# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi nasional terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas industri. Pemerintah Indonesia berupaya mencapai ketahanan energi melalui diversifikasi sumber energi terbarukan sebagaimana tertuang dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Salah satu potensi terbesar yang dimiliki Indonesia adalah biomassa, khususnya limbah dari sektor perkebunan kopi di wilayah dataran tinggi Gayo, Kabupaten Bener Meriah.Peningkatan produksi kopi Arabika di wilayah tersebut berdampak pada menumpuknya limbah hasil pengolahan berupa kulit tanduk (*coffee parchment*) dan kulit buah (*coffee pulp*). Limbah ini memiliki kandungan lignoselulosa yang potensial, terdiri dari selulosa (43%), lignin (9%), dan hemiselulosa, namun sayangnya belum dimanfaatkan secara optimal. Pengelolaan yang minim menyebabkan limbah ini seringkali hanya dibuang atau dibakar secara terbuka, yang justru berpotensi menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Secara teknis, pemanfaatan langsung limbah kulit kopi sebagai bahan bakar padat menghadapi kendala karena karakteristik materialnya (Muhammad dkk., 2026).

Biomassa mentah umumnya memiliki kadar air yang tinggi, nilai kalor yang rendah (14-18 MJ/kg), serta densitas yang rendah yang menyulitkan proses transportasi dan penyimpanan. Selain itu, kadar air yang tinggi dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan meningkatkan emisi gas buang, sehingga diperlukan proses pra-perlakuan (*pre-treatment*) untuk memperbaiki kualitas bahan bakar tersebut. Solusi teknologi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini adalah *Hydrothermal Carbonization* (HTC) atau torefaksi basah. Metode ini terbukti efektif untuk biomassa basah karena dilakukan dalam media air bertekanan pada suhu moderat tanpa memerlukan pengeringan awal yang intensif energi. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa proses hidrotermal pada suhu 130℃ dengan waktu tinggal tertentu mampu mendegradasi hemiselulosa dan meningkatkan nilai kalor limbah kopi hingga mencapai 5130 cal/g, serta menurunkan kadar abu secara signifikan.

Meskipun kualitas pembakarannya meningkat, produk padatan (*hydrochar*) yang dihasilkan dari proses hidrotermal seringkali kehilangan kemampuan ikatan alaminya akibat degradasi lignin dan hemiselulosa. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam proses pembriketan atau peletisasi tanpa bantuan bahan pengikat (*binder*). Oleh karena itu, penggunaan perekat tambahan menjadi krusial untuk memastikan biopelet memiliki densitas dan durabilitas yang baik agar tahan selama proses distribusi. Setiawan dkk., (2025) melakukan riset mendalam mengenai proses *Hydrothermal Carbonization* pada berbagai biomassa berlignoselulosa. Riset ini menyimpulkan bahwa peningkatan suhu dan tekanan pada proses HTC mampu mendongkrak nilai kalor secara signifikan karena terjadinya proses dekarboksilasi (pelepasan CO2) dan dehidrasi (pelepasan H2O). Proses ini menghasilkan *hydrochar* dengan rasio O/C dan H/C yang mendekati batu bara *sub-bituminus*. Namun, celah pada penelitian ini adalah *hydrochar* yang dihasilkan berbentuk serbuk yang rapuh dan kehilangan integritas strukturalnya, sehingga tidak membahas tahapan densifikasi (peletisasi) yang mutlak diperlukan agar bahan bakar ini praktis digunakan oleh masyarakat.

Setiawan dkk., (2025) mengkaji pengaruh *severity factor* (faktor keparahan yang menggabungkan parameter waktu dan suhu) pada karbonisasi hidrotermal biomassa lokal. Temuannya menegaskan bahwa aplikasi HTC sangat optimal untuk memperbaiki sifat termal limbah pertanian berlignoselulosa tinggi. Pengujian hanya sebatas pada analisis proksimat di skala laboratorium. Penelitian tersebut belum membuktikan bagaimana kinerja *hydrochar* tersebut jika diaplikasikan secara nyata dalam proses pembakaran di dalam tungku (kompor). Adapun Rozi dkk., (2023) menginvestigasi pemanfaatan limbah molase (tetes tebu) sebagai perekat utama pada pembuatan pelet biomassa non-hidrotermal. Hasilnya membuktikan bahwa kandungan sukrosa dalam molase mampu menciptakan jembatan padat (*solid bridges*) yang mengikat partikel biomassa, sehingga nilai *Durability Index pelet* meningkat drastis. Keterbatasan riset ini terletak pada sifat molase yang hidrofilik. Penggunaan molase yang terlalu banyak justru membuat pelet mudah menyerap air dari udara (higroskopis), yang pada akhirnya

menurunkan efisiensi pembakaran. Hal ini memunculkan kebutuhan akan perekat alternatif pendamping yang bersifat menolak air (hidrofobik).

Hidayat (2024) menganalisis unjuk kerja kompor biomassa tipe *updraft* menggunakan pelet sekam dan kulit kopi mentah (tanpa perlakuan hidrotermal). Hasilnya menunjukkan bahwa meskipun kompor berfungsi, pelet biomassa mentah menghasilkan asap (emisi) yang cukup tebal dan pelet mudah hancur menjadi abu yang menyumbat aliran udara primer (*grate*) di dasar kompor, sehingga laju pembakaran menjadi tidak stabil. Penelitian ini secara langsung menutupi kelemahan tersebut dengan memodifikasi bahan baku sekam kopi menggunakan metode HTC untuk menghilangkan asap, serta menguji formulasi perekat baru untuk mencegah kehancuran pelet saat terbakar.

Darussalam dkk., (2022) meneliti karakteristik pembakaran pelet densitas tinggi pada kompor biomassa *forced draft* (sistem udara paksa). Penelitian ini menyimpulkan bahwa stabilitas suhu maksimum, rasio CO/CO2, dan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) sangat dikendalikan oleh homogenitas bahan pengikat (perekat) yang digunakan. Perbedaan penelitian ini adalah penggunaan kompor natural draft (alami) dan fokus pada sekam kopi Gayo hasil hidrotermal, untuk melihat apakah variasi perekat alami (molase dan getah pinus) dapat menyamai standar pembakaran pelet komersial berdensitas tinggi.

Pemilihan jenis perekat dalam penelitian ini didasarkan pada karakteristik kimiawi spesifik yang diharapkan dapat menyempurnakan kelemahan hydrochar. Getah pinus (*pine gum*) dipilih karena mengandung senyawa terpena dan resin asam yang memiliki nilai kalor sangat tinggi serta sifat hidrofobik alami, yang diprediksi mampu meningkatkan ketahanan pelet terhadap kelembaban sekaligus mendongkrak efisiensi pembakaran. Di sisi lain, molase tebu sebagai limbah industri gula menawarkan mekanisme ikatan *solid bridge* yang kuat melalui kristalisasi sukrosa saat pengeringan, yang berpotensi meningkatkan durabilitas fisik pelet agar tidak mudah hancur saat distribusi. Studi komparasi antara perekat berbasis resin alami (getah pinus) dan perekat berbasis gula (*molase*) ini menjadi kebaruan penelitian yang penting untuk menentukan formulasi binder yang paling optimal dari segi energi dan kekuatan fisik (Rozi dkk., 2021).

Selain formulasi bahan bakar, evaluasi efisiensi konversi energi di sisi pengguna akhir juga menjadi aspek krusial yang sering diabaikan. Pengujian menggunakan kompor biomassa (kompor biopelet) dengan metode *Water Boiling Test* (WBT) diterapkan dalam penelitian ini untuk mensimulasikan kondisi riil penggunaan di masyarakat. Kompor biomassa didesain untuk mencapai pembakaran sempurna dengan emisi rendah, sehingga sangat tepat digunakan untuk mengukur apakah peningkatan nilai kalor pada biopelet hasil hidrotermal benar-benar berkorelasi dengan penghematan bahan bakar dan waktu mendidih air yang lebih singkat dibandingkan bahan bakar konvensional. Pendekatan integratif mulai dari peningkatan kualitas bahan baku melalui hidrotermal hingga pengujian aplikasi pada kompor efisiensi tinggi ini diharapkan dapat menghasilkan solusi energi pedesaan yang komprehensif dan berkelanjutan.

Penelitian mengenai variasi jenis perekat pada biopelet *hydrochar* kopi masih perlu dikembangkan untuk menemukan formulasi yang paling efisien. Penggunaan perekat seperti molase dan getah pinus berpotensi tidak hanya merekatkan partikel, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan nilai energi karena kandungan karbonnya. Evaluasi terhadap variasi perekat ini, yang dikombinasikan dengan pengujian unjuk kerja menggunakan kompor biomassa, diharapkan dapat menghasilkan bahan bakar alternatif yang berkualitas tinggi dan aplikatif bagi masyarakat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis perekat terhadap karakteristik fisik biopelet sekam kopi hasil hidrotermal?
2. Bagaimana dampak penambahan perekat terhadap karakteristik fisikokimia biopelet?
3. Bagaimana perbedaan nilai efisiensi termal pada masing-masing variasi biopelet saat diuji menggunakan kompor biomassa dengan metode *Water Boiling Test* (WBT)?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada tujuan yang ingin dicapai, penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada karakterisasi fisik dan unjuk kerja pembakaran bahan bakar padat biopelet dari limbah sekam kopi yang telah melalui proses hidrotermal (torefaksi basah).
2. Penelitian ini mencakup proses pembuatan biopelet dengan memvariasikan jenis perekat, namun tidak membahas secara mendalam mengenai desain mesin pencetak pelet itu sendiri.
3. Parameter uji fisik dan fisikokimia yang diukur meliputi analisis proksimat (kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon*), densitas, nilai kalor, *Pellet Durability Index* (PDI), serta tingkat hidrofobisitas.
4. Skala pengujian aplikasi pembakaran dilakukan pada skala laboratorium menggunakan kompor biopelet untuk pengujian efesiensi termal metode *Water Boiling Test* (WBT), laju pembakaran dan laju konsumsi spesifik bahan bakar.
5. Kondisi operasi proses hidrotermal dijaga konstan menggunakan media air pada tekanan 4 bar dengan waktu tinggal 30 menit.
6. Preparasi bahan baku biopelet dikontrol seragam dengan ukuran serbuk 20 mesh dan konsentrasi perekat ditetapkan sebesar 5%, dimana variasi hanya dilakukan pada jenis perekat (Molase Tebu, Getah Pinus, dan Tanpa Perekat).

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas bahan bakar padat biopelet dari limbah sekam kopi yang telah diproses secara hidrotermal, dengan fokus pada pengaruh 3 variasi jenis perekat terhadap karakteristik fisik dan unjuk kerja pembakaran. Secara spesifik, tujuan penelitian ini meliputi:

1. Mengetahui pengaruh variasi jenis perekat terhadap karakteristik fisik biopelet sekam kopi hasil hidrotermal.

2. Mengetahui dampak penambahan perekat molase tebu dan getah pinus serta tanpa penambahan perekat terhadap karakteristik fisikokimia biopelet.
3. Mengetahui perbandingan nilai laju pembakaran, efisiensi termal dan konsumsi spesifik bahan bakar dari masing-masing variasi perekat saat diaplikasikan secara langsung pada kompor biomassa menggunakan standar pengujian *Water Boiling Test (WBT)*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi dalam beberapa aspek, baik dari segi akademis, industri/masyarakat, maupun lingkungan. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis
   a. Penelitian ini diharapkan memperkaya literatur ilmiah terkait analisis karakteristik pembakaran bahan bakar padat, khususnya biopelet dari limbah sekam kopi yang diproses secara hidrotermal dengan variasi perekat.
   b. Hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan ajar atau referensi tambahan dalam mata kuliah yang berkaitan dengan konversi energi, energi terbarukan, dan termodinamika teknik.
2. Manfaat Industri dan Masyarakat
   a. Pemahaman yang lebih baik mengenai pengaruh variasi jenis perekat (molase, getah pinus, dan tanpa perekat) terhadap kualitas biopelet dapat membantu industri kecil menengah (IKM) kopi dalam memproduksi bahan bakar yang efisien dan bernilai ekonomi tinggi.
   b. Penelitian ini dapat mendorong pengembangan teknologi bahan bakar biomassa alternatif yang dapat diaplikasikan pada kompor biomassa untuk kebutuhan rumah tangga atau industri kecil, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (LPG/Minyak Tanah).

3. Manfaat Lingkungan
    a. Optimalisasi formulasi biopelet yang tepat dapat berkontribusi pada pengurangan emisi asap dan gas berbahaya hasil pembakaran, seperti karbon monoksida (CO), sehingga menciptakan pembakaran yang lebih bersih.
    b. Penelitian ini membuka peluang besar untuk meningkatkan pemanfaatan limbah kulit kopi yang selama ini menjadi polutan, menjadi bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan (*eco-friendly*) dan berkelanjutan. (Yanti dkk., 2025)