

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, dimana mengetahui pengaruh variasi *Air-Fuel Ratio (AFR) starter premix* udara-LPG terhadap pembakaran biomassa (*initial ignition*) menuju proses gasifikasi. Penelitian ini ingin mengetahui *ignition time*, temperatur *bed*, kadar *syngas* (H_2 , CO , dan CH_4) dan *burning rate*.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penelitian ini dilakukan mulai dari bulan September 2025 sampai bulan Juli 2026.

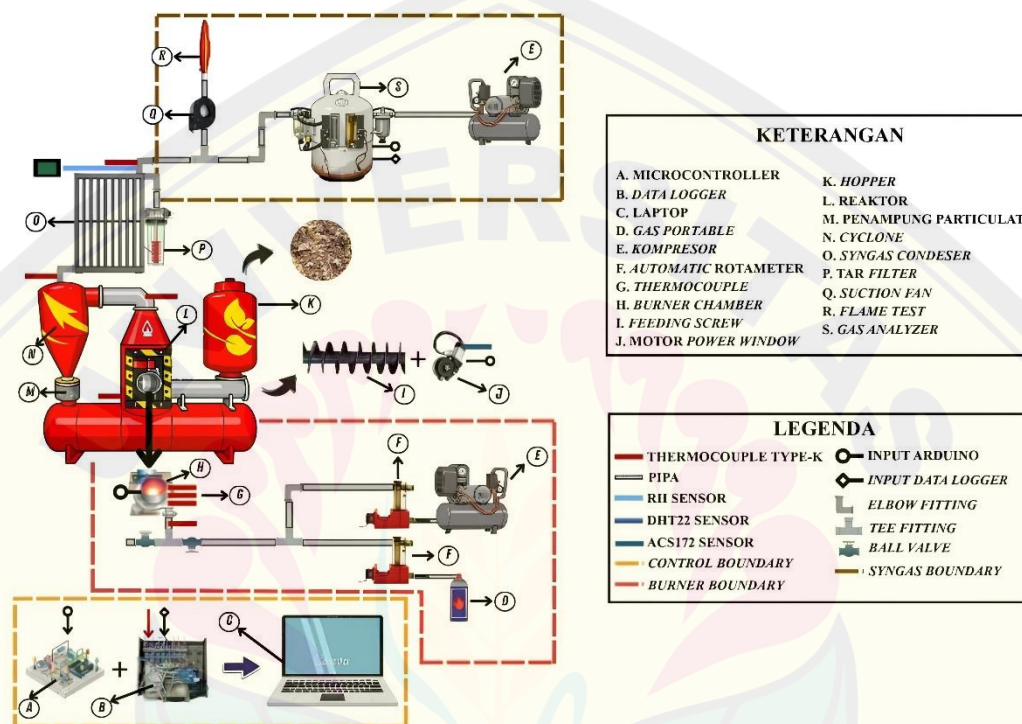
3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gasifikasi tipe *moving fluidized bed* yang dilengkapi *burner chamber* sebagai alat utama dalam penelitian yang dilakukan (Gambar 3.1). *Burner* sendiri memiliki panjang 120 mm yang tersusun dari pipa besi berukuran 3 *inch* sebagai area *fluidized bed* dan pipa besi berukuran 5 *inch* sebagai *chamber* dengan panjang 30 mm yang digunakan untuk area *premix* udara-LPG (Gambar 4.1). *Burner* terhubung langsung oleh *screw feeding* yang terintegrasi langsung pada reaktor gasifikasi.

Pada area *burner chamber* telah terpasang 3 titik *thermocouple type-k* dengan model *MAX6675* yang memiliki panjang *thermocouple* 50 mm ke dalam area *fluidized bed*. Untuk menyuplai kondisi *premix* udara-LPG, digunakan *blower* sebagai penyuplai udara dan *gas portable* sebagai penyuplai bahan bakar yang kemudian masing-masing terhubung oleh *flowmeter* sebagai pengatur laju alirannya. Setelah kondisi *premix* udara-LPG tercapai, kemudian dilakukan pemantikan menggunakan *gas torch*. Selain itu juga terdapat sensor gas (*MQ-Series*) yang digunakan untuk membaca kadar *syngas* pada proses awal gasifikasi

sebagai parameter untuk *starter-off*. Sensor MQ yang digunakan yaitu MQ-4 untuk membaca gas CH₄, MQ-7 untuk membaca gas CO, dan MQ-8 untuk membaca gas H₂. Semua sistem kontrol otomatis ini akan tercatat dalam *data logger* yang nantinya akan memberikan informasi terkait perubahan temperatur dan kadar *syngas* yang terbaca secara *real-time*.



Gambar 3.1 Skema Alat Gasifikasi

3.3.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa biomassa dari limbah kulit kopi jenis Robusta dengan ukuran mesh 6 yang diatur kadar airnya sebesar $\leq 5\%$ dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari / dilakukan pengovenan. Biomassa ini diambil dari petani kopi di Desa Seputih, Kecamatan Mayang, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Selama proses berlangsung, biomassa yang digunakan sekitar 2-3 kg per proses.

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah perlakuan yang dapat ditetapkan oleh peneliti untuk mengetahui variabel terikat. Adapun variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi *Air-Fuel Ratio (AFR) premix* udara-LPG sebesar 17,55:1, 38,30:1, 63,83:1, dan 76,60:1.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan hasil dari pengujian. Variabel terikat diperoleh karena adanya variabel bebas dan dapat diketahui dengan cara dihitung atau dianalisis. Adapun variabel terikat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Ignition Time*.
- b. *Temperatur Bed*.
- c. Kadar *Syngas* (H_2 , CO, dan CH_4).
- d. *Burning Rate*.

3.4.3 Variabel Kontrol

Adapun variabel kontrol pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Rentang biomassa yang digunakan antara 2-3 kg per proses.
- b. Kulit kopi yang digunakan memiliki kadar air $\leq 5\%$.
- c. Ukuran mesh kulit kopi yang digunakan yaitu mesh 6.
- d. *Room humidity* berkisar antara 80-90 %.
- e. Rentang laju aliran udara sebesar 50-60 LPM.
- f. Rentang laju aliran LPG sebesar 1-10 SCFH.
- g. *Feedrate biomass* yang digunakan adalah 4,2 g/s.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Biomassa

Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan biomassa kulit kopi sebagai bahan baku gasifikasi. Pertama, kulit kopi dilakukan pengayakan dengan mesh 6, lalu dijemur di bawah sinar matahari. Kemudian, pastikan kadar airnya

menggunakan alat *moisturemeter* untuk meminimalkan pengaruh kelembaban terhadap kestabilan temperatur awal dan laju devolatilisasi. Selanjutnya, letakkan biomassa ke tempat yang kedap udara agar kadar air biomassa tetap terkontrol yaitu $\leq 5\%$.

3.5.2 Proses *Starter Premix* Udara-LPG

Sistem reaktor yang digunakan adalah *moving fluidized bed gasifier* yang dilengkapi media *bed* serta beberapa titik pengukuran temperatur pada zona *burner chamber*, bagian bawah *bed* yaitu *drying*, bagian tengah *bed* yaitu *burn*, dan bagian atas *bed* yaitu *feed-burn*. Konfigurasi ini mengikuti prinsip distribusi temperatur dan homogenisasi panas pada *fluidized bed* yang dilaporkan meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan massa (Lan et al., 2019). *Starter* yang digunakan berupa *burner premix* udara-LPG, dimana udara dan LPG diukur menggunakan *flowmeter*. Pencampuran dilakukan sebelum masuk ke area *burner chamber* untuk memastikan kondisi *premixed combustion*, sebagaimana pendekatan yang digunakan pada studi pembakaran *premix* LPG di *bubbling fluidized bed* (Baron et al., 2018). *Air-Fuel Ratio (AFR)* dihitung berdasarkan perbandingan laju aliran massa udara terhadap LPG, kemudian divariasikan dari beberapa perbandingan *AFR* untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kenaikan temperatur *bed*.

3.5.3 Proses *Chamber Heating* dan *Burning Biomass*

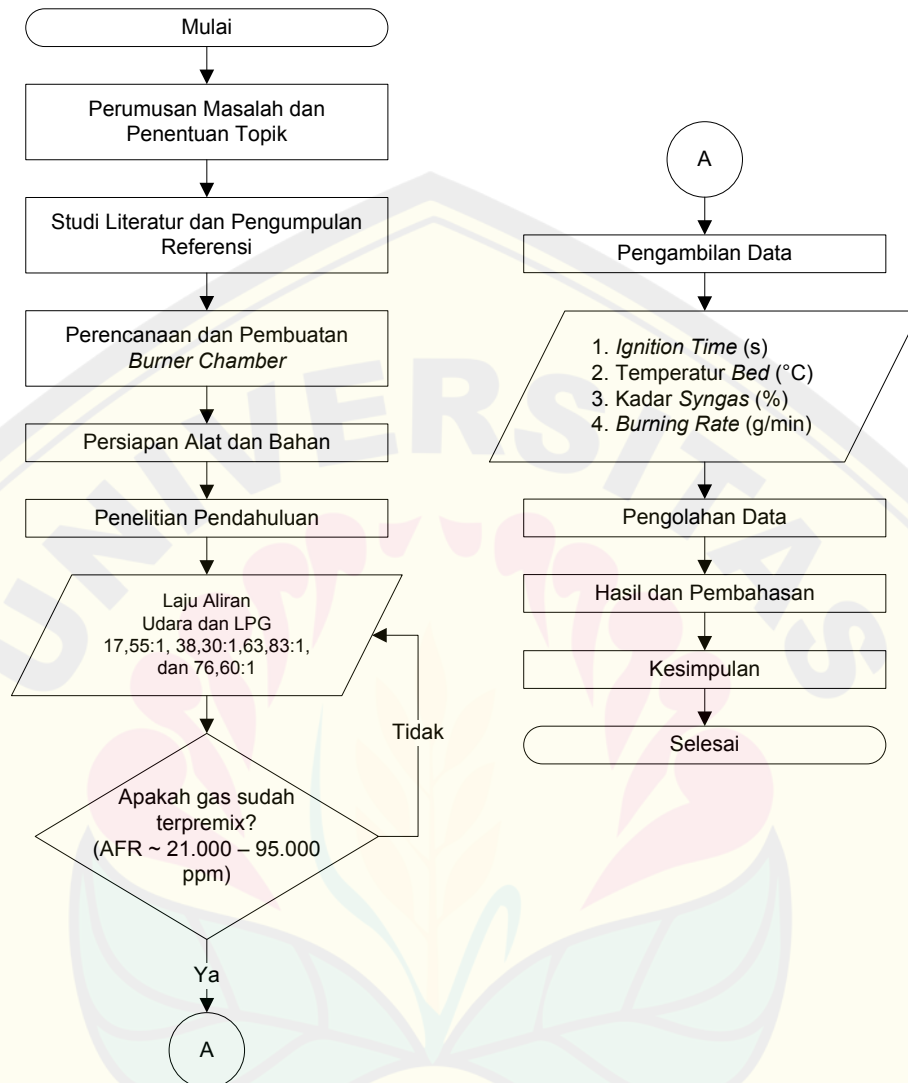
Proses eksperimen dimulai dengan penyalaan *burner premix* hingga temperatur *bed* meningkat secara bertahap. Perubahan temperatur terhadap waktu dicatat secara *real-time* dengan *data logger* untuk mengidentifikasi fase *premix heating* dan *ignition time* biomassa. Biomassa mulai dimasukkan ketika temperatur *bed* mencapai 500°C sebagaimana ditunjukkan dalam studi kinetika biomassa pada *fluidized bed gasifier* (Rodriguez and Gordillo, 2011). Selanjutnya diamati fase *feedburn* dan homogenisasi pembakaran biomassa, dimana peningkatan temperatur dan distribusinya di sepanjang *bed* dianalisis sebagai indikator keberhasilan transfer panas dari *burner* menuju partikel biomassa.

Pendekatan analisis pengaruh temperatur terhadap konversi karbon dan pembentukan gas mampu bakar mengacu pada studi parametrik gasifikasi temperatur tinggi (Ismail & El-Salam, 2017).

3.5.4 Hasil Pembakaran Awal Biomassa

Selama proses *starter*, gas akan diamati secara *real-time* menggunakan *data logger* untuk dianalisis kandungan H_2 , CO , dan CH_4 melalui *gas analyzer* yang nantinya sebagai indikasi awal produksi *syngas* dan menentukan *timing* penghentian *burner starter*. Fokus pengamatan yang dilakukan yaitu kadar CH_4 pada *syngas* minimal 15% dan temperatur T_3 (*feed-burn*) sekitar $500^\circ C$. Evaluasi kadar *syngas* tersebut dikaitkan dengan pergeseran kesetimbangan reaksi akibat peningkatan temperatur (Lan et al., 2019; Rodriguez and Gordillo, 2011). Selain itu, hasil pembakaran (*burning rate*) biomassa diukur berdasarkan laju pengumpanan biomassa terhadap waktu untuk mengevaluasi dinamika konsumsi bahan bakar selama pembakaran biomassa, sebagaimana pendekatan analisis hubungan dinamis *burning rate* pada pembakaran biomassa (Deng et al., 2019). Seluruh data temperatur *bed*, kadar *syngas*, dan *burning rate* kemudian dianalisis terhadap variasi *AFR* untuk memetakan karakteristik dinamis pembakaran biomassa kulit kopi pada sistem *moving fluidized bed gasifier*.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian