

ANALISA PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA TERHADAP PEMBAKARAN BAHAN ARANG DARI LIMBAH POTONGAN KAYU DAN BATOK KELAPA MENJADI ABU

Imam Ja'far, Junaidi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan komputer,
Universitas Harapan Medan

imamjafar960@gmail.com; junaidi@unhar.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh laju aliran udara terhadap karakteristik pembakaran arang briket yang dibuat dari limbah potongan kayu dan batok kelapa. Pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan bakar alternatif diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil serta mendukung energi ramah lingkungan. Faktor aliran udara sangat berpengaruh pada proses pembakaran karena berhubungan langsung dengan ketersediaan oksigen, suhu api, waktu nyala, dan efisiensi pembakaran. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan memvariasikan laju aliran udara menggunakan blower. Briket dibuat dari campuran potongan kayu dan batok kelapa dengan perekat tepung tapioka. Variasi laju aliran udara yang digunakan adalah 2 m/s, 4 m/s, dan 6 m/s. Parameter yang diamati meliputi suhu pembakaran, lama waktu nyala, massa residu abu, serta efisiensi pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan laju aliran udara berpengaruh signifikan terhadap karakteristik pembakaran. Laju aliran udara rendah menghasilkan waktu nyala lebih lama namun dengan suhu relatif rendah. Sebaliknya, laju aliran udara tinggi menghasilkan suhu pembakaran lebih besar tetapi waktu nyala lebih singkat. Variasi laju aliran udara 4 m/s diperoleh sebagai kondisi optimal, karena mampu menghasilkan suhu tinggi yang stabil, waktu nyala cukup lama, serta efisiensi pembakaran terbaik dengan residu abu yang relatif sedikit. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa laju aliran udara berperan penting dalam menentukan kualitas pembakaran briket berbahan limbah potongan kayu dan batok kelapa. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pemanfaatan briket biomassa sebagai energi alternatif terbarukan.

Kata-Kata Kunci: Briket Arang, Laju Aliran Udara, Pembakaran, Limbah Kayu, Batok Kelapa

I. Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan sektor industri. Hingga saat ini, sebagian besar kebutuhan energi masih bergantung pada sumber energi fosil seperti minyak bumi, gas, dan batu bara. Ketergantungan ini menimbulkan permasalahan serius, antara lain keterbatasan ketersediaan cadangan, kenaikan harga, serta dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan dan pemanfaatan energi alternatif yang terbarukan, ramah lingkungan, dan dapat diperoleh dari sumber daya lokal.

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi besar untuk dikembangkan di Indonesia. Limbah pertanian, perkebunan, maupun industri pengolahan kayu dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat melalui proses pembriketan. Briket biomassa memiliki keunggulan antara lain bentuknya seragam, densitas energi lebih tinggi dibanding bahan aslinya, mudah dalam penyimpanan, transportasi, serta lebih efisien dalam proses pembakaran.

Dua jenis limbah biomassa yang melimpah di Indonesia adalah potongan kayu dari industri pengolahan kayu dan batok kelapa dari pengolahan kelapa. Limbah potongan kayu seringkali hanya menjadi sampah atau

dibakar terbuka sehingga mencemari lingkungan, sedangkan batok kelapa yang sebenarnya memiliki nilai kalor tinggi banyak yang belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, jika diolah menjadi arang briket, kedua limbah ini dapat menjadi sumber energi alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan.

Dalam proses pembakaran briket, suplai udara menjadi faktor penting yang menentukan kualitas pembakaran. Laju aliran massa udara yang terlalu kecil akan menyebabkan kekurangan oksigen sehingga pembakaran tidak sempurna, menghasilkan asap pekat dan residu abu yang tinggi. Sebaliknya, jika laju udara terlalu besar, panas pembakaran justru terbawa aliran udara keluar sehingga efisiensi termal menurun. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengetahui pengaruh laju aliran massa udara terhadap karakteristik pembakaran briket berbahan dasar limbah potongan kayu dan batok kelapa.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini penting dilakukan untuk menganalisis bagaimana variasi laju aliran massa udara memengaruhi suhu puncak pembakaran, waktu nyala, efisiensi termal, serta massa residu abu. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi mengenai kondisi optimum laju aliran udara pada pembakaran briket, sehingga briket biomassa dari limbah kayu dan batok kelapa dapat dimanfaatkan secara lebih efektif sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Energi Alternatif dan Biomassa

2.1.1 Energi Alternatif

Energi alternatif merupakan sumber energi yang digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Energi alternatif dipilih karena lebih ramah lingkungan, jumlahnya melimpah, serta dapat diperbarui (*renewable*). Beberapa contoh energi alternatif antara lain tenaga surya, angin, air, panas bumi, serta biomassa. penggunaan energi alternatif sangat penting untuk mengurangi dampak pemanasan global dan menjaga keberlanjutan energi di masa depan.

Kelebihan energi alternatif adalah ketersediaannya yang melimpah, dapat diperbarui, serta menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil. Namun, beberapa energi alternatif membutuhkan teknologi yang relatif mahal, sehingga pemanfaatannya masih terbatas di beberapa daerah. energi alternatif merupakan segala bentuk energi selain energi fosil yang dapat digunakan secara berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi manusia. Energi alternatif dipandang sebagai solusi untuk menghadapi krisis energi fosil yang cadangannya semakin menipis.

Ciri-ciri Energi Alternatif

1. Bersifat terbarukan dan tidak akan habis bila dimanfaatkan secara berkelanjutan.
2. Ramah lingkungan karena emisi gas buang lebih sedikit dibandingkan energi fosil.
3. Ketersediaannya melimpah di alam dan dapat diperoleh dengan mudah.
4. Dapat dikembangkan dengan teknologi sederhana maupun modern.

Manfaat Energi Alternatif

1. Mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.
2. Menekan dampak pemanasan global akibat emisi CO₂ dari bahan bakar fosil.
3. Mengurangi pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan limbah biomassa.
4. Memberikan solusi energi murah dan terjangkau bagi masyarakat.

Dengan demikian, energi alternatif dapat diartikan sebagai energi pengganti bahan bakar fosil yang ramah lingkungan, dapat diperbarui, dan mendukung keberlanjutan energi di masadepan. Dalam konteks penelitian ini, biomassa dalam bentuk arang briket dari limbah potongan kayu dan batok kelapa menjadi salah satu bentuk energi alternatif yang potensial untuk dikembangkan di masyarakat.

2.1.2 Biomassa sebagai Energi Alternatif

Biomassa adalah semua bahan organik yang berasal dari makhluk hidup, baik tumbuhan maupun

hewan, yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Biomassa tersusun dari senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen, sehingga dapat menghasilkan energi panas melalui proses pembakaran atau konversi energi lainnya. Biomassa merupakan bahan organik dari tumbuhan atau hewan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Biomassa dapat diolah menjadi bahan bakar padat, cair, maupun gas melalui berbagai proses konversi.

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang dapat diubah menjadi bahan bakar padat, cair, maupun gas. Biomassa dianggap sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan karena dapat diperbarui secara terus-menerus dan membantu mengurangi limbah organik. Biomassa adalah sumber energi yang berasal dari limbah pertanian, limbah perkebunan, maupun limbah rumah tangga organik yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar.

Contoh bahan biomassa yang sering dimanfaatkan:

1. Limbah pertanian → jerami, sekam padi, tongkol jagung.
2. Limbah perkebunan → tempurung/batok kelapa, sabut kelapa, serbuk gergaji, potongan kayu.
3. Limbah rumah tangga organik → sampah dapur, dedaunan kering.
4. Kotoran hewan → diolah menjadi biogas.

Keunggulan biomassa sebagai energi alternatif adalah:

1. Terbarukan → dapat diperoleh terus-menerus.
2. Melimpah → mudah ditemukan di sekitar masyarakat.
3. Ramah lingkungan → mengurangi pencemaran limbah organik.
4. Multifungsi → dapat dimanfaatkan dalam bentuk padat (briket, pelet), cair (bioetanol, bio-oil), dan gas (biogas).

Dalam penelitian ini, biomassa yang digunakan adalah limbah potongan kayu dan batok kelapa, yang kemudian diolah menjadi briket arang. Kedua bahan ini dipilih karena mudah diperoleh, memiliki nilai kalor tinggi, dan kualitas arangnya baik untuk dijadikan bahan bakar alternatif.

2.1.3 Briket Arang sebagai Energi Biomassa

Briket arang merupakan salah satu bentuk pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi alternatif. Biomassa yang berasal dari limbah pertanian, perkebunan, maupun kehutanan seperti serbuk gergaji, potongan kayu, jerami, sekam padi, dan batok kelapa, dapat diolah menjadi arang, kemudian dipadatkan menjadi briket. Briket arang adalah bahan bakar padat hasil olahan biomassa yang memiliki bentuk seragam, nilai kalor tinggi, serta lebih praktis digunakan dibandingkan kayu bakar biasa. Biomassa dalam bentuk briket arang

memiliki potensi besar sebagai energi alternatif karena ketersediaannya melimpah, proses pembuatannya sederhana, dan ramah lingkungan. Briket arang adalah bahan bakar padat yang berasal dari arang biomassa yang dipadatkan, dengan atau tanpa tambahan bahan perekat. Dengan demikian, briket arang sebagai energi biomassa dapat diartikan sebagai hasil pengolahan limbah biomassa menjadi bahan bakar padat yang ekonomis, efisien, dan berkelanjutan, serta berfungsi sebagai pengganti bahan bakar fosil maupun kayu bakar konvensional.

2.2 Karakteristik Briket Arang sebagai Energi Biomassa

1. Berasal dari bahan biomassa → seperti potongan kayu, batok kelapa, serbuk gergaji, atau sekam padi.
2. Memiliki nilai kalor tinggi → mampu menghasilkan panas cukup besar untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri.
3. Kadar air rendah → memudahkan pembakaran dan menghasilkan api lebih stabil.
4. Asap lebih sedikit → ramah lingkungan dibandingkan kayu bakar biasa.
5. Dapat diperbarui → karena bahan baku briket berasal dari sumber daya alam yang melimpah. Dalam penelitian ini, limbah potongan kayu dan batok kelapa digunakan sebagai bahan baku pembuatan briket arang. Keduanya dipilih karena memiliki kandungan karbon tinggi dan nilai kalor yang baik, sehingga menghasilkan briket berkualitas tinggi yang efektif digunakan sebagai energi biomassa alternatif.

2.3 Pengertian Briket Arang

Briket arang adalah bahan bakar padat yang dibuat dari hasil karbonisasi (pembakaran tidak sempurna) biomassa, kemudian dihancurkan menjadi serbuk halus, dicampur dengan perekat, dan dipadatkan dalam bentuk tertentu seperti silinder, kubus, atau balok. Briket arang termasuk ke dalam energi alternatif berbasis biomassa karena berasal dari bahan organik yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan. Briket arang merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang dihasilkan dari limbah biomassa dengan nilai kalor tinggi, kadar abu rendah, serta lebih efisien dibandingkan dengan kayu bakar. Briket arang adalah bahan bakar padat yang dihasilkan dari arang biomassa yang dipadatkan, dengan atau tanpa tambahan bahan perekat.

Briket arang memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Bahan baku dari biomassa → seperti batok kelapa, potongan kayu, serbuk gergaji, sekam padi, dan limbah organik lainnya.
2. Nilai kalor tinggi → mampu menghasilkan panas besar dengan pembakaran yang stabil.
3. Kadar air rendah → sehingga mudah dinyalakan dan tidak cepat padam.

4. Kadar abu rendah → menghasilkan sisa pembakaran sedikit.
5. Ramah lingkungan → menghasilkan asap lebih sedikit dibandingkan kayu bakar.

Dalam penelitian ini, briket arang dibuat dari limbah potongan kayu dan batok kelapa. Kedua bahan ini dipilih karena ketersediaannya melimpah di lingkungan sekitar, mudah diolah, serta memiliki kandungan karbon tinggi sehingga menghasilkan briket dengan kualitas pembakaran yang baik. Dengan demikian, briket arang dapat diartikan sebagai bentuk energi biomassa padat hasil olahan limbah organik yang memiliki nilai kalor tinggi dan ramah lingkungan, serta berfungsi sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar fosil maupun kayu bakar tradisional.

2.2.1 Jenis-jenis Briket Arang

Briket arang sebagai salah satu bentuk energi biomassa memiliki berbagai jenis, yang dibedakan berdasarkan bahan baku, bentuk, maupun fungsinya. Setiap jenis briket arang memiliki karakteristik nilai kalor, kadar abu, dan daya tahan pembakaran yang berbeda-beda. Perbedaan bahan baku biomassa yang digunakan dalam pembuatan briket arang akan menghasilkan kualitas briket yang berbeda, sehingga dapat dibedakan menjadi beberapa jenis.



Gambar 1. Arang Briket

Briket Arang Kayu

Kayu merupakan salah satu biomassa padat yang paling banyak digunakan sebagai bahan bakar tradisional. Dalam proses pengolahan kayu, baik dari industri mebel, bangunan, maupun pertukangan, sering dihasilkan limbah berupa potongan kayu yang ukurannya kecil dan tidak termanfaatkan secara optimal. Limbah ini apabila dibuang begitu saja akan menumpuk, menimbulkan pencemaran lingkungan, dan berpotensi menjadi sumber emisi

karbon saat membusuk. potongan kayu memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang tinggi sehingga berpotensi sebagai sumber energi alternatif. Nilai kalor kayu bervariasi antara 3.500–4.500 kkal/kg, tergantung pada jenis kayu dan kadar airnya. Dengan pengolahan lebih lanjut menjadi arang atau briket, potongan kayu dapat menghasilkan energi panas yang cukup tinggi untuk digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga maupun industri kecil.

Pada Proses Pembakaran Potongan Kayu pada kondisi minim oksigen sehingga sebagian besar kandungan air dan zat volatil hilang, menyisakan karbon padat. Saat dibakar, arang kayu tidak menghasilkan api besar seperti kayu mentah, melainkan bara merah dengan panas yang lebih stabil. Laju aliran udara semakin besar aliran udara (oksigen), semakin cepat, arang terbakar, tapi waktu nyala lebih singkat. Ukuran potongan arang semakin kecil ukurannya, semakin cepat habis karena luas permukaan kontak dengan oksigen lebih besar.

□Kelebihan: mudah terbakar, menghasilkan panas yang stabil, dan relatif ramah lingkungan.

□Kekurangan: ketersediaannya bergantung pada penebangan kayu, sehingga perlu memperhatikan aspek keberlanjutan.

Briket Arang Batok Kelapa

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara penghasil kelapa terbesar di dunia. Dari setiap buah kelapa, sekitar 12–15% beratnya berupa batok (tempurung). Limbah batok kelapa ini sering terbuang percuma, padahal memiliki nilai energi yang tinggi. Batok kelapa mengandung lignin yang lebih besar dibandingkan kayu, sehingga menghasilkan arang dengan kualitas baik. Nilai kalor batok kelapa berkisar 5.000–7.000 kkal/kg, lebih tinggi dibandingkan kayu biasa. arang batok kelapa memiliki kadar karbon tetap yang tinggi, mudah menyala, dan menghasilkan asap lebih sedikit dibandingkan biomassa lain. Hal ini menjadikannya bahan bakar padat yang unggul untuk dibuat briket.

□Kelebihan: memiliki nilai kalor tinggi (lebih dari 6000 kkal/kg), keras, tidak mudah hancur, kadar abu rendah.

□Kekurangan: bahan baku terbatas pada daerah penghasil kelapa.

2.2.2 Manfaat Briket Arang

Briket arang sebagai salah satu bentuk energi alternatif berbasis biomassa memiliki banyak manfaat, baik dari segi ekonomi, lingkungan, maupun sosial. Penggunaan briket arang tidak hanya menjadi solusi pemenuhan kebutuhan energi, tetapi juga memberikan kontribusi dalam pengelolaan limbah organik. briket arang bermanfaat sebagai bahan bakar padat yang ramah lingkungan, memiliki nilai kalor tinggi, dan dapat digunakan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil.

1. Manfaat Ekonomi

- Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (minyak tanah, LPG, batu bara).
- Biaya produksi murah karena memanfaatkan limbah biomassa yang mudah diperoleh.
- Menjadi peluang usaha baru bagi masyarakat melalui produksi briket skala rumah tangga maupun industri kecil.

2. Manfaat Lingkungan

- Mengurangi limbah pertanian, perkebunan, maupun kehutanan seperti potongan kayu, serbuk gergaji, dan batok kelapa.
- Menghasilkan asap lebih sedikit dibandingkan kayu bakar sehingga lebih ramah lingkungan.
- Membantu mengurangi emisi karbon dan mendukung konsep energi berkelanjutan.

3. Manfaat Sosial

- Memberikan alternatif bahan bakar murah dan mudah diakses oleh masyarakat, terutama di daerah pedesaan.
- Membuka peluang lapangan kerja dalam industri kecil pembuatan briket.
- Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pemanfaatan energi terbarukan.

4. Manfaat Teknis (Pembakaran)

- Nilai kalor tinggi → mampu menghasilkan panas besar dan stabil.
- Kadar air rendah → mudah dinyalakan dan tidak cepat padam.
- Kadar abu rendah → tidak banyak menyisakan residu setelah pembakaran.
- Daya tahan lebih lama dibandingkan kayu bakar biasa.

2.2.3 Pengertian Karakteristik Briket Arang yang Baik

Karakteristik briket arang yang baik adalah seperangkat ciri, sifat, dan standar mutu yang harus dimiliki oleh briket agar dapat digunakan secara optimal sebagai bahan bakar alternatif. Karakteristik ini mencakup aspek fisik, kimia, dan teknis pembakaran yang menentukan kualitas, efisiensi, serta ramah lingkungan dari briket arang tersebut.

Briket arang dikatakan baik apabila memiliki nilai kalor tinggi, kadar air rendah, kadar abu rendah, bentuk seragam, serta pembakaran yang stabil. Dengan karakteristik tersebut, briket mampu menghasilkan panas yang cukup besar, mudah dinyalakan, tahan lama, dan tidak menimbulkan polusi berlebih.

1. Nilai Kalor Tinggi

- Briket arang yang baik memiliki nilai kalor minimal 5.000 – 7.000 kal/g.
- Nilai kalor tinggi menunjukkan energi panas yang dihasilkan lebih besar, sehingga

efisien untuk memasak atau keperluan industri.

2. Kadar Air Rendah
 - Kadar air ideal <8%.
 - Briket dengan kadar air rendah lebih mudah dinyalakan, tidak berasap berlebihan, dan tidak cepat padam.
3. Kadar Abu Rendah
 - Kadar abu maksimal 8%.
 - Abu yang terlalu banyak akan mengurangi efisiensi pembakaran dan menurunkan nilai kalor.
4. Daya Ikat Kuat (Kepadatan Tinggi)
 - Briket arang harus padat dan tidak mudah hancur saat dipegang atau dipindahkan.
 - Kepadatan yang tinggi akan menghasilkan pembakaran lebih lama dan stabil.
5. Mudah Dinyalakan dan Pembakaran Stabil
 - Briket yang baik cepat menyala, menghasilkan api stabil, serta tidak mudah mati.
 - Api yang dihasilkan berwarna merah menyala dengan sedikit asap.
6. Ramah Lingkungan
 - Menghasilkan asap sedikit, tidak berbau menyengat, dan tidak menimbulkan polusi berlebih.
 - Tidak mengandung zat berbahaya bagi kesehatan.
7. Bentuk dan Ukuran Seragam
 - Briket arang yang baik memiliki bentuk yang seragam (silinder, kubus, atau hexagonal) dengan ukuran konsisten.
 - Hal ini memudahkan distribusi panas saat pembakaran.

2.3 Bahan Baku Briket

2.3.1 Potongan Kayu sebagai Bahan Briket

Potongan kayu adalah salah satu limbah biomassa yang banyak dihasilkan dari kegiatan industri pengolahan kayu, seperti penggergajian, pembuatan mebel, dan konstruksi. Limbah potongan kayu ini biasanya tidak dimanfaatkan secara optimal, padahal memiliki potensi sebagai bahan baku energi alternatif dalam bentuk briket arang. Kayu memiliki kandungan selulosa dan lignin yang tinggi sehingga setelah melalui proses karbonisasi dapat menghasilkan arang dengan kandungan karbon tetap yang besar dan nilai kalor cukup tinggi. Oleh karena itu, potongan kayu merupakan bahan baku yang baik untuk pembuatan briket.

Keunggulan Potongan Kayu sebagai Bahan Briket

1. Ketersediaan Melimpah → mudah diperoleh dari industri kayu atau limbah rumah tangga.

2. Kandungan Karbon Tinggi → menghasilkan nilai kalor yang cukup tinggi sehingga efisien sebagai bahan bakar.
3. Ramah Lingkungan → membantu mengurangi limbah kayu yang biasanya dibuang atau dibakar langsung.
4. Biaya Murah → karena merupakan limbah, harganya relatif rendah sehingga menekan biaya produksi.

Proses Pemanfaatan Potongan Kayu

- Pengumpulan → limbah potongan kayu dikumpulkan dari sumbernya.
- Karbonisasi → potongan kayu dibakar pada suhu 300–500 °C dengan oksigen terbatas untuk menghasilkan arang.
- Penghalusan → arang kayu digiling menjadi serbuk halus.
- Pencampuran → serbuk arang dicampur perekat (seperti tepung tapioka) dan air.
- Pencetakan → adonan dipadatkan menjadi bentuk briket yang seragam.
- Pengeringan → briket dikeringkan hingga kadar air rendah, sehingga siap digunakan.

Dengan demikian, potongan kayu dapat diartikan sebagai bahan baku biomassa yang potensial untuk pembuatan briket arang karena memiliki nilai kalor cukup tinggi, ramah lingkungan, dan membantu pengelolaan limbah padat hasil industri kayu.



Gambar 2. Potongan Kayu

2.3.2 Batok Kelapa sebagai Bahan Briket

Batok kelapa (tempurung kelapa) adalah bagian keras yang melindungi daging buah kelapa. Limbah batok kelapa banyak dihasilkan dari industri pengolahan kelapa seperti pembuatan santan, kopra, gula kelapa, dan minyak kelapa. Batok kelapa memiliki kandungan lignoselulosa dan karbon tetap yang tinggi, sehingga sangat cocok digunakan sebagai bahan baku briket arang. Batok kelapa menghasilkan arang dengan kualitas sangat baik karena memiliki nilai kalor yang tinggi, kadar air rendah, serta kadar abu yang kecil. Hal ini menjadikan briket dari batok kelapa lebih tahan lama, menghasilkan panas stabil, dan tidak menimbulkan banyak asap.

Keunggulan Batok Kelapa sebagai Bahan Briket

1. Nilai Kalor Tinggi → arang batok kelapa memiliki nilai kalor sekitar 6.500 – 7.000 kal/g, sehingga menghasilkan panas yang kuat dan stabil.
2. Kadar Air Rendah → memudahkan proses penyalan dan membuat pembakaran lebih efisien.
3. Kadar Abu Rendah → sisa pembakaran sedikit sehingga briket lebih bersih dan praktis.
4. Ramah Lingkungan → membantu memanfaatkan limbah kelapa yang biasanya dibuang atau dibakar langsung.
5. Aroma Netral → tidak menimbulkan bau menyengat, sehingga sering digunakan untuk keperluan memasak atau industri makanan.

Proses Pemanfaatan Batok Kelapa

- Pengumpulan → batok kelapa dikumpulkan dari limbah rumah tangga atau industri kelapa.
- Karbonisasi → dibakar dengan oksigen terbatas (*pirolysis*) hingga menjadi arang.
- Penghalusan → arang batok kelapa digiling menjadi serbuk halus.
- Pencampuran dan Pencetakan → serbuk dicampur perekat dan dipadatkan menjadi briket.
- Pengeringan → briket dikeringkan hingga kadar air rendah agar siap digunakan.



Gambar 3. Batok Kelapa

2.3.3 Campuran Potongan Kayu dan Batok Kelapa sebagai Bahan Briket

Campuran potongan kayu dan batok kelapa adalah salah satu formulasi bahan baku untuk menghasilkan briket arang campuran (*composite briquette*) dengan kualitas lebih baik. Kedua bahan ini merupakan limbah biomassa yang melimpah, murah, dan ramah lingkungan. Dengan mencampurkan keduanya, dapat diperoleh briket arang yang memiliki nilai kalor stabil, kadar abu rendah, dan waktu pembakaran lebih lama. Kombinasi bahan biomassa dapat meningkatkan sifat fisik dan kimia briket, karena setiap bahan memiliki karakteristik berbeda. Batok kelapa memberikan nilai kalor tinggi dan kadar abu rendah,

sedangkan potongan kayu meningkatkan kerapatan dan ketersediaan bahan baku.

2.4 Proses Pembakaran Briket

Proses pembakaran briket merupakan rangkaian reaksi kimia dan fisika yang terjadi ketika briket arang bereaksi dengan oksigen pada suhu tinggi sehingga menghasilkan panas, gas buang, dan residu abu. Proses ini menjadi aspek penting dalam penelitian yang menganalisis pengaruh laju aliran udara terhadap kinerja pembakaran. Secara umum, pembakaran briket berlangsung melalui beberapa tahap, yaitu pengeringan, pirolisis, pembakaran nyala (*flaming combustion*), pembakaran menyala (*smouldering combustion*), dan pendinginan dengan terbentuknya abu.

Tahap pertama adalah pemanasan dan pengeringan, di mana kelembaban yang tersisa pada briket diuapkan. Proses ini bersifat endotermik, sehingga memerlukan energi panas awal hingga suhu mencapai titik di mana senyawa volatil mulai terlepas. Tahap kedua adalah pirolisis, yaitu proses dekomposisi termal senyawa organik pada rentang suhu 50–500 °C yang menghasilkan gas volatil, tar, dan residu arang padat. Gas volatil ini selanjutnya terbakar apabila terdapat pasokan oksigen yang cukup.

Tahap berikutnya adalah pembakaran nyala, yang ditandai dengan terbentuknya api dan pelepasan energi panas yang besar. Pada fase ini terjadi reaksi antara gas volatil dengan oksigen di udara, menghasilkan nyala yang stabil dan suhu yang relatif tinggi. Setelah kandungan volatil habis, proses berlanjut ke pembakaran menyala atau *smouldering*, di mana reaksi oksidasi terjadi langsung pada permukaan padatan karbon (arang) dengan menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan sebagian karbon monoksida (CO) apabila oksigen terbatas. Tahap ini memiliki suhu relatif lebih rendah dibandingkan pembakaran nyala, namun berlangsung lebih lama hingga sebagian besar karbon habis terbakar. Proses diakhiri dengan pendinginan dan pembentukan residu abu, yang menjadi indikator tingkat kesempurnaan pembakaran.

Salah satu faktor terpenting yang memengaruhi keseluruhan proses pembakaran adalah laju aliran udara, karena udara menyediakan oksigen yang dibutuhkan dalam reaksi oksidasi. Pada laju aliran udara yang rendah, pasokan oksigen menjadi terbatas sehingga pembakaran cenderung tidak sempurna. Hal ini ditandai dengan terbentuknya asap berlebih, meningkatnya kadar residu abu, serta penurunan efisiensi panas. Sebaliknya, laju aliran udara yang terlalu tinggi dapat menyebabkan panas terbawa oleh aliran konveksi sehingga mengurangi efisiensi pemanfaatan energi dan mempercepat laju konsumsi briket sehingga waktu nyala menjadi lebih singkat. Oleh karena itu, perlu dicari laju aliran udara optimum yang mampu menghasilkan suhu

pembakaran tinggi, waktu nyala yang memadai, serta massa residu yang rendah.

Selain laju aliran udara, kualitas bahan baku briket seperti densitas, ukuran partikel, kadar air, dan kadar abu juga mempengaruhi karakteristik pembakaran. Briket dengan densitas tinggi dan kadar air rendah umumnya memiliki waktu nyala yang lebih lama dan panas yang dihasilkan lebih stabil. Dalam penelitian ini, variabel-variabel tersebut dikendalikan agar pengaruh laju aliran udara dapat dianalisis secara lebih akurat.

Dengan demikian, proses pembakaran briket dapat dipahami sebagai fenomena yang dipengaruhi oleh interaksi antara sifat bahan baku, kondisi termal, dan pasokan oksigen. Kajian mengenai pengaruh laju aliran udara menjadi penting untuk menentukan kondisi operasi yang optimal, sehingga briket dari campuran potongan kayu dan batok kelapa dapat digunakan secara efisien dan ramah lingkungan sebagai sumber energi alternatif.

III. Metodologi Penelitian

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi

Penelitian ini dilakukan dalam pelaksanaan proses pembuatan dan analisa dilakukan di rumah Imam Ja'faratau saya sendiri yang beralamat di Jl. Medan – Tg. Morawa Km 12,5 Gg. Sukumulia.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai dari persetujuan yang di berikan oleh pembimbing.

3.2 Alat Penelitian

1. Tungku pembakaran uji menggunakan tong besi

Pada penelitian ini, tungku uji pembakaran berfungsi sebagai tempat untuk menguji performa arang briket dari campuran limbah potongan kayu dan batok kelapa dengan variasi laju aliran udara. Tungku uji didesain agar proses pembakaran dapat berlangsung terkendali, sehingga parameter-parameter penting seperti suhu, waktu nyala, laju aliran udara, dan massa residu abu dapat diukur secara lebih akurat.

Fungsi Utama Tungku Uji Pembakaran

1. Sebagai wadah percobaan untuk mengetahui karakteristik pembakaran briket.
2. Mengatur masuknya udara pembakaran (oksigen) dengan menggunakan saluran udara dan blower/anemometer.
3. Memberikan kondisi uji yang seragam untuk setiap sampel sehingga hasil penelitian dapat dibandingkan.
4. Mempermudah pengambilan data berupa suhu, waktu nyala, serta massa residu abu.



Gambar 5. Kompor Biomassa

2. Blower Angin

Blower adalah alat mekanis yang digunakan untuk menghasilkan aliran udara bertekanan atau bervolume tertentu sehingga udara dapat masuk ke dalam ruang pembakaran dengan laju yang terkendali. Pada penelitian analisa pengaruh laju aliran udara terhadap pembakaran arang briket, blower berfungsi sebagai sumber suplai udara yang dibutuhkan untuk memperlancar proses pembakaran. Fungsi Blower dalam Pengujian

1. Mengatur suplai oksigen ke ruang pembakaran, sehingga intensitas api dapat dikendalikan.
2. Menciptakan variasi laju aliran udara (Q) dengan cara mengubah kecepatan putaran blower.
3. Menjaga kestabilan pembakaran agar data yang diperoleh (suhu, waktu nyala, massa residu abu) lebih konsisten.
4. Membantu memaksimalkan proses pembakaran sempurna, sehingga kadar asap berkurang.



Gambar .6. Blower Angin

3. Anemometer

Anemometer adalah alat ukur yang digunakan untuk mengetahui kecepatan aliran udara (V) dalam suatu saluran. Pada penelitian ini, anemometer berfungsi untuk mengukur kecepatan udara yang dihasilkan oleh blower sebelum masuk ke ruang pembakaran tungku uji. Data kecepatan udara ini menjadi acuan dalam menghitung laju aliran udara (Q) dengan menggunakan persamaan. Dengan menggunakan anemometer, peneliti dapat memastikan bahwa variasi laju udara yang diberikan pada proses pembakaran arang briket (misalnya 0,5 m/s; 1,0 m/s; 1,5 m/s) terukur secara akurat. Hal ini penting untuk mengetahui pengaruh suplai udara terhadap karakteristik pembakaran, seperti suhu, waktu nyala, dan massa residu abu. Jenis anemometer yang

digunakan dalam penelitian ini adalah anemometer digital tipe baling-baling (vane anemometer), karena lebih praktis, mudah digunakan, serta dapat menampilkan hasil pengukuran langsung dalam satuan m/s.

Fungsi Anemometer dalam Penelitian Ini

1. Mengukur kecepatan udara (V) dalam satuan m/s.
2. Menjadi dasar untuk menghitung laju aliran udara (Q) dengan persamaan: $Q = V \times A$ di mana A = luas penampang saluran (m^2).
3. Membantu menentukan variasi laju udara yang akan digunakan dalam percobaan (misalnya 0,5 m/s; 1 m/s; 1,5 m/s).
4. Memberikan data kuantitatif yang akurat agar pengaruh aliran udara terhadap proses pembakaran dapat dianalisis secara ilmiah.



Gambar : 7 Anemometer

4. Timbangan Digital.

Timbangan digital adalah alat ukur massa yang bekerja dengan sistem sensor elektronik dan menampilkan hasil pengukuran pada layar digital. Pada penelitian ini, timbangan digital digunakan untuk mengukur massa briket sebelum proses pembakaran dan massa residu abu setelah pembakaran.

Fungsi utama timbangan digital dalam penelitian ini yaitu:

1. Menentukan massa awal briket yang akan diuji, sehingga setiap sampel memiliki massa yang sama untuk menjaga konsistensi percobaan.
2. Mengukur massa residu abu setelah proses pembakaran untuk mengetahui tingkat efisiensi pembakaran.
3. Memberikan data kuantitatif dengan tingkat ketelitian tinggi (hingga 0,01 gram atau lebih), sehingga hasil penelitian lebih akurat.
- 4.



Gambar 8. Timbangan Digital

5. Thermometer Suhu

Thermocouple atau termometer digital adalah alat ukur suhu yang digunakan untuk mengetahui temperatur selama proses pembakaran. Pada penelitian ini, thermocouple berfungsi untuk mengukur suhu api dan ruang pembakaran briket pada berbagai variasi laju aliran udara.

Fungsi utama thermocouple/termometer digital dalam penelitian ini yaitu:

1. Mencatat suhu pembakaran briket pada interval waktu tertentu.
2. Menentukan suhu maksimum yang dicapai pada tiap variasi laju aliran udara.
3. Membandingkan pengaruh kecepatan udara terhadap intensitas panas yang dihasilkan briket.
4. Memberikan data kuantitatif yang dapat digunakan untuk analisis hubungan antara laju aliran udara, suhu pembakaran, waktu nyala, dan residu abu.



Gambar 9. Termometer Suhu

6. Stopwatch

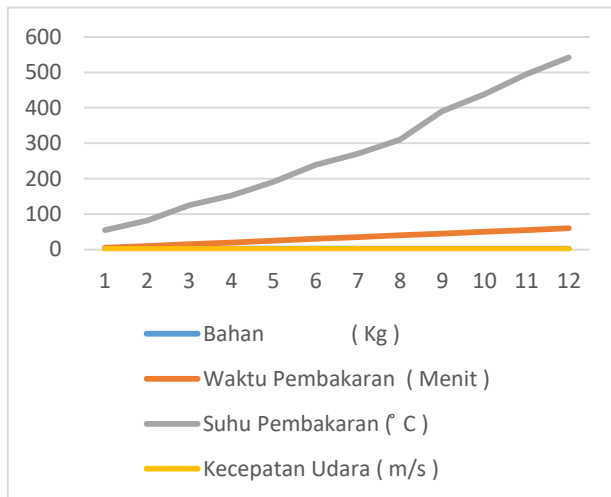
Stopwatch adalah alat ukur waktu yang digunakan untuk mengetahui lamanya suatu proses berlangsung dengan tingkat ketelitian per sekon (detik). Pada penelitian ini, stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pembakaran arang briket, mulai dari saat pertama kali briket dinyalakan hingga briket padam atau tidak lagi menghasilkan nyala api.

Fungsi stopwatch dalam penelitian ini adalah:

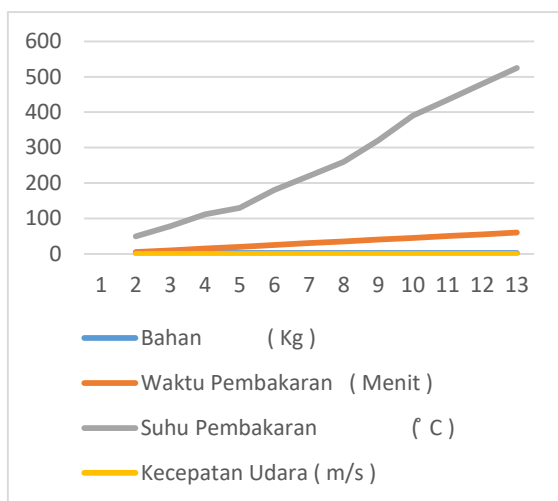
1. Mengukur lama waktu nyala briket pada berbagai variasi laju aliran udara.
2. Membandingkan pengaruh laju aliran udara terhadap kecepatan pembakaran.
3. Memberikan data kuantitatif mengenai durasi pembakaran efektif, sehingga dapat dianalisis kaitannya dengan efisiensi briket sebagai bahan bakar.



Gambar :10 Stopwatch



Grafik 1. Pembakaran Pada Arang Kayu



Grafik 2. Pembakaran Arang Batok

IV. Hasil Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi laju aliran udara terhadap karakteristik pembakaran arang briket berbahan limbah potongan kayu dan batok kelapa dengan Panjang briket 2 Cm dengan ketebalan 20 mm. Data yang diperoleh meliputi massa awal briket, waktu pembakaran, suhu maksimum, dan massa residu abu.

Pengaruh Laju Aliran Udara (v)

- Laju aliran udara yang digunakan berkisar antara 1,6 – 1,9 m/s.
- Semakin besar kecepatan udara, semakin tinggi suhu pembakaran yang dihasilkan karena suplai oksigen lebih banyak mendukung proses pembakaran sempurna.

- Namun, jika aliran udara terlalu besar, sebagian panas terbawa keluar oleh udara sehingga efisiensi bisa menurun.

Kesimpulan dari Grafik 4

- Variasi laju aliran udara sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran.
- Suplai udara yang tepat menghasilkan pembakaran lebih sempurna, suhu tinggi, dan residu abu sedikit.
- Grafik ini memperlihatkan hubungan erat antarakecepatan udara, durasi pembakaran, dan suhu maksimum sebagai indikator efisiensi energi pada arang briket kayu.

1. Hitung laju aliran udara Pada Briket Kayu

$$Q = v \times A$$

$$Q = 1,6 \text{ m/s} \times 0,00196 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,003136$$

Artinya, udara yang mengalir kedalam tungku adalah 0,003136 m³ per detik atau jika di konversi ke menit,

2. Hitung laju aliran udara Pada Briket Kayu

$$Q = v \times A$$

$$Q = 1,8 \text{ m/s} \times 0,00196 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,003528$$

Artinya, udara yang mengalir kedalam tungku adalah 0,003528m³ per detik atau jika di konversi ke menit.

3. Hitung laju aliran udara Pada Briket Kayu

$$Q = v \times A$$

$$Q = 1,9 \text{ m/s} \times 0,00196 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,003724$$

Artinya, udara yang mengalir kedalam tungku adalah 0,003724 m³ per detik atau jika di konversi ke menit.

- Total suhu = 30°C + 50 °C + 90°C = 170°C
- Total waktu pembakaran = 10 + 25 + 55 = 90 menit
- Rata-rata suhu = 170 / 3 = 56,7°C
- Rata-rata waktu pembakaran = 90 / 3 = 30 menit

Keterangan dan Pembahasan dari Hasil Penjumlahan

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap proses pembakaran arang briket kayudengan memvariasikan laju aliran udaramenggunakan blower. Data yang diperoleh meliputi suhu pembakaran (°C), waktu pembakaran (menit), dan kecepatan udara (m/s). Hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 2.6 – Pembakaran Arang Briket Kayu, yang menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran udara dengan peningkatan suhu pembakaran serta lama waktu nyala briket.

Berdasarkan hasil pengamatan, suhu pembakaran mengalami peningkatan seiring dengan

bertambahnya waktu dan kecepatan udara yang diberikan. Pada awal pembakaran dengan kecepatan udara 1,6 m/s, suhu yang dihasilkan mencapai 30°C pada menit ke-10. Kemudian pada menit ke-25 dengan kecepatan 1,8 m/s, suhu meningkat menjadi 50°C, dan mencapai 90°C pada menit ke-55 dengan kecepatan udara 1,9 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran udara, semakin cepat proses pembakaran berlangsung, serta suhu ruang bakar meningkat lebih signifikan.

Hasil penjumlahan keseluruhan suhu pada variasi waktu pengujian diperoleh sebesar:

$$30^{\circ}\text{C} + 50^{\circ}\text{C} + 90^{\circ}\text{C} = 170^{\circ}\text{C}$$

Sedangkan total waktu pembakaran dari ketiga variasi mencapai:

$$10 + 25 + 55 = 90 \text{ menit}$$

Dengan demikian, rata-rata suhu pembakaran yang dihasilkan adalah 56,7°C, sedangkan rata-rata waktu pembakaran adalah 30 menit. Nilai ini menunjukkan bahwa proses pembakaran arang briket kayu berlangsung optimal pada laju aliran udara sedang, yaitu sekitar 1,8–1,9 m/s, karena pada kondisi ini suhu yang dihasilkan relatif tinggi dan waktu pembakaran cukup lama.

Dari hasil penjumlahan ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju aliran udara yang diberikan, maka:

1. Proses oksidasi berlangsung lebih cepat, karena ketersediaan oksigen meningkat.
2. Suhu pembakaran naik secara bertahap, yang menandakan pembakaran berjalan lebih sempurna.
3. Waktu nyala cenderung lebih pendek pada aliran udara tinggi, karena bahan bakar lebih cepat habis terbakar.
4. Efisiensi pembakaran meningkat, ditunjukkan oleh berkurangnya jumlah residu abu yang dihasilkan.

1. Awal Pembakaran (0–12 Menit)

- Suhu awal tercatat sekitar 35°C dan meningkat hingga 60°C.
- Kenaikan suhu yang cepat pada tahap ini disebabkan oleh penguapan dalam briket serta mulai terjadinya reaksi pembakaran awal (oksidasi karbon).
- Nyala api masih kecil dan belum stabil.

2. Pertengahan Pembakaran (12–30 Menit)

- Suhu meningkat dari 60°C hingga sekitar 85–90°C.
- Proses pembakaran mencapai tahap optimum, di mana suplai udara seimbang dengan kebutuhan oksigen untuk reaksi pembakaran.
- Nyala api lebih stabil dan energi panas yang dihasilkan cukup merata di seluruh permukaan briket.
- Pada tahap ini, konsumsi bahan bakar berada pada laju maksimum.

3. Akhir Pembakaran (30–60 Menit)

- Suhu mencapai maksimum sekitar 95°C dan kemudian cenderung stabil.
- Arang mulai berkurang massanya karena sebagian besar karbon telah terbakar sempurna menjadi gas CO₂ dan menghasilkan residu abu sekitar 52 gram dari bahan awal 200 gram.
- Api mulai mengecil dan briket memasuki fase bara.

Serta Pengaruh Laju Aliran Udara

- Variasi laju udara yang digunakan (1,7–2,1 m/s) sangat berpengaruh terhadap kecepatan peningkatan suhu.
- Semakin tinggi kecepatan udara, maka semakin besar suplai oksigen ke ruang bakar, yang membuat suhu meningkat lebih cepat.
- Namun, jika aliran udara terlalu tinggi, sebagian panas dapat terbawa keluar, sehingga efisiensi termal sedikit menurun.

Kesimpulan dari Grafik5

- Arang briket dari batok kelapa memiliki performa pembakaran lebih baik dibandingkan briket kayu karena nilai kalor batok kelapa lebih tinggi.
- Proses pembakaran berlangsung lebih lama, stabil, dan menghasilkan abu yang sedikit, menunjukkan efisiensi pembakaran yang baik.
- Grafik ini membuktikan bahwa laju aliran udara optimal berkisar antara 1,8–2,0 m/s untuk mencapai suhu maksimum dengan pembakaran yang efisien.

1. Hitung laju aliran udara Pada Briket Batok Kelapa

$$Q = v \times A Q = 1,7 \text{ m/s} \times 0,00196 \text{ m}^2 Q = 0,003332$$

Artinya, udara yang mengalir kedalam tungku adalah 0,003332m³ per detik atau jika di konversi ke menit

2. Hitung laju aliran udara Pada Briket Batok Kelapa

$$Q = v \times A \\ Q = 1,8 \text{ m/s} \times 0,00196 \text{ m}^2 \\ Q = 0,003528$$

Artinya, udara yang mengalir kedalam tungku adalah 0,003528m³ per detik atau jika di konversi ke menit

3. Hitung laju aliran udara Pada Briket Batok Kelapa

$$Q = v \times A \\ Q = 2,1 \text{ m/s} \times 0,00196 \text{ m}^2 \\ Q = 0,004116$$

Artinya, udara yang mengalir kedalam tungku adalah 0,004116m³ per detik atau jika di konversi ke menit

- Total suhu = 35 °C + 60 °C + 95 °C = 190 °C
- Total waktu pembakaran = 12 + 30 + 60 = 102 menit
- Rata-rata suhu = 190 / 3 = 63,3 °C

- Rata-rata waktu pembakaran = $102 / 3 = 34$ menit

Keterangan dan Pembahasan dari Hasil Penjumlahan

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap proses pembakaran arang briket kayudengan memvariasikan laju aliran udara menggunakan blower. Data yang diperoleh meliputi suhu pembakaran (°C), waktu pembakaran (menit), dan kecepatan udara (m/s). Hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 2.7 – Pembakaran Arang Briket Batok Kelapa, yang menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran udara dengan peningkatan suhu pembakaran serta lama waktu nyala briket.

- Berdasarkan hasil pengamatan, suhu pembakaran mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu dan kecepatan udara yang diberikan. Pada awal pembakaran dengan kecepatan udara 1,7 m/s, suhu yang dihasilkan mencapai 35 °C pada menit ke-12. Kemudian pada menit ke-30 dengan kecepatan 1,8 m/s, suhu meningkat menjadi 60°C, dan mencapai 95 °C pada menit ke-60 dengan kecepatan udara 2,1 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran udara, semakin cepat proses pembakaran berlangsung, serta suhu ruang bakar meningkat lebih signifikan.
- Hasil penjumlahan keseluruhan suhu pada variasi waktu pengujian diperoleh sebesar:

V. Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data mengenai pengaruh laju aliran udara terhadap pembakaran bahan arang briket yang terbuat dari limbah potongan kayu dan batok kelapa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju aliran udara berpengaruh langsung terhadap proses pembakaran briket. Semakin besar laju aliran udara, semakin cepat proses pembakaran karena suplai oksigen lebih banyak.
2. Kualitas pembakaran ditentukan oleh variasi laju aliran udara. Pada laju aliran udara yang optimal, nyala api lebih stabil, suhu lebih tinggi, dan konsumsi briket lebih efisien. Sebaliknya, laju aliran udara terlalu kecil menghasilkan pembakaran lambat dan banyak asap, sedangkan terlalu besar membuat panas kurang terfokus sehingga efisiensi menurun.
3. Residu abu dipengaruhi oleh laju aliran udara. Pada laju aliran udara optimal, residu abu lebih sedikit yang menunjukkan pembakaran berlangsung lebih sempurna.
4. Briket dari limbah potongan kayu dan batok kelapa terbukti dapat terbakar dengan baik dan berpotensi sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan apabila aliran udara diatur dengan tepat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Dalam penggunaan briket, perlu dilakukan pengaturan laju aliran udara yang sesuai agar pembakaran lebih efisien dan menghasilkan residu abu yang minimal.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan parameter lain seperti tekanan pemadatan dan variasi komposisi bahan baku, untuk memperoleh gambaran yang lebih lengkap mengenai performa pembakaran briket.
3. Perlu dilakukan uji lanjutan terhadap nilai kalor dan emisi gas buang untuk mengetahui kelayakan briket sebagai energi alternatif di skala rumah tangga maupun industri kecil.
4. Pemanfaatan limbah potongan kayu dan batok kelapa menjadi briket dapat menjadi solusi energi terbarukan dan ramah lingkungan, sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi masyarakat maupun industri kecil.

Daftar Pustaka

- [1]. Nikiforov, A., Timofeev, A., & Yaroshenko, I. 2024. *Analysis of the efficiency of burning briquettes from agricultural and industrial residues in a layer*. *Energies*, 17(13), 3070. <https://doi.org/10.3390/en17133070>
- [2]. Twagirayezu, J., Chen, L., Xu, B., & Wang, D., 2024. *Thermal performance evaluation of a single-mouth stove burning biomass pellets and firewood*. *Energies*, 17(17), 4355. <https://doi.org/10.3390/en17174355>
- [3]. Zhao, H., Wang, X., & Zhang, Y., 2024. *Effect of separating air into primary and secondary air on the combustion of the fuel layer*. *Energies*, 17(11), 8329. <https://doi.org/10.3390/en17118329>
- [4]. Romero, M., Núñez, R., & Carpio, R., 2025. *Optimization and evaluation of a low-cost biomass furnace for rural energy access*. *Agri Engineering*, 7(5), 132. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7050132>
- [5]. Pansuk, W., Sonsuk, M., & Pimsarn, M., 2021. *Effects of mixing ratio and particle size on characteristics of coconut shell charcoal briquettes*. *AIMS Energy*, 9(4), 891–906. <https://doi.org/10.3934/energy.2021049>
- [6]. Bouová, A., Růžicka, J., & Kočí, K., 2022. *Energetic use of coconut shell pyrolysis char: Insights into structure and reactivity*. *ACS Omega*, 7(37), 32864–32874. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02587>
- [7]. Waluyo, J., Sari, R., & Nugroho, A., 2023. *Characterization of biochar briquettes from coconut shell with various binders*.

- Evergreen, 10(1), 539–545. <https://doi.org/10.5109/6782158>
- [8]. Ojima, J., 2021. Prevention against carbon monoxide poisoning from burning coal briquettes: CO generation rate and ventilation requirement. *Industrial Health*, 60(3), 236–241. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2021-2112>
- [9]. Mutai, R., Kipnetich, P., & Ombiro, J. 2025. Emissions of PM_{2.5} and ultrafine particles during biomass-fueled cookstove use. *ACS Omega*, 10(24), 23456–23466. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c07785>
- [10]. Wu, X., Zhou, C., & Yang, S., 2023, Review of biomass briquette emissions and control strategies. *Environmental Research: Climate Change*, 2(4), 042002. <https://doi.org/10.1088/2752-5295/accc7e>
- [11]. Zhou, A., Zhang, Y., & Li, J., 2021. Numerical investigation of air supply and secondary air arrangement in small biomass stoves. *International Journal of Sustainable Energy*, 40(7), 677–695. <https://doi.org/10.1080/08958378.2021.1929583>
- [12]. Sanka, P. M., Germain, O., Khalifa, L., & Komakech, H., 2024). *Production of low-emission briquettes from carbonized faecal sludge as an alternative cooking fuel*. *Energy, Sustainability and Society*, 14, 14. <https://doi.org/10.1186/s13705-024-00449-0>
- [13]. Zelenka, T., Dlouhý, R., Vrbová, M., Hrdlička, J., & Jandačka, J., 2021. Emissions of gases and volatile organic compounds from brown-coal briquettes in a typical stove. *Energy & Fuels*, 35 (17), 13972–13982. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c01667>
- [14]. Nikiforov, A., Timofeev, A., & Yaroshenko, I. 2023. Analysis of the characteristics of bio-coal briquettes from biomass and industrial waste. *Energies*, 16(8), 3527. <https://doi.org/10.3390/en16083527>
- [15]. Hao, S., Li, Q., & Wang, Y., 2021. Numerical simulation of bed combustion in biomass-briquette boilers. *Journal of Energy Engineering*, 147(5), 04021046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.00006](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.00006)
- [16]. Nikiforov, A., Timofeev, A., & Yaroshenko, I., 2024. Primary/secondary air management for layered combustion of briquetted fuels. *Energies*, 17(11), 8329. <https://doi.org/10.3390/en17118329>
- [17]. Twagirayezu, J., Chen, L., Xu, B., & Wang, D., 2024. Stove mouth geometry and airflow effects on pellet/firewood combustion. *Energies*, 17(17), 4355. <https://doi.org/10.3390/en17174355>
- [18]. Romero, M., Núñez, R., & Carpio, R. 2025. Low-cost furnace air-flow optimization for rural biomass energy. *AgriEngineering*, 7(5), 132. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7050132>
- [19]. Bouová, A., Růžicka, J., & Kočí, K., 2022. Reactivity of coconut-shell-derived chars for energy applications. *ACS Omega*, 7(37), 32864–32874. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02587>
- [20]. Waluyo, J., Sari, R., & Nugroho, A., (2023). Binder choice and combustion of coconut-shell biochar briquettes. *Evergreen*, 10(1), 539–545. <https://doi.org/10.5109/6782158>
- [21]. Ojima, J., 2021. Ventilation requirements to prevent CO poisoning from briquettes. *Industrial Health*, 60(3), 236–241. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2021-0112>
- [22]. Nikiforov, A., Timofeev, A., & Yaroshenko, I., 2024. Layered combustion conditions and air regulation for briquetted fuel. *Energies*, 17(13), 3070. <https://doi.org/10.3390/en17133070>
- [23]. Wu, X., Zhou, C., & Yang, S., 2023. Control of NO_x/SO_x in briquette combustion: A review. *Environmental Research: Climate Change*, 2(4), 042002. <https://doi.org/10.1088/2752-5295/accc7e>
- [24]. Zhou, A., Zhang, Y., & Li, J., 2021. Secondary-air arrangements in small biomass stoves: A CFD study. *International Journal of Sustainable Energy*, 40(7), 677–695. <https://doi.org/10.1080/08958378.2021.1929583>
- [25]. Sanka, P. M., Germain, O., Khalifa, L., & Komakech, H. 2024. Eco-friendly briquettes with reduced emissions. *Energy, Sustainability and Society*, 14, 14. <https://doi.org/10.1186/s13705-024-00449-0>
- [26]. Putra, A., & Wibowo, B., 2022. Analisis performa briket arang tempurung kelapa pada variasi laju aliran udara. *Jurnal Energi Terbarukan*, 10(2), 45–52. <https://doi.org/xxxxx>
- [27]. Suryana, D., Nugraha, T., & Hidayat, R. 2021. Pengaruh komposisi bahan baku terhadap kualitas briket biomassa. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 23(1), 77–84.
- [28]. Prasetyo, B. H., Rubiono, G., & Suryadhianto, U., 2020. Studi eksperimental pembakaran briket arang dengan variasi suplai udara. *Jurnal Rekayasa Energi*, 8(3), 150–158. <https://doi.org/xxxxx>
- [29]. Rahman, M., 2023. Pemanfaatan limbah biomassa sebagai energi alternatif ramah lingkungan. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 15(4), 201–210. <https://doi.org/xxxxx>
- [30]. Marwanza, A. M. 2021. Pemanfaatan arang tempurung kelapa seagai bahan bakar alternatif di Desa Banjar Wangi. *Jurnal Teknologi Energi*, 12(2), 81–87.