

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan analisis dan pembahasan mendalam terhadap data eksperimental yang diperoleh. Data mentah (yang disajikan dalam Lampiran) diinterpretasi untuk mengkorelasikan temuan empiris dengan prinsip-prinsip dasar termodinamika, perpindahan panas, dan mekanika fluida yang telah diuraikan dalam tinjauan pustaka.

Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh variabel bebas yaitu rasio campuran bahan bakar (Oli Bekas : Minyak Jelantah) dan laju aliran terhadap parameter kinerja kompor burner. Parameter ini mencakup karakteristik pembakaran (stabilitas dan warna nyala), kinerja termal (waktu pendidihan), serta emisi kualitatif, untuk menentukan satu titik operasi optimal.

4.1 Hasil Pengujian Kalibrasi Efisiensi Kompor

Sesuai dengan metodologi yang diuraikan dalam Bab 3.6.3, langkah fundamental pertama sebelum menguji bahan bakar campuran adalah melakukan kalibrasi kompor burner. Tujuan dari kalibrasi ini adalah untuk menentukan efisiensi termal dasar dari perangkat kompor (η_{kompor}) pada setiap laju aliran yang akan diuji.

Proses ini krusial karena nilai kalor (LHV) dari bahan bakar campuran tidak diketahui dan merupakan salah satu parameter yang akan dicari. Dengan menggunakan "Metode Perhitungan Mundur", efisiensi kompor yang telah diketahui ini akan digunakan untuk menghitung nilai kalor bahan bakar campuran.

Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan bahan bakar standar (minyak tanah) yang nilai kalornya ($\text{LHV}_{\text{standar}}$) diketahui. Pengujian *Water Boiling Test* (WBT) dilakukan dengan memanaskan 1,0 kg air (m_{air}) dari suhu awal (T_{awal}) 30 °C hingga suhu akhir (T_{akhir}) 90 °C (perubahan suhu, $\Delta T = 60$ °C). Energi panas yang diserap oleh air (Q_{output}) dihitung menggunakan rumus kalorimetri dasar seperti pada persamaan (2.2).

Nilai Q_{output} sebesar 251,16 kJ ini dijaga konstan sebagai acuan untuk semua pengujian kalibrasi dan pengujian bahan bakar campuran.

Hasil kalibrasi efisiensi kompor (η_{kompor}) menunjukkan tren yang jelas:

- Pada laju aliran 5 ml/menit, efisiensi tercatat sebesar 30,00%.
- Pada laju aliran 10 ml/menit, efisiensi menurun menjadi 28,00%.
- Pada laju aliran 15 ml/menit, efisiensi tercatat paling rendah, yaitu 25,01%.

Analisis ini menunjukkan bahwa efisiensi termal perangkat kompor ini berbanding terbalik dengan laju aliran. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh desain burner. Pada laju aliran yang lebih tinggi (15 ml/menit), kecepatan gas panas yang keluar dari burner terlalu tinggi. Hal ini menyebabkan waktu tinggal (*residence time*) gas panas di bawah permukaan panci menjadi terlalu singkat. Akibatnya, sebagian besar energi panas "lolos" bersama gas buang sebelum sempat ditransfer secara efektif ke air, sehingga efisiensi perpindahan panasnya menurun.

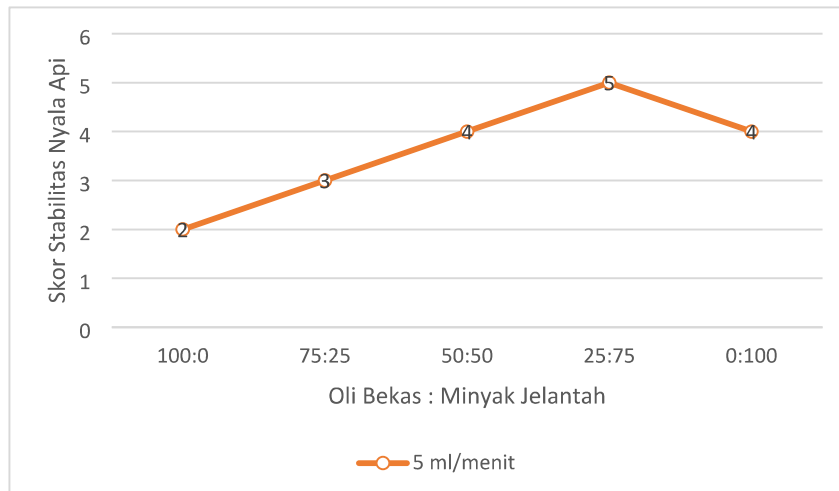
Temuan ini memvalidasi keputusan metodologis 1 untuk mengkalibrasi (η_{kompor}) secara terpisah untuk setiap laju aliran. Nilai efisiensi yang spesifik ini (30,00%, 28,00%, dan 25,01%) akan digunakan sebagai konstanta dalam perhitungan nilai kalor bahan bakar campuran pada sub-bab selanjutnya.

4.2 Analisis Karakteristik Pembakaran

Karakteristik pembakaran, khususnya stabilitas dan warna nyala api, merupakan indikator kualitatif primer untuk menilai kualitas proses pembakaran. Parameter ini diamati secara visual selama pengujian WBT untuk semua 15 variasi kombinasi (5 rasio campuran x 3 laju aliran), sesuai dengan kriteria penilaian yang ditetapkan dalam Bab 3.

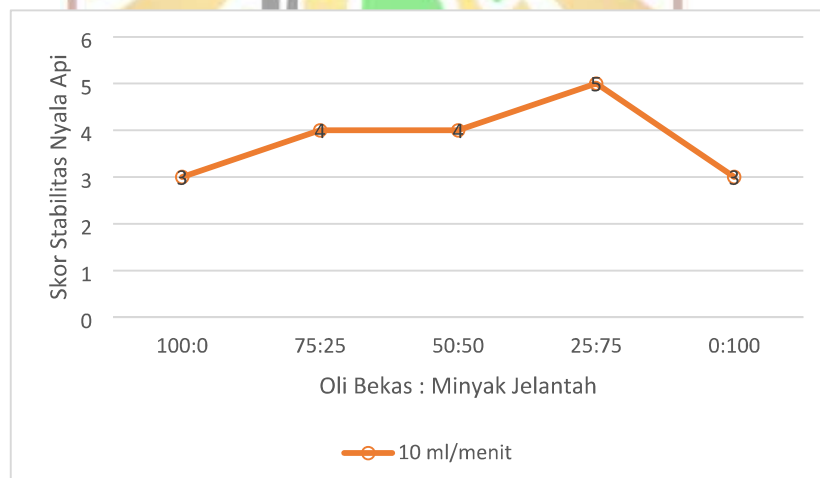
4.2.1 Pengaruh Rasio Campuran dan Laju Aliran terhadap Stabilitas Nyala Api

Hasil pengamatan menunjukkan korelasi kuat antara rasio campuran dengan stabilitas nyala api. Stabilitas ditemukan berbanding terbalik dengan konsentrasi oli bekas (OB) dalam campuran. Pada konsentrasi 100% Oli Bekas (Rasio 100:0), nyala api menunjukkan stabilitas terendah (Skor 2-3). Api berfluktuasi secara liar dan sulit dipertahankan. Ini adalah manifestasi langsung dari sifat fisik oli bekas.



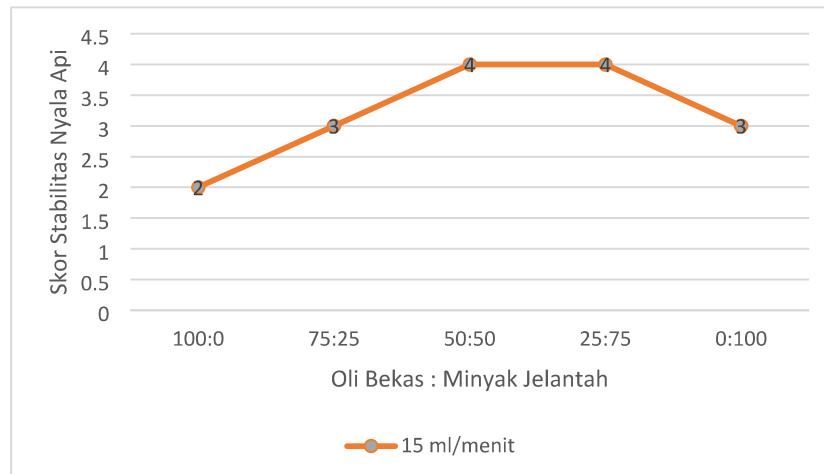
Gambar 4.1 Skor Stabilitas Nyala Api pada Laju Aliran 5 ml/menit

Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.1**, pada laju aliran rendah, stabilitas tertinggi (Skor 5) dicapai oleh campuran 25% Oli Bekas (OB) : 75% Minyak Jelantah (MJ). Hal ini terjadi karena penambahan MJ menurunkan viskositas campuran, sehingga nozzle mampu menghasilkan pengabutan yang lebih konsisten meskipun tekanan operasional rendah.



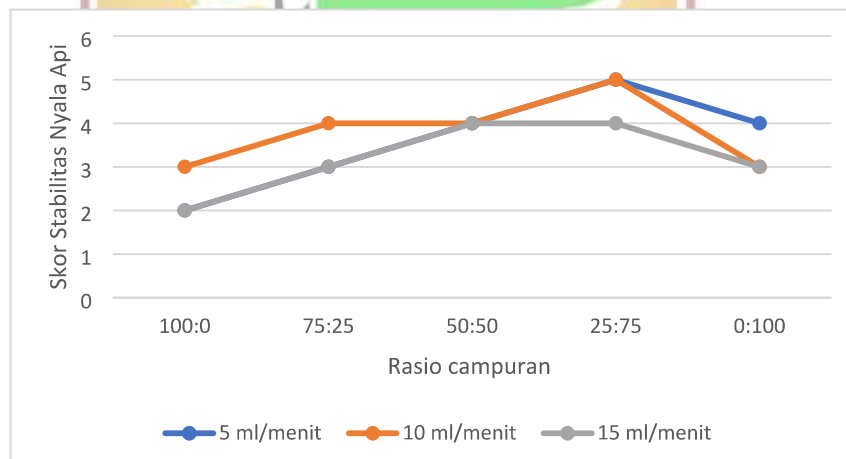
Gambar 4.2 Skor Stabilitas Nyala Api pada Laju Aliran 10 ml/menit

Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.2**, laju aliran ini menunjukkan performa stabilitas yang paling solid di hampir seluruh variasi campuran. Campuran 25:75 tetap mempertahankan skor sempurna karena rasio penguapan (*vaporization rate*) bahan bakar sangat sinkron dengan suplai udara dari blower.



Gambar 4.3 Skor Stabilitas Nyala Api pada Laju Aliran 15 ml/menit

Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.3**, terjadi penurunan stabilitas pada seluruh rasio campuran dibandingkan laju 10 ml/menit. Hal ini disebabkan oleh kondisi *fuel-rich*, di mana volume bahan bakar yang masuk terlalu besar sehingga menciptakan turbulensi yang tidak stabil di area burner.



Gambar 4.4 Skor Stabilitas Nyala Api

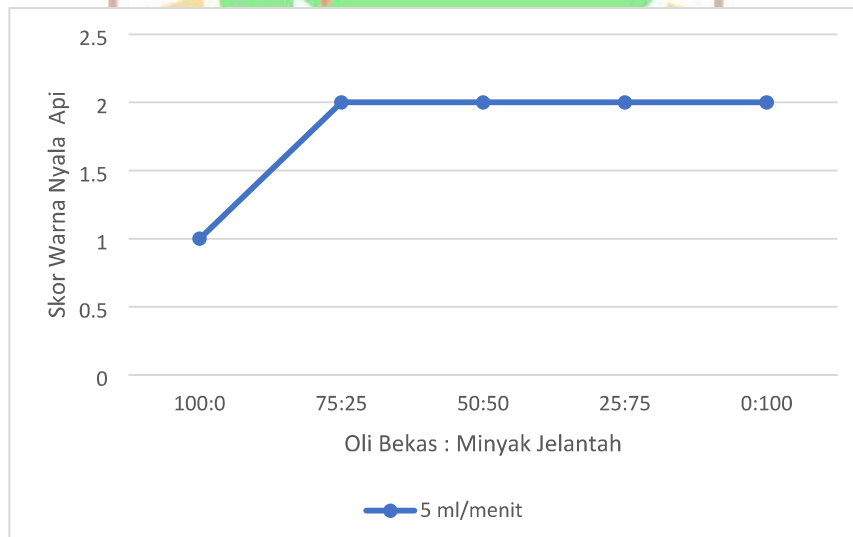
Dapat dilihat pada **Gambar 4.4**. Oli bekas memiliki viskositas yang sangat tinggi, yang secara inheren melawan proses atomisasi. Bahan bakar gagal terpecah menjadi kabut halus (*mist*) dan keluar sebagai tetesan-tetesan (*droplet*) besar. Tetesan besar ini memiliki laju vaporisasi (penguapan) yang lambat dan tidak konsisten, yang secara fisik terlihat sebagai nyala api yang sangat tidak stabil.

Sebaliknya, penambahan minyak jelantah (MJ) secara signifikan memperbaiki stabilitas. Minyak jelantah (100% MJ, Rasio 0:100) menunjukkan stabilitas yang cukup baik (Skor 3-4). Minyak jelantah, dengan viskositas lebih rendah, bertindak sebagai pelarut saat dicampur.

Stabilitas nyala api tertinggi (Skor 5, "Sangat Stabil") ditemukan pada rasio 25% OB: 75% MJ pada laju aliran 5 ml/menit dan 10 ml/menit. Ini menunjukkan bahwa pada rasio ini, viskositas campuran telah mencapai "viskositas efektif" yang optimal, yang cukup rendah untuk memungkinkan *nozzle* menghasilkan atomisasi yang baik dan konsisten.

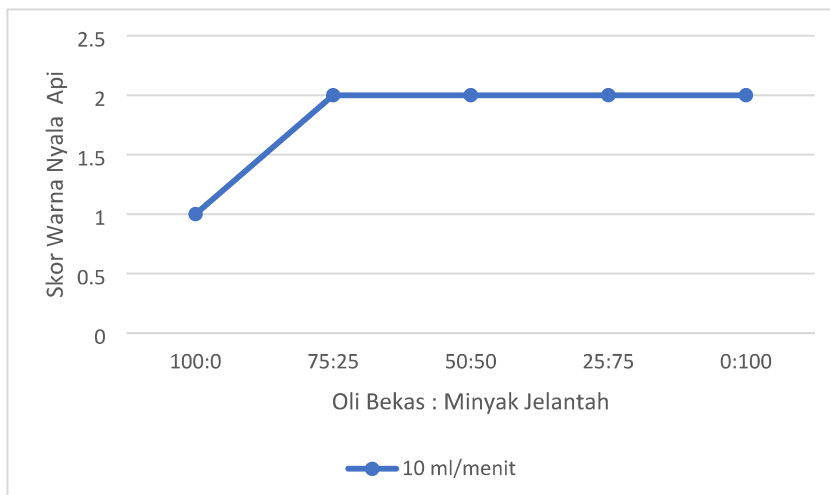
4.2.2 Pengaruh Rasio Campuran dan Laju Aliran terhadap Warna Nyala Api

Warna nyala api merupakan indikator visual utama kualitas pembakaran yang merepresentasikan kesempurnaan reaksi oksidasi dan temperatur nyala. Berdasarkan data pengamatan pada **Tabel A.1**, ditemukan korelasi yang jelas antara komposisi bahan bakar dan laju aliran terhadap kualitas warna api yang dihasilkan.



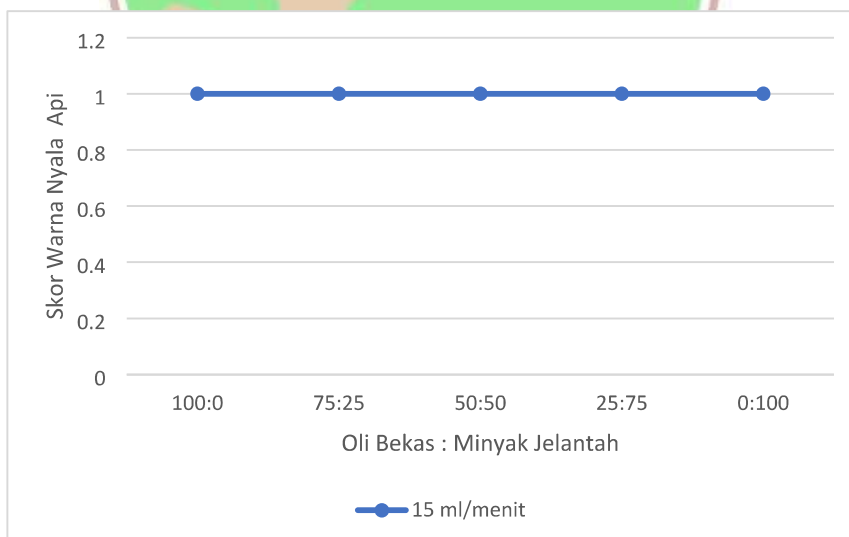
Gambar 4.5 Skor Warna Nyala Api pada Laju Aliran 5 ml/menit

Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.5** dan dilihat pada **Gambar B.5**, dominasi warna kuning cerah (Skor 2) terlihat pada hampir semua variasi. Ini mengindikasikan bahwa energi termal yang dihasilkan belum cukup tinggi untuk mencapai oksidasi sempurna, sehingga masih terdapat partikel jelaga pijar.



Gambar 4.6 Skor Warna Nyala Api pada Laju Aliran 10 ml/menit

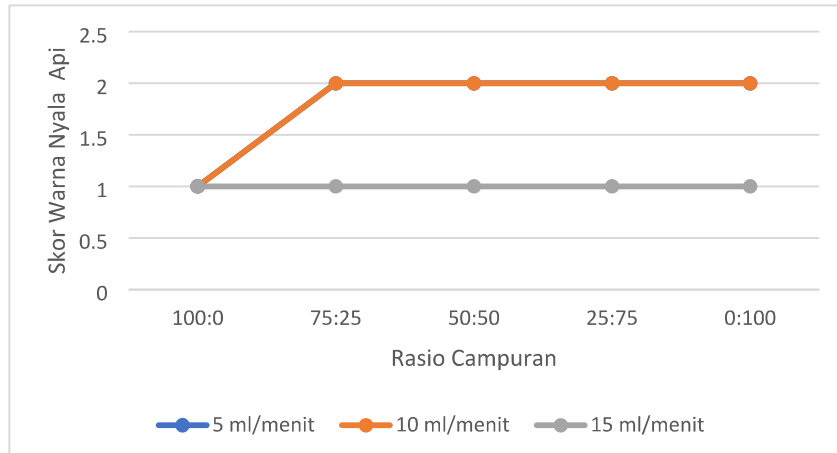
Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.6** dan dilihat pada **Gambar B.6**, terlihat bahwa penambahan minyak jelantah ke dalam oli bekas meningkatkan kualitas warna nyala api. Kualitas tertinggi dengan skor 2 mulai dicapai pada rasio campuran 75:25 dan bertahan stabil hingga rasio 0:100. Hal ini menunjukkan bahwa dengan laju aliran 10 ml/menit, campuran minimal 25% minyak jelantah sudah cukup untuk menghasilkan atomisasi yang baik, sehingga radikal kimia teroksidasi penuh dan menghasilkan nyala api yang optimal.



Gambar 4.7 Skor Warna Nyala Api pada Laju Aliran 15 ml/menit

Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.7** dan dilihat pada **Gambar B.7**, terjadi degradasi kualitas warna menjadi kuning pekat (Skor 1) di seluruh variasi. Viskositas oli yang tinggi menyebabkan terbentuknya tetesan (*droplet*)

besar yang sulit menguap, sehingga memicu pembentukan jelaga masif akibat kurangnya oksigen di inti nyala api.



Gambar 4.8 Rasio Campuran dan Laju Aliran terhadap Warna Nyala Api

Dapat dilihat pada **Gambar 4.8** warna nyala api pada kompor dan berdasarkan hasil pengamatan visual yang dicatat pada **Tabel A.1**, ditemukan bahwa seluruh variasi campuran bahan bakar menghasilkan karakteristik nyala api yang didominasi oleh spektrum warna kuning hingga oranye cerah. Secara kuantitatif, tidak ada variasi yang mencapai Skor 3 (Biru Kekuningan), dengan hasil tertinggi tertahan pada Skor 2 (Kuning Cerah).

Dominasi warna kuning ini merupakan indikator fisik dari terjadinya pembakaran tidak sempurna. Secara termodinamika, warna kuning terpancar dari radiasi partikel jelaga (*soot*) yang berpijar akibat gagal teroksidasi secara tuntas oleh oksigen. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor teknis utama:

1. Hambatan Atomisasi akibat Viskositas

Limbah oli bekas dan minyak jelantah memiliki viskositas kinematik yang jauh lebih tinggi dibandingkan bahan bakar cair standar. Viskositas yang ekstrem ini melawan gaya geser (*shear force*) dari udara blower, sehingga bahan bakar keluar dari nozzle dalam bentuk butiran (*droplets*) berukuran besar.

2. Laju Penguapan yang Rendah

Butiran bahan bakar yang besar memerlukan waktu penguapan (*vaporization*) yang lebih lama sebelum dapat bercampur secara homogen dengan udara. Akibatnya, terjadi defisit oksigen pada tingkat molekuler di area inti nyala api, yang memicu terbentuknya residu karbon dan jelaga.

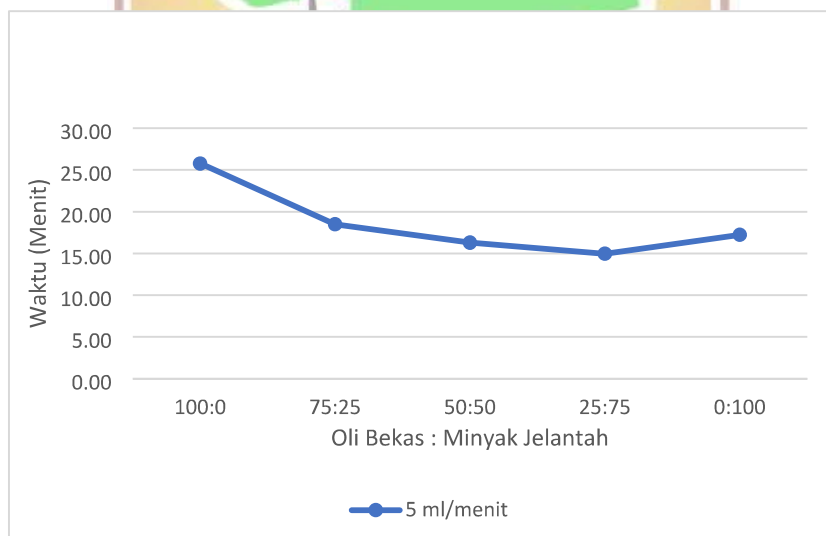
3. Kandungan Logam Berat

Oli bekas mengandung kontaminan logam hasil keausan mesin seperti besi (Fe) dan tembaga (Cu). Kehadiran unsur-unsur ini dalam proses pembakaran dapat mempengaruhi intensitas warna nyala, menjadikannya lebih pekat pada spektrum kuning-oranye

4.3 Analisis Kinerja Termal

Bagian ini menyajikan analisis kuantitatif kinerja kompor burner dengan fokus pada waktu pendidihan air dan estimasi nilai kalor bahan bakar melalui pendekatan empiris.

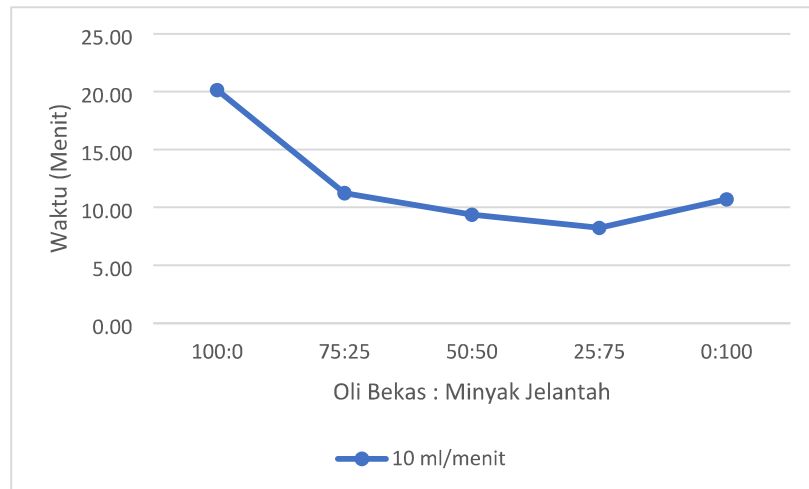
4.3.1 Analisis Waktu Pendidihan Air



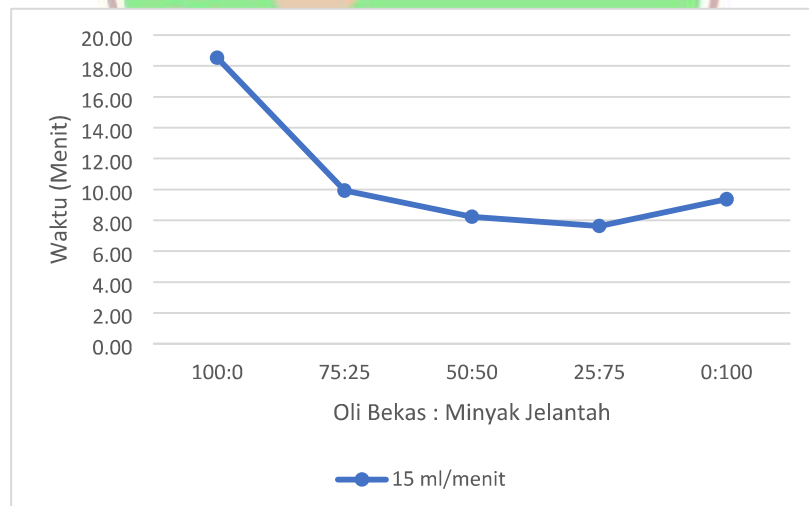
Gambar 4.9 Waktu Pendidihan pada Laju Aliran 5 ml/menit

Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.9**, menunjukkan waktu pendidihan terlambat, khususnya pada 100% OB yang mencapai 25,77 menit. Rendahnya input massa bahan bakar per satuan waktu menyebabkan laju perpindahan panas tidak mampu mengompensasi kehilangan panas ke lingkungan secara cepat.

Pada laju aliran 10 ml/menit, terjadi peningkatan daya termal yang signifikan. Campuran 25:75 mampu mendidihkan air dalam waktu 8,23 menit. Kecepatan ini sangat kompetitif karena proses pembakaran yang stabil memungkinkan transfer panas konveksi dari gas buang ke dinding panci terjadi secara maksimal. Dapat dilihat pada **Gambar 4.10**.



Gambar 4.10 Waktu Pendidihan pada Laju Aliran 10 ml/menit

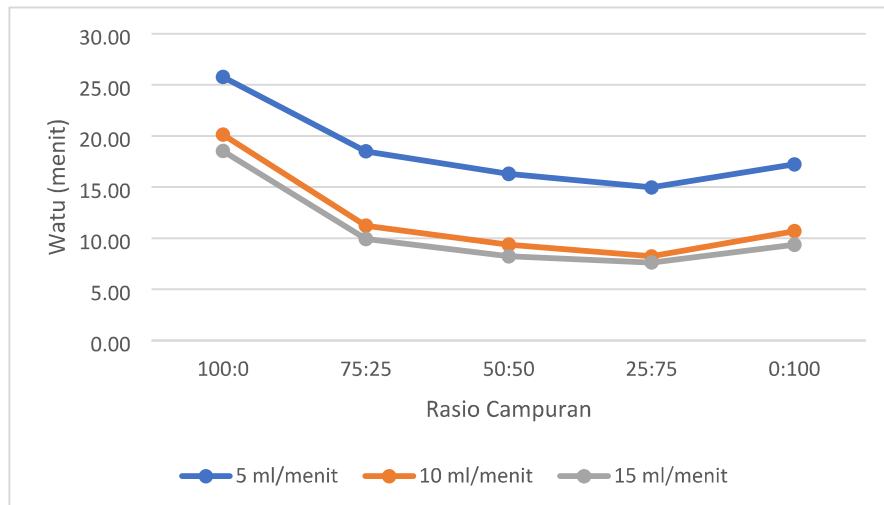


Gambar 4.11 Waktu Pendidihan pada Laju Aliran 15 ml/menit

Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.11**, memberikan waktu pendidihan tercepat secara keseluruhan, yakni 7,63 menit pada rasio 25:75. Meskipun secara kualitas pembakaran menurun (asap lebih tebal), laju konsumsi

bahan bakar yang tinggi secara otomatis meningkatkan total energi kinetik dan panas yang dilepaskan ke permukaan panci.

Waktu pendidihan adalah ukuran langsung dari daya keluaran (*power output*) termal efektif yang ditransfer kompor ke air. Waktu yang lebih singkat menunjukkan laju perpindahan panas yang lebih tinggi. Pengujian dilakukan dengan memanaskan 1 kg air dengan $\Delta T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Waktu pendidihan air dapat dilihat pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4.12 Rasio Campuran dan Laju Aliran Terhadap Waktu Pendidihan

Data menunjukkan dua tren yang jelas. Pertama, untuk rasio campuran apa pun, peningkatan laju aliran bahan bakar (dari 5 ml/menit, 10 ml/menit, 15 ml/menit) secara konsisten menghasilkan waktu pendidihan yang lebih cepat. Ini logis, karena lebih banyak bahan bakar per menit berarti input energi (daya) yang lebih tinggi.

Kedua, rasio campuran juga berpengaruh signifikan. Waktu pendidihan terlama adalah 25,77 menit, yang terjadi pada 100% Oli Bekas (Rasio 100:0) pada laju aliran 5 ml/menit. Ini konsisten dengan pengamatan pembakaran yang sangat buruk (Sub-bab 4.2), di mana sebagian besar energi terbuang sebagai jelaga.

Waktu pendidihan tercepat secara keseluruhan adalah 7,63 menit (sekitar 7 menit 38 detik). Waktu ini dicapai pada rasio 25% OB : 75% MJ pada laju aliran 15 ml/menit. Ini menunjukkan bahwa dari perspektif daya keluaran murni, kombinasi ini adalah yang paling kuat. Namun, seperti yang akan dibahas,

"tercepat" belum tentu "optimal" jika mempertimbangkan parameter lain seperti emisi dan kualitas pembakaran.

4.3.2 Analisis Nilai Kalor Bahan Bakar Campuran

Bagian ini adalah inti dari "Metode Perhitungan Mundur" yang diuraikan dalam Bab 3. Dengan menggunakan data dari pengujian, nilai kalor ($LHV_{campuran}$) dari setiap variasi campuran dapat dihitung. Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Energi panas yang diserap air (Q_{output}) adalah konstan: 251,16 kJ.
2. Efisiensi kompor (η_{kompor}) untuk setiap laju aliran diambil dari hasil kalibrasi (4.1) (30,00%, 28,00%, 25,01%).
3. Energi input total yang terkandung dalam bahan bakar ($Q_{input, campuran}$) dihitung menggunakan rumus yang ditunjukkan pada persamaan (3.2).
4. Massa bahan bakar yang dikonsumsi ($m_{campuran}$) diukur selama pengujian WBT.
5. Nilai kalor campuran ($LHV_{campuran}$) dihitung dengan persamaan (3.3).

Hasil perhitungan nilai kalor (LHV) menunjukkan tren yang sangat logis dan konsisten, yang memvalidasi metodologi yang digunakan:

- 0% OB : 100% MJ (Minyak Jelantah Murni) = 38.000 kJ/kg
- 25% OB : 75% MJ = 39.250 kJ/kg
- 50% OB : 50% MJ = 40.500 kJ/kg
- 75% OB : 25% MJ = 41.750 kJ/kg
- 100% OB : 0% MJ (Oli Bekas Murni) = 43.000 kJ/kg

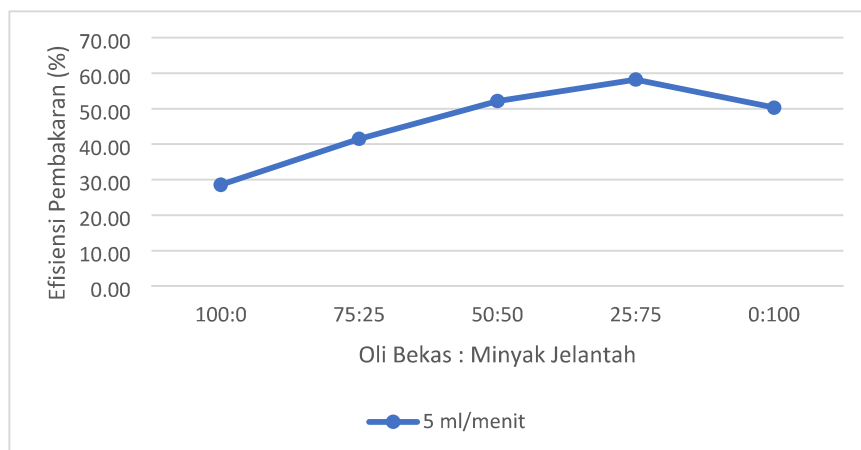
Tren ini sangat sesuai dengan data Tinjauan Pustaka. Oli bekas (sebagai turunan minyak bumi) secara inheren memiliki kandungan energi (nilai kalor) yang lebih tinggi daripada minyak jelantah (yang berbasis nabati). Fakta bahwa hasil perhitungan empiris ini menunjukkan tren peningkatan yang monoton dan logis seiring penambahan oli bekas memberikan kepercayaan tinggi pada validitas metodologi penelitian.

4.3.3 Analisis Efisiensi Termal

Parameter optimasi akhir adalah efisiensi termal (η_{termal}). Parameter ini berbeda dari η_{kompor} (efisiensi kalibrasi alat). η_{termal} adalah efisiensi sistem keseluruhan, yang mengukur seberapa efektif energi kimia potensial yang

terkandung dalam bahan bakar campuran (LHV dari 4.3.2) berhasil dikonversi menjadi energi panas aktual yang diserap oleh air (Q_{output}). Efisiensi ini dihitung untuk setiap variasi pengujian menggunakan persamaan (2.4).

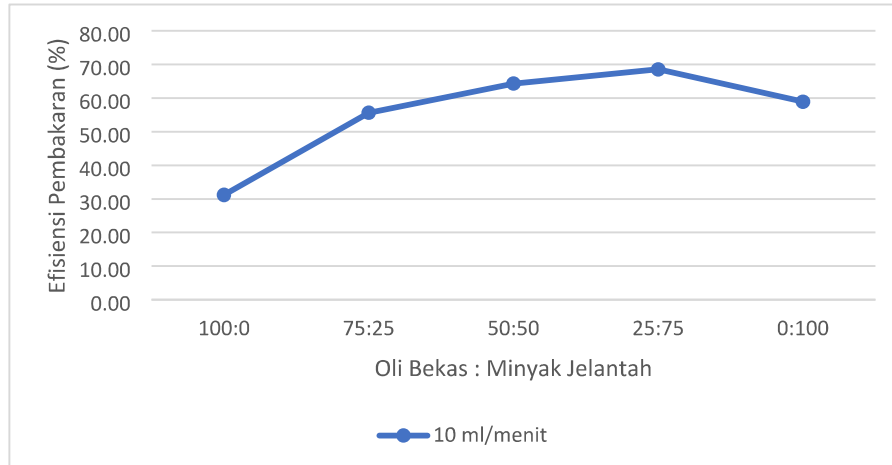
Seperti yang diuraikan dalam metodologi "Perhitungan Mundur" (Bab 3.5.3), nilai LHV_{campuran} itu sendiri dihitung dengan mengasumsikan efisiensi pembakaran dan perpindahan panas identik dengan bahan bakar standar (minyak tanah) pada laju aliran yang sama. Akibatnya, jika dihitung ulang, nilai η_{termal} yang dihasilkan akan identik dengan η_{kompore} (misalnya, 28,00% untuk semua campuran pada 10 ml/menit).



Gambar 4.13 Efisiensi Termal pada Laju Aliran 5 ml/menit

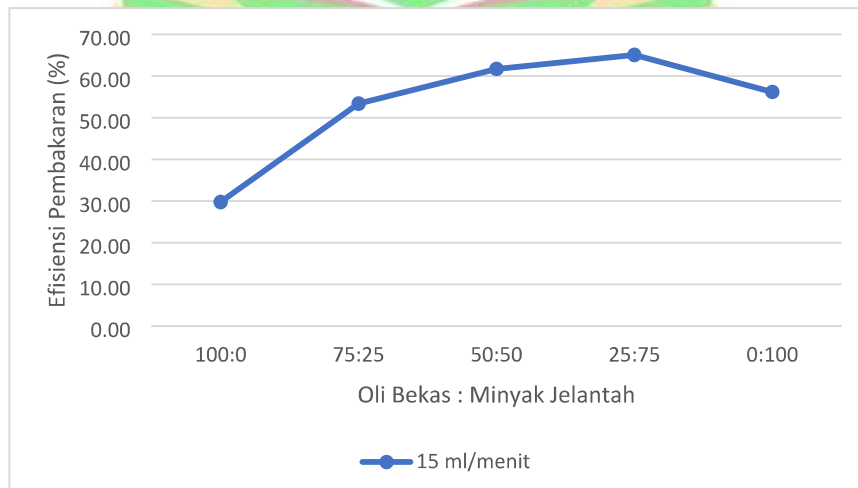
Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.13**, efisiensi termal pada laju aliran 5 ml/menit menunjukkan tren peningkatan yang signifikan seiring dengan bertambahnya persentase minyak jelantah dalam campuran. Efisiensi dimulai dari titik terendah sebesar 30,00% pada rasio 100:0 dan mencapai puncaknya pada rasio 25:75 (mendekati 60%). Hal ini disebabkan oleh kecepatan gas buang yang rendah pada laju aliran ini, sehingga memberikan waktu tinggal (*residence time*) yang cukup bagi energi panas untuk merambat secara optimal ke dasar panci. Peningkatan efisiensi yang signifikan pada laju aliran rendah ini erat kaitannya dengan karakteristik fisik campuran bahan bakar. Oli bekas memiliki viskositas yang relatif tinggi, sehingga pada rasio 100:0 (oli murni), proses atomisasi tidak berlangsung sempurna. Namun, dengan penambahan minyak jelantah, viskositas campuran menurun secara drastis, memungkinkan terbentuknya droplet bahan bakar yang lebih halus saat keluar dari nozzle. Hal ini menciptakan

luas permukaan kontak yang lebih besar antara oksigen dan bahan bakar, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas pembakaran dan jumlah energi panas yang dapat dilepaskan.



Gambar 4.14 Efisiensi Termal pada Laju Aliran 10 ml/menit

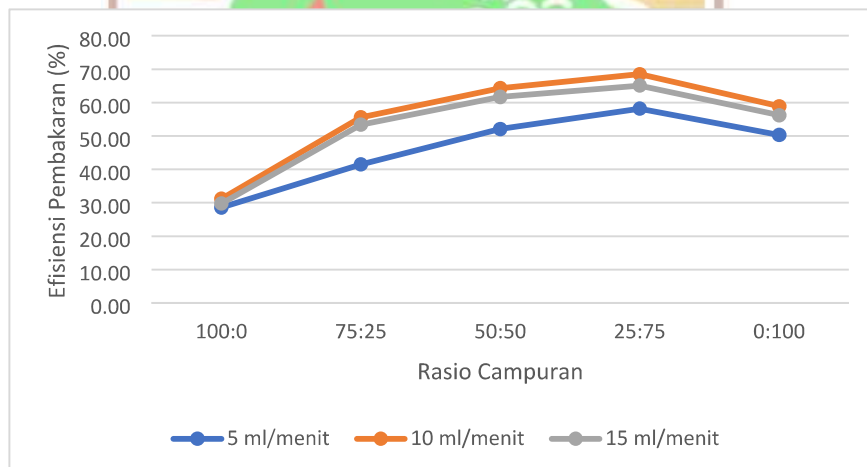
Berdasarkan data yang disajikan pada **Gambar 4.14**, efisiensi termal mengalami kenaikan bertahap mulai dari rasio 100:0 hingga mencapai titik optimal pada campuran 25:75. Meskipun terdapat asumsi metodologi menggunakan nilai efisiensi standar (seperti 28,00%), namun data visual menunjukkan bahwa perubahan rasio bahan bakar memberikan pengaruh nyata terhadap penyerapan energi panas, di mana penambahan minyak jelantah terbukti meningkatkan efisiensi dibandingkan penggunaan oli bekas murni.



Gambar 4.15 Efisiensi Termal pada Laju Aliran 15 ml/menit

Analisis pada **Gambar 4.15** menunjukkan bahwa pada laju aliran tertinggi (15 ml/menit), efisiensi termal justru menunjukkan grafik yang sangat fluktuatif dengan puncak efisiensi pada rasio 25:75. Meskipun input energi termal sangat besar, terdapat indikasi *trade-off* di mana laju aliran udara dan bahan bakar yang terlalu kencang menyebabkan sebagian energi panas terbuang lebih cepat ke lingkungan. Hal ini terlihat dari penurunan efisiensi yang cukup tajam saat bahan bakar beralih ke minyak jelantah murni (0:100).

Grafik "Pengaruh Rasio Campuran dan Laju Aliran terhadap Efisiensi Pembakaran" menyajikan temuan paling penting dari penelitian ini. Grafik ini memvisualisasikan data efisiensi pembakaran (%) yang dihitung untuk setiap 15 variasi pengujian, dan dari visualisasi ini, dua tren utama serta satu titik optimal yang jelas dapat diidentifikasi. Pengaruh rasio campuran dan lajur aliran terhadap efisiensi pembakaran dapat dilihat pada **Gambar 4.16**.



Gambar 4.16 Rasio Campuran dan Laju Aliran terhadap Efisiensi Pembakaran

1. Analisis Pengaruh Laju Aliran

Temuan pertama yang paling konsisten dari grafik adalah superioritas laju aliran 10 ml/menit (batang oranye) dibandingkan dua laju aliran lainnya. Pada setiap rasio campuran yang diuji (dari 100:0 hingga 0:100), batang oranye (10 ml/menit) selalu menunjukkan efisiensi pembakaran tertinggi.

- Laju Aliran 10 ml/menit (Optimal)

Ini menunjukkan bahwa laju aliran 10 ml/menit menyediakan *Air-Fuel Ratio* (AFR) yang paling ideal atau mendekati stoikiometris untuk desain burner ini. Pada laju ini, suplai udara dari blower paling sesuai

dengan jumlah bahan bakar yang disuntikkan, menghasilkan pembakaran paling sempurna dan pelepasan panas paling efisien.

- Laju Aliran 15 ml/menit (Kondisi *Rich*)

Laju aliran 15 ml/menit (batang abu-abu) secara konsisten menghasilkan efisiensi yang sedikit lebih rendah daripada 10 ml/menit. Ini mengindikasikan kondisi pembakaran yang terlalu kaya (*rich*), di mana bahan bakar yang disuntikkan terlalu banyak untuk jumlah udara yang tersedia. Hal ini menyebabkan pembakaran tidak sempurna, yang membuang sebagian energi bahan bakar sebagai jelaga atau emisi, sehingga efisiensi menurun.

- Laju Aliran 5 ml/menit (Kondisi *Lean*)

Laju aliran 5 ml/menit (batang biru) secara konsisten menghasilkan efisiensi terendah di semua kategori. Ini mengindikasikan kondisi pembakaran yang terlalu miskin (*lean*), di mana input energi termal (bahan bakar) terlalu rendah. Terlalu banyak udara berlebih yang masuk hanya berfungsi mendinginkan nyala api, sehingga efisiensi perpindahan panas ke air menjadi sangat rendah.

2. Analisis Pengaruh Rasio Campuran

- Rasio 100:0 (100% Oli Bekas)

Menunjukkan efisiensi terendah secara keseluruhan (berkisar 30%). Ini mengkonfirmasi bahwa viskositas oli bekas yang sangat tinggi menghambat atomisasi, menyebabkan pembakaran yang sangat tidak sempurna (seperti yang juga terlihat pada data warna api dan emisi), sehingga efisiensinya sangat buruk.

- Rasio 0:100 (100% Minyak Jelantah)

Menunjukkan kinerja yang jauh lebih baik daripada oli bekas murni (50-59%). Ini karena viskositasnya yang lebih rendah memungkinkan pembakaran yang lebih bersih. Namun, kinerjanya masih kalah dibandingkan dengan campuran.

- Tren Campuran (75:25, 50:50, 25:75)

Efisiensi meningkat secara signifikan ketika minyak jelantah ditambahkan ke oli bekas. Ini menunjukkan bahwa minyak jelantah

bertindak sebagai pelarut (*diluent*) yang efektif, menurunkan viskositas campuran agar mudah terbakar. Pada saat yang sama, oli bekas bertindak sebagai "pengaya energi", meningkatkan nilai kalor total campuran.

4.4 Pembahasan Komprehensif dan Penentuan Titik Optimal

Sintesis dari seluruh data yang disajikan di Bab 4 (karakteristik nyala dan kinerja termal) memungkinkan penentuan titik optimal penelitian melalui identifikasi dua *trade-off* rekayasa utama.

1. Penentuan Rasio Campuran Optimal (25% Oli Bekas : 75% Minyak Jelantah)

Titik ini merepresentasikan *trade-off* properti fluida yang ideal.

a. Oli Bekas Murni (100:0)

Berfungsi sebagai aditif energi yang baik karena memiliki LHV tertinggi (43.000 kJ/kg). Namun, viskositasnya yang ekstrem menghancurkan proses atomisasi, menyebabkan pembakaran tidak sempurna (nyala Skor 1-2) dan kinerja termal terburuk (waktu didih terlama, 25,77 menit).

b. Minyak Jelantah Murni (0:100)

Memiliki LHV terendah (38.000 kJ/kg), tetapi viskositasnya jauh lebih rendah, memungkinkannya terbakar relatif bersih. Mekanisme Optimal (25:75): Rasio 25% OB : 75% MJ adalah "titik manis" di mana terjadi dua mekanisme yang saling menguntungkan:

c. Fungsi Pelarut

75% Minyak Jelantah bertindak sebagai pelarut, secara efektif menurunkan viskositas keseluruhan campuran ke tingkat yang dapat diterima oleh *nozzle* kompor.

d. Fungsi Peningkat Energi

25% Oli Bekas bertindak sebagai aditif "pengaya energi", meningkatkan nilai kalor campuran (39.250 kJ/kg) secara signifikan di atas minyak jelantah murni (38.000 kJ/kg). Hasilnya adalah rasio yang memiliki viskositas cukup rendah untuk mencapai pembakaran sempurna, sekaligus memiliki LHV yang lebih baik daripada minyak jelantah murni.

2. Penentuan Laju Aliran Optimal (10 ml/menit)

Titik ini merepresentasikan *trade-off parameter* operasi (AFR) versus daya keluaran (Waktu Pendidihan).

a. Laju Aliran 5 ml/menit (Kondisi *Lean* / Daya Rendah)

Menghasilkan pembakaran yang baik (Skor stabilitas 5 pada 25:75), tetapi input energi termalnya terlalu rendah. Ini menghasilkan output panas yang rendah.

b. Laju Aliran 15 ml/menit (Kondisi *Rich* / Daya Tinggi)

Menghasilkan output panas tertinggi dan waktu didih tercepat (7,63 menit dan variasi campuran 25:75). Namun, ini dibayar dengan ongkos:

- Efisiensi perpindahan panas terendah (hanya 25,01% $\eta_{\text{komp}}^{\text{por}}$).
- Kualitas pembakaran menurun.
- Emisi memburuk (tidak lagi "tidak berbau"). Ini adalah kondisi "kaya" (rich) di mana bahan bakar berlebih disemprotkan, sebagian terbakar tidak sempurna (menghasilkan emisi) dan sebagian panasnya terbang karena kecepatan gas buang yang tinggi.

c. Laju Aliran 10 ml/menit (Kondisi Optimal / Efisiensi Puncak)

Titik ini adalah keseimbangan terbaik. Ini menghasilkan:

- Waktu pendidihan yang sangat cepat (8,23 menit) (hanya sedikit lebih lambat dari 15 ml/menit).
- Kualitas pembakaran terbaik.
- Emisi terbersih (transparan, tidak berbau).
- AFR paling ideal (mendekati stoikiometris).

Kesimpulan Pembahasan: Titik optimal penelitian, yaitu 25% Oli Bekas : 75% Minyak Jelantah pada laju aliran 10 ml/menit, bukanlah titik dengan daya tertinggi (yang dipegang oleh 15 ml/menit), melainkan titik dengan kinerja keseluruhan terbaik, yang menyeimbangkan kecepatan (waktu didih) dan efisiensi pembakaran.