjadi cukup besar. Apabila tidak dikelola dengan baik, keberadaan limbah tersebut dapat menjadi permasalahan lingkungan sekaligus menyebabkan potensi sumber daya terbuang. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan untuk meningkatkan pemanfaatannya adalah mengolah tongkol jagung menjadi briket. Pengolahan tersebut dapat mengurangi limbah yang tidak termanfaatkan sekaligus menghasilkan produk yang berpotensi digunakan sebagai sumber bahan bakar alternatif (Imam et al., 2024).

Tabel 2.3 Klasifikasi Jagung

Kingdom	**Plantae (Tumbuhan**
Divisi	*Spermatophyta*
Subdivisi	*Angiospermae*
Kelas	*Monocotyledonae*
Ordo	*Poales*
Famili	*Poaceae atau Graminae*
Genus	*Zea*
Spesies	*Zea mays L*



Gambar 2. 2 Tongkol Jagung *(Zea Mays L.)*

Tongkol jagung atau bonggol merupakan bagian yang berada di bagian tengah buah jagung dan berfungsi sebagai tempat melekatnya biji-biji jagung. Bagian tersebut termasuk salah satu residu yang dihasilkan dari kegiatan pertanian dan umumnya tersedia dalam jumlah yang cukup besar. Dalam praktiknya, tongkol jagung masih sering dibiarkan atau dibuang tanpa pengolahan lebih lanjut sehingga potensi pemanfaatannya belum optimal. Padahal, limbah tersebut dapat diolah menjadi produk yang memiliki nilai guna dan nilai ekonomi lebih tinggi, salah satunya melalui pembuatan briket arang (Ekawati, 2023).

Briket yang dihasilkan dari tongkol jagung memiliki sejumlah karakteristik yang mendukung pemanfaatannya sebagai bahan bakar maupun material bernilai guna. Kandungan karbon yang relatif lebih tinggi dibandingkan kadar abu menjadikan arang tongkol jagung berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben. Selain itu, bahan bakunya mudah diperoleh dalam jumlah melimpah, proses pembuatannya relatif sederhana, biaya produksinya terjangkau, serta penggunaannya praktis, aman, dan memiliki daya tahan yang cukup baik (Manocha dalam Nuraprilia et al., 2024).

Pemanfaatan tongkol jagung sebagai biobriket tidak hanya berorientasi pada penyediaan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Pengolahannya juga dapat menjadi salah satu pendekatan dalam mengurangi timbulan limbah pertanian sekaligus memberikan nilai tambah terhadap sumber daya yang sebelumnya kurang dimanfaatkan. Dalam jangka panjang, pengembangan biobriket

berbahan tongkol jagung berpotensi memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat serta berkontribusi dalam menghadapi permasalahan energi dan lingkungan secara berkelanjutan (Purbowo et al., 2024).

E. Kelapa



Gambar 2. 3 Pohon Kelapa *(Cocos Nucifera L.)*

Kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan salah satu tanaman dari famili Arecaceae yang termasuk dalam genus *Cocos*. Tanaman ini dikenal memiliki tingkat pemanfaatan yang sangat luas karena hampir seluruh bagian tubuhnya dapat diolah menjadi berbagai produk yang memiliki nilai guna. Keberagaman manfaat tersebut menjadikan kelapa sebagai salah satu komoditas yang penting, terutama bagi masyarakat yang tinggal di wilayah pesisir dan menggantungkan sebagian aktivitas ekonominya pada pemanfaatan hasil kelapa (Ridhuan et al., 2019).

Tanaman kelapa tidak hanya menghasilkan buah sebagai produk utama, tetapi juga menghasilkan berbagai bagian lain yang dapat dimanfaatkan, seperti daun, akar, batang, dan tempurung. Bagian-bagian tersebut dalam praktiknya masih sering diperlakukan sebagai limbah dan dibiarkan menumpuk atau dibuang tanpa pengolahan lebih lanjut, sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Kondisi tersebut menjadi perhatian karena Indonesia merupakan salah satu negara dengan produksi kelapa yang sangat besar. Berdasarkan data *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), produksi kelapa di Indonesia mencapai sekitar 17 juta ton per tahun. Namun, tingginya produksi tersebut belum sepenuhnya diikuti dengan pengelolaan limbah kelapa yang optimal.

Salah satu limbah yang masih memiliki potensi pemanfaatan adalah tempurung kelapa. Apabila hanya dibuang atau ditumpuk, keberadaannya dapat meningkatkan jumlah limbah yang tidak termanfaatkan. Padahal, melalui proses pengolahan yang tepat, tempurung kelapa dapat dikonversi menjadi produk yang memiliki nilai guna dan nilai ekonomi lebih tinggi. Salah satu bentuk pemanfaatannya adalah dengan mengolah tempurung kelapa menjadi briket yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Dengan demikian, pemanfaatan tempurung kelapa sebagai briket dapat menjadi salah satu upaya untuk mengurangi limbah sekaligus menghasilkan sumber energi yang lebih bernilai.



Gambar 2. 4 Tempurung kelapa *(Cocos Nucifera L.)*

Tempurung kelapa merupakan salah satu residu dari pengolahan buah kelapa yang masih belum dimanfaatkan secara optimal di Indonesia. Pemanfaatannya selama ini umumnya terbatas pada penggunaan langsung sebagai bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat peluang untuk meningkatkan nilai guna dari limbah tempurung kelapa melalui proses pengolahan lebih lanjut, salah satunya dengan mengonversinya menjadi briket arang.

Briket berbahan dasar tempurung kelapa memiliki potensi sebagai salah satu alternatif sumber bahan bakar dalam menghadapi kebutuhan energi yang terus meningkat. Dibandingkan dengan arang tempurung kelapa yang digunakan secara konvensional, briket memiliki beberapa keunggulan, antara lain mampu mempertahankan pembakaran dalam waktu yang lebih lama serta menghasilkan panas yang lebih tinggi dan relatif stabil. Selain itu, bentuk briket yang lebih padat

membuatnya lebih praktis digunakan dan tidak mudah meninggalkan serbuk hitam pada tangan. Dari sisi pemanfaatan, briket tempurung kelapa tidak hanya dapat digunakan untuk kebutuhan energi rumah tangga, tetapi juga berpotensi dipasarkan kepada berbagai sektor usaha, seperti tempat makan, penginapan, hingga industri. Dengan demikian, pengolahan tempurung kelapa menjadi briket dapat meningkatkan nilai tambah limbah sekaligus memperluas pemanfaatannya sebagai bahan bakar alternatif.

Pengolahan limbah tempurung kelapa menjadi briket merupakan salah satu bentuk inovasi yang tidak hanya memberikan manfaat bagi lingkungan, tetapi juga memiliki potensi dalam meningkatkan nilai ekonomi masyarakat. Pemanfaatan teknologi memungkinkan limbah yang sebelumnya kurang bernilai untuk dikembangkan menjadi produk yang memiliki nilai guna dan nilai jual. Pengembangan kegiatan tersebut juga dapat menciptakan peluang usaha serta memperluas kesempatan kerja bagi masyarakat, sehingga pada akhirnya dapat mendukung peningkatan aktivitas dan pertumbuhan ekonomi.

Sebagai salah satu jenis limbah pertanian, tempurung kelapa memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi komoditas yang bernilai komersial apabila dikelola secara tepat. Penerapan pendekatan yang kreatif dan inovatif dapat mengubah limbah tersebut menjadi sumber daya yang lebih produktif dan memberikan manfaat ekonomi. Dengan demikian, pemanfaatan tempurung kelapa sebagai bahan baku briket tidak hanya menjadi solusi dalam mengurangi limbah, tetapi juga dapat menjadi peluang pengembangan usaha yang berkelanjutan bagi masyarakat (Aisyah et al., 2024)

Tempurung kelapa memiliki karakteristik yang mendukung pemanfaatannya sebagai bahan baku dalam menghasilkan arang maupun material berbasis karbon. Melalui proses pengolahan tertentu, arang yang dihasilkan dapat dikembangkan menjadi karbon aktif. Karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa memiliki kemampuan adsorpsi yang baik karena struktur porinya berukuran relatif kecil sehingga menghasilkan luas permukaan yang besar. Karakteristik tersebut menjadikan karbon tempurung kelapa berpotensi dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan sekaligus menjadi salah satu material yang bersumber dari bahan baku terbarukan.

Meskipun memiliki potensi yang cukup besar, pemanfaatan limbah tempurung kelapa di Indonesia masih belum dilakukan secara optimal. Dalam penggunaannya sehari-hari, tempurung kelapa umumnya hanya dimanfaatkan secara sederhana sebagai bahan bakar atau bahkan dibuang setelah proses pengolahan kelapa. Padahal, karakteristik berupa luas permukaan yang tinggi dan kemampuan menyerap yang baik menunjukkan bahwa tempurung kelapa masih dapat dikembangkan menjadi produk yang memiliki nilai guna lebih tinggi. Pengolahan lebih lanjut terhadap limbah tersebut dapat menjadi salah satu alternatif pemanfaatan sumber daya yang ramah lingkungan sekaligus mengoptimalkan bahan baku yang ketersediaannya dapat diperbarui (Putri et al., 2023).

F. Pohon Kopi



Gambar 2. 5 Pohon Kopi *(Coffea sp)*

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan Indonesia yang memiliki peluang pasar cukup luas hingga ke tingkat internasional. Produk kopi Indonesia telah dipasarkan ke berbagai negara, dengan beberapa tujuan ekspor utama seperti Malaysia, Amerika Serikat, Jerman, dan Jepang. Secara morfologis, tanaman kopi termasuk jenis tanaman perdu dengan ketinggian yang umumnya berkisar antara 2–4 meter. Najiyati dan Danarti menjelaskan bahwa terdapat beberapa kelompok kopi yang dikenal dalam perdagangan dunia. Namun, jenis yang paling banyak dibudidayakan terdiri atas kopi Arabika, Robusta, dan Liberika.

1. Kopi Robusta : Kopi Robusta merupakan salah satu varietas kopi yang berasal dari wilayah Afrika, khususnya kawasan pantai barat hingga Uganda. Dibandingkan dengan Arabika dan Liberika, varietas ini memiliki keunggulan terutama dari aspek produktivitas. Tanaman

Robusta mampu menghasilkan produksi yang relatif lebih tinggi sehingga banyak dikembangkan sebagai salah satu komoditas kopi.

2. Kopi Arabika : Arabika termasuk jenis kopi yang banyak dibudidayakan, baik di berbagai negara maupun di Indonesia. Jenis kopi ini umumnya sesuai ditanam pada wilayah dataran tinggi dengan kondisi iklim yang cenderung kering. Secara umum, Arabika dapat tumbuh pada ketinggian sekitar 1.350–1.850 meter di atas permukaan laut. Sementara itu, kondisi geografis Indonesia memungkinkan tanaman Arabika berkembang dan menghasilkan produksi pada ketinggian sekitar 1.000–1.750 meter di atas permukaan laut.
3. Kopi Liberika : Kopi Liberika berasal dari wilayah dataran rendah Monrovia, yang berada di kawasan Liberia, Afrika Barat. Menurut Edy Panggabean, tanaman kopi ini memiliki kemampuan beradaptasi pada lingkungan dengan tingkat kelembapan yang relatif tinggi. Karakteristik tersebut membuat Liberika dapat dibudidayakan pada kondisi lahan yang kurang sesuai bagi beberapa jenis kopi lainnya.

Tabel 2.4 Klasifikasi Kopi

Kingdom	**Plantae (Tumbuhan)**
Klad	*Tracheophyta*
Klad	*Angiospermae*
Klad	*Eudikotil*
Klad	*Asteridea*
Ordo	*Gentianales*
Famili	*Rebiaceae*
Tribus	*Coffeeae*

Kayu kopi memiliki sifat yang keras dan padat, sehingga memiliki volume yang berat. Cabang-cabang yang dimiliki kayu kopi berbentuk dinamis tidak beraturan. Tanaman kopi selain menghasilkan produk utama berupa biji kopi juga menghasilkan limbah berupa batang, kulit buah kopi dan kayu kopi (afrah et al.,

2023).

Kayu yang berasal dari tanaman kopi masih tergolong sebagai material yang pemanfaatannya belum optimal. Padahal, secara karakteristik fisik maupun mekanik, kayu kopi memiliki kemiripan dengan beberapa jenis kayu yang telah banyak digunakan secara komersial. Tanaman kopi yang telah memasuki masa penurunan produktivitas biasanya memerlukan tindakan peremajaan atau pemangkasan agar produktivitas perkebunan tetap terjaga. Kegiatan tersebut menghasilkan limbah berupa bagian batang dan cabang kayu yang sebenarnya masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan lebih lanjut.

Salah satu kendala dalam pemanfaatan kayu kopi adalah ukuran batangnya yang relatif kecil, sehingga nilai ekonominya di pasar kayu masih rendah dan permintaannya pun terbatas. Kondisi tersebut menyebabkan kayu hasil pemangkasan lebih sering digunakan secara sederhana sebagai bahan bakar. Padahal, karakteristik yang dimiliki kayu kopi memungkinkan material tersebut dikembangkan menjadi berbagai produk bernilai guna, salah satunya sebagai bahan baku pembuatan briket arang. Menurut Christianto et al. (2019), kayu kopi berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar alternatif dalam bentuk bahan bakar padat seperti briket arang. Selain dapat membantu mengurangi pemanfaatan limbah secara langsung, briket berbahan kayu kopi berpeluang digunakan sebagai sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan, baik untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga maupun mendukung kegiatan industri skala kecil.

G. Kemiri



Gambar 2. 6 Pohon Kemiri *(Aleurites moluccana)*

Kemiri (Aleurites moluccanus) merupakan salah satu tanaman Perkebunan yang bijinya banyak dimanfaatkan sebagai bahan pangan dan bumbu masakan, sedangkan bagian cangkangnya umumnya dimanfaatkan secara opyimal dan sering dianggap sebagai limbah. Cangkang kemiri memiliki struktur yang keras serta kandungan karbon yang relative tinggi, sehingga berpotensi untuk diolah menjadi arang atau bahan baku pembuatan briket.

Tabel 2.5 Klasifikasi Kemiri

Kingdom	**Plantae (Tumbuhan)**
Klad	*Tracheophyta*
Klad	*Angiospermae*
Klad	*Eudikotil*
Klad	*Rosidae*
Ordo	*Malpiqhiales*
Famili	*Euphorbiaceae*
Genus	*Aleurites*
Spesies	*A moluccana*



Gambar 2. 7 Cangkang Kemiri (*Aleurites moluccana*)

Cangkang kemiri merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari pengolahan buah kemiri dan keberadaannya masih menjadi persoalan dalam pengelolaannya. Pada praktiknya, masyarakat sering kali membuang atau

membakar cangkang kemiri secara langsung. Cara tersebut memang dapat mengurangi volume limbah, tetapi pembakaran terbuka justru berpotensi menghasilkan pencemaran udara dan menyebabkan sumber daya yang masih memiliki potensi guna menjadi terbuang. Padahal, cangkang kemiri diketahui memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi sehingga dapat dikembangkan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif. Pemanfaatan tersebut telah diterapkan dalam berbagai proses, termasuk untuk membantu menjernihkan minyak goreng bekas dan meningkatkan kualitas air. Meskipun memiliki potensi yang cukup besar, pemanfaatan limbah cangkang kemiri hingga saat ini masih belum dilakukan secara maksimal oleh masyarakat (Botahala et al., 2021).

Selain dikembangkan sebagai karbon aktif, cangkang kemiri juga berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan briket. Pemanfaatannya sebagai bahan bakar padat telah menjadi objek berbagai penelitian dengan pengujian terhadap sejumlah karakteristik, di antaranya porositas, kadar air, kadar abu, dan nilai kalor briket (Kafama & Botahala, 2020). Berbagai hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa cangkang kemiri memiliki peluang untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif yang berasal dari biomassa dan dapat diperbarui. Kajian lebih lanjut mengenai karakteristik termal, efektivitas pembakaran, serta aspek ekonominya juga diperlukan untuk mendukung penerapan teknologi tersebut secara lebih luas. Pemanfaatan cangkang kemiri sebagai briket diharapkan dapat diterapkan di masyarakat, khususnya wilayah yang masih bergantung pada kayu bakar, sehingga dapat membantu mengurangi penggunaan kayu sekaligus menekan potensi penebangan pohon secara berlebihan.

H. Kelapa Sawit



Gambar 2.8 Pohon Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) termasuk salah satu komoditas perkebunan yang banyak dikembangkan di kawasan beriklim tropis, termasuk Indonesia. Tanaman ini dikenal sebagai penghasil minyak nabati yang memiliki pemanfaatan luas dalam berbagai sektor, mulai dari industri pangan hingga kebutuhan industri dan energi. Dalam proses pengolahannya, kelapa sawit tidak hanya menghasilkan minyak sawit mentah sebagai produk utama, tetapi juga menghasilkan berbagai residu biomassa dalam jumlah besar. Beberapa di antaranya berupa tandan kosong kelapa sawit, serat, dan cangkang sawit. Keberadaan limbah tersebut menunjukkan adanya potensi pemanfaatan lebih lanjut, terutama sebagai bahan baku sumber energi alternatif berbasis biomassa.

Tabel 2.6 Klasifikasi Kelapa Sawit

Kingdom	***Plantae (Tumbuhan)***
Klad	*Tracheophyta*
Klad	*Commelinidae*
Ordo	*Arecales*
Famili	*Arecaceae*
Subfamili	*Arecacoideae*
Tribus	*Cocoseae*
Genus	*Elaeis*



Gambar 2. 9 Cangkang Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Cangkang kelapa sawit merupakan bagian keras yang terdapat pada buah sawit dan menjadi salah satu residu yang dihasilkan dalam proses pengolahan kelapa sawit. Karakteristiknya yang memiliki struktur keras menyebabkan cangkang tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam proses ekstraksi minyak, sehingga umumnya hanya menjadi limbah dari kegiatan pengolahan di pabrik. Padahal, cangkang sawit memiliki kandungan yang mendukung pemanfaatannya sebagai bahan bakar. Untuk meningkatkan nilai guna sekaligus mempermudah penggunaannya, limbah tersebut dapat diolah lebih lanjut menjadi briket arang. Pengolahan dalam bentuk briket memungkinkan cangkang sawit dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif yang lebih praktis.

Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi juga menjadi salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, seperti minyak bumi. Biomassa memiliki sejumlah karakteristik yang mendukung penggunaannya sebagai sumber energi alternatif, salah satunya karena berasal dari sumber daya yang dapat diperbarui sehingga berpotensi dimanfaatkan secara berkelanjutan. Selain itu, biomassa relatif memiliki kandungan sulfur yang rendah sehingga penggunaannya dapat membantu menekan potensi pencemaran udara. Pemanfaatan biomassa juga dapat meningkatkan nilai guna sumber daya yang berasal dari sektor kehutanan dan pertanian (Vrans et al., 2023).

Cangkang kelapa sawit memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai salah satu sumber bahan bakar alternatif berbasis biomassa. Potensi tersebut didukung oleh beberapa karakteristik yang dimilikinya, sehingga cangkang sawit dinilai cukup sesuai untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Adapun beberapa keunggulan cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar alternatif antara lain sebagai berikut:

a. Nilai kalor tinggi
b. Kandungan air rendah
c. Abu pembakaran sedikit
d. Tidak menimbulkan asap berlebihan
e. Ramah lingkungan karena berasal dari limbah biomassa terbarukan

Di samping memiliki nilai guna sebagai sumber energi alternatif, pengolahan cangkang sawit menjadi bahan bakar padat juga dapat memberikan manfaat bagi

lingkungan. Pemanfaatannya berpotensi menekan timbulan limbah sekaligus mengurangi penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi konvensional.

I. Ringkasan Penelitian Terdahulu

Tabel 2.7 Tabel Penelitian Terdahulu

No.	Sumber	Jenis	Kadar Air	Kadar Abu	Nilai Kalor
1	(Kurniawan et al., n.d. 2022)	Briket sekam padi dan cangkang sawit menggunakan perekat kanji	7,72%	17,18 %	5471 kal/g
2	(Alfi et al., 2023)	Briket cangkang kemiri dan sekam padi	5,12 %	0,33 %	5019 kal/g
3	(Syahrul et al., 2023).	Briket cangkang kemiri dan tongkol jagung	3,97 %	6,6355 %	6061 kal/g
4	(Nurjannah, 2021)	Bioarang dari campuran tongkol jagung, sekam padi, dan tepung tapiokan dengan penambahan variasi pencelupan minyak jelanta	3,85 %	8,85 %	7077,95 kal/g
5	(Nurhamida et all., 2023).	Briket dari komposit cangkang sawit dan tempurung kelapa dengan variasi tepung tapioka	6,5 %	7 %	5448,1737 kal/g

Penelitian oleh Kurniawan et al. (2022) menunjukkan bahwa campuran sekam padi dan cangkang sawit dengan perekat tepung kanji menghasilkan nilai kalor 5471 cal/g dan kadar air 7,72% yang memenuhi standar SNI, namun kadar abu 17,18% masih terlalu tinggi sehingga kualitas briket belum optimal.

Penelitian Alfi et al. (2023) pada briket berbahan cangkang kemiri dan sekam padi menghasilkan kadar air 5,12%, densitas 0,61 g/cm³, nilai kalor 5019 cal/g, dan laju pembakaran 0,33 g/menit. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa briket layak sebagai bahan bakar alternatif meskipun nilai kalor tidak terlalu tinggi.

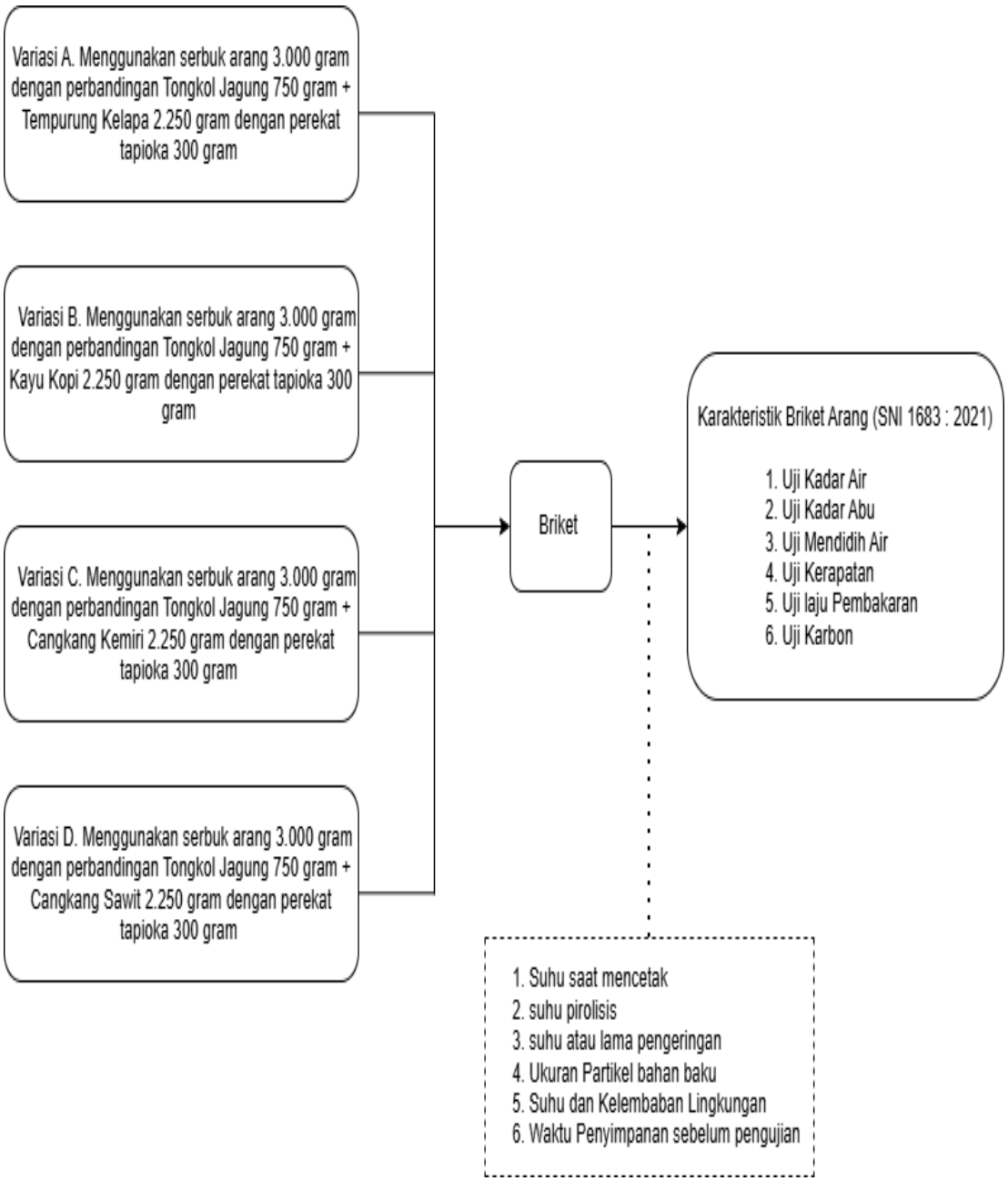
Penelitian Syahrul et al. (2023) dengan bahan cangkang kemiri dan tongkol jagung menghasilkan nilai kalor 6061 kkal/kg, kadar air 3,97%, kadar abu 6,64%, serta densitas 0,68 g/cm³. Walaupun beberapa parameter memenuhi standar,

keseluruhan mutu briket masih belum memenuhi SNI 1683:2021 terutama dari aspek zat terbang dan karbon terikat.

Penelitian Nurjannah (2021) menunjukkan bahwa kombinasi tongkol jagung, sekam padi, tepung tapioka, dan perlakuan pencelupan minyak jelantah mampu menghasilkan nilai kalor sangat tinggi yaitu 7077,95 kal/g, kadar air rendah 3,85%, kadar abu 8,85%, serta karbon terikat 86,396%. Hal ini menandakan peningkatan kualitas briket melalui perlakuan tambahan.

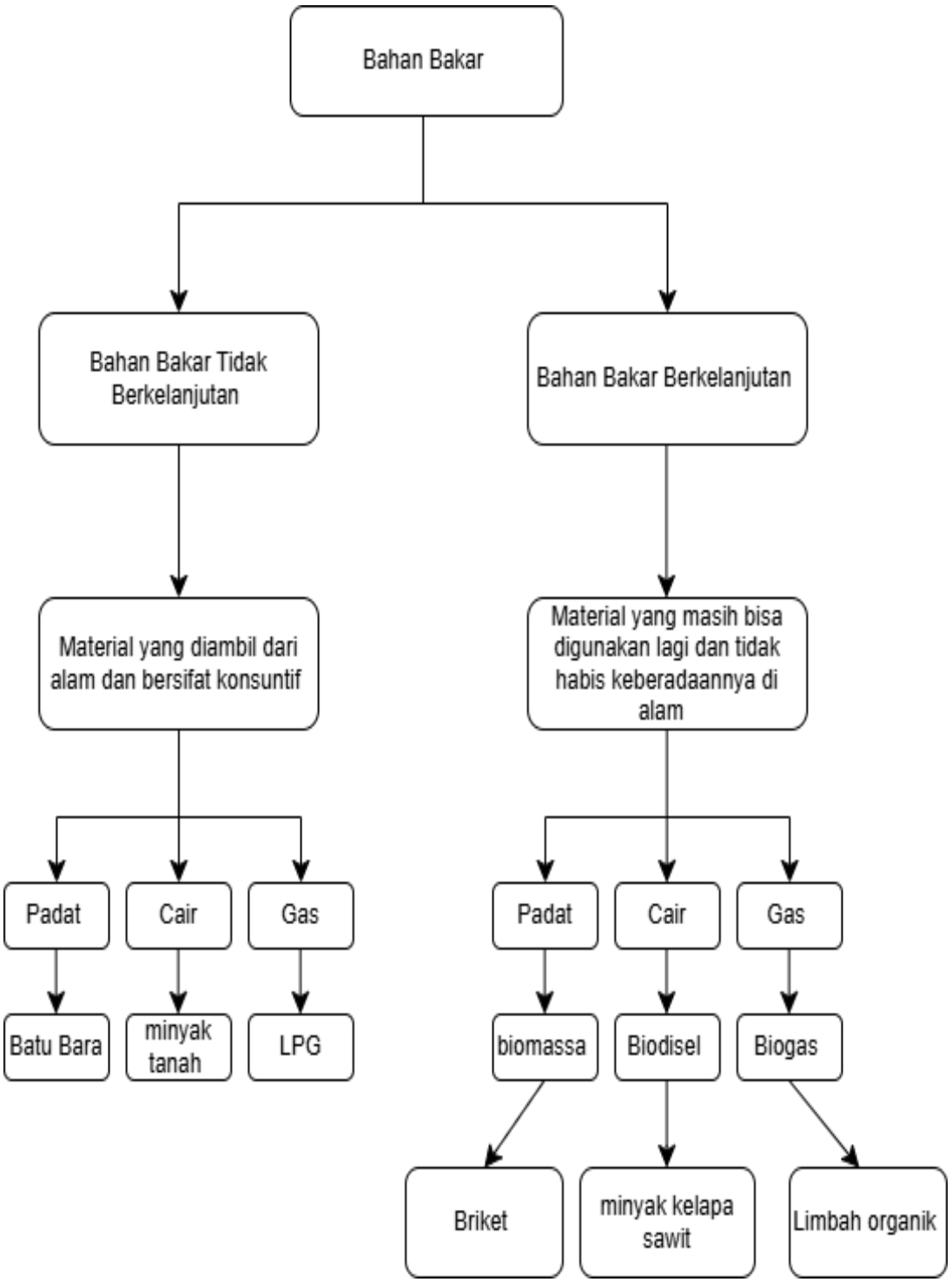
Penelitian Nurhamida et al. (2023) pada campuran cangkang sawit dan tempurung kelapa menunjukkan kadar air 6,5%, kadar abu 7%, zat terbang 21%, dan nilai kalor 5448 kal/g. Walaupun nilai kalor cukup baik, kadar zat terbang masih tinggi sehingga perlu perbaikan proses.

J. Kerangka Konsep



Gambar 2. 10 Kerangka Konsep

K. Kerangka Teori



Gambar 2. 11 Kerangka Teori

Sumber : (Subagyo, et al., 2022)

L. Definisi Operasional

Tabel 2.8 Definisi Operasional

No.	Variabel	Definisi	Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
1	Tongkol Jagung	Sisa bagian dari buah jagung yang sudah tidak digunakan lagi	Timbangan	Gram	Ratio
2	Kayu Kopi	Sisa kayu yang sudah di tebang dan tidak digunakan lagi	Timbangan	Gram	Ratio
3	Cangkang Sawit	Bagian sawit yang sudah diambil isinya dan tidak digunakan lagi	Timbangan	Gram	Ratio
4	Cangkang Kemiri	Bagian dari buah kemiri yang sudah diambil isinya dan tidak digunakan lagi	Timbangan	Gram	Ratio
5	Tempurung Kelapa	Bagian dari buah kelapa yang sudah diambil isinya dan tidak digunakan lagi	Timbangan	Gram	Ratio
6	Briket	Padatan Biomassa yang dapat dibakar untuk menghasilkan dan mempertahankan nyalah api, berfungsi sebagai bahan bakar altermatif	Timbangan	Gram	Ratio

No.	Variabel	Definisi	Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
7	Varian A	Komponen campuran briket dari tongkol jagung 750 gram dan tempurung kelapa 2.250 gram	Timbangan	Gram	Ratio
8	Varian B	Komponen campuran briket dari tongkol jagung 750 gram dan Kayu Kopi 2.250 gram	Timbangan	Gram	Ratio
9	Varian C	Komponen campuran briket dari tongkol jagung 750 gram dan Cangkang kemiri 2.250 gram	Timbangan	Gram	Ratio
10	Varian D	Komponen campuran briket dari tongkol jagung 750 gram dan Cangkang Sawit 2.250 gram	Timbangan	Gram	Ratio
11	Uji kadar air	Untuk mengetahui jumlah air yang terkandung pada briket	Oven, desikator, dan timbangan analitik	%	Ratio
12	Uji kadar abu	Untuk mengetahui efisiensi pembakaran menggunakan briket arang	Oven, desikator dan timbangan analitik	%	Ratio

No.	Variabel	Definisi	Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
13	Laju pembakaran	Mengukur ketahanan dari proses pembakaran briket	Rumus : gram/detik	g/menit	Ratio
14	Massa kerapatan	Mengukur massa dari kerapatan arang briket	Rumus : Massa/volume	g/cm^3	Ratio
15	Uji mendidih air	Mengukur seberapa lamanya briket dapat mendidihkan air	stopwatch	menit	Ratio
16	Uji Kadar Karbon	Mengukur nilai atau besarnya kadar karbon yang terkandung di dalam arang aktif.	Mufle Furnance	%	Ratio

M. Hipotesis

Ho

a. Tidak ada perbedaan kadar air, kadar abu, laju pembakaran, massa kerapatan, dan mendidihkan air pada briket arang sebanyak 3.000 gram dengan perbandingan tongkol jagung 750 gram dan tempurung kelapa 2.250 dengan menggunakan perekat tapioka 300 gram.
b. Tidak ada perbedaan kadar air, kadar abu, laju pembakaran, massa kerapatan, dan mendidihkan air pada briket arang sebanyak 3.000 gram dengan perbandingan tongkol jagung 750 gram dan kayu kopi 2.250 dengan menggunakan perekat tapioka 300 gram
c. Tidak ada perbedaan kadar air, kadar abu, laju pembakaran, massa kerapatan, dan mendidihkan air pada briket arang sebanyak 3.000 gram dengan perbandingan tongkol jagung 750 gram dan cangkang kemiri 2.250 dengan menggunakan perekat tapioka 300 gram

d. Tidak ada perbedaan kadar air, kadar abu, laju pembakaran, massa kerapatan, dan mendidihkan air pada briket arang sebanyak 3.000 gram dengan perbandingan tongkol jagung 750 gram dan cangkang sawit 2.250 dengan menggunakan perekat tapioka 300 gram

Ha

a. Ada perbedaan kadar air, kadar abu, laju pembakaran, massa kerapatan, dan mendidihkan air pada briket arang sebanyak 3.000 gram dengan perbandingan tongkol jagung 750 gram dan tempurung kelapa 2.250 dengan menggunakan perekat tapioka 300 gram.
b. Ada perbedaan kadar air, kadar abu, laju pembakaran, massa kerapatan, dan mendidihkan air pada briket arang sebanyak 3.000 gram dengan perbandingan tongkol jagung 750 gram dan kayu kopi 2.250 dengan menggunakan perekat tapioka 300 gram.
c. Ada perbedaan kadar air, kadar abu, laju pembakaran, massa kerapatan, dan mendidihkan air pada briket arang sebanyak 3.000 gram dengan perbandingan tongkol jagung 750 gram dan cangkang kemiri 2.250 dengan menggunakan perekat tapioka 300 gram.
d. Ada perbedaan kadar air, kadar abu, laju pembakaran, massa kerapatan, dan mendidihkan air pada briket arang sebanyak 3.000 gram dengan perbandingan tongkol jagung 750 gram dan cangkang sawit 2.250 dengan menggunakan perekat tapioka 300 gram.