



Analisis Efisiensi Pembakaran pada *Burner* Berbahan Bakar LNG dalam Menghasilkan Uap Panas

Combustion Efficiency Analysis of LNG-Fueled Burners in Producing Hot Steam

Vini Noviani¹, Tarya¹, Yosa Nizar Fernanta¹, Choirul Anwar¹, Amri Abdulah¹, Irwan Suriaman^{1,*}

¹ Program Studi Teknik Mesin, STT Wastukancana, Purwakarta, Indonesia

Abstrak: Pembakar pada mesin *Continuous Sheet Line* (CSL) berperan penting dalam menghasilkan panas untuk proses produksi baja. Namun, dalam kondisi operasional, masalah seperti ledakan dan pembakaran tidak sempurna sering ditemukan akibat rasio udara-gas yang tidak sempurna. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja pembakar berbahan bakar LNG pada tungku CSL, mengevaluasi pengaruh Air Flue Ratio (AFR), distribusi udara dan gas terhadap efisiensi pembakaran di setiap zona, dan mengkaji peran material casing sebagai isolator terhadap efisiensi termal tungku. Data yang dipelajari meliputi tekanan gas dan udara, laju alir, temperatur tungku, dan konsumsi LNG. Perhitungan dilakukan untuk menentukan laju alir gas, laju alir udara, Q_{input} , $Q_{thermal}$, AFR, dan efisiensi pembakar di setiap zona (H2-D dan H2-W). Selain itu, analisis termal dilakukan pada berbagai material isolasi seperti papan serat keramik, kalsium silikat, dan silika mikropori untuk mengkaji pengaruhnya terhadap kehilangan panas akibat konduksi dan radiasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi pembakar tidak selalu berbanding lurus dengan nilai AFR teoritis. Pada zona H2-D dengan AFR yang relatif tinggi (12,55–15,56), efisiensinya mencapai 69%–82%, sedangkan pada zona H2-W dengan AFR yang lebih rendah (10,86–11,96) efisiensinya menurun menjadi 59%–63%. Selain itu, pada beberapa zona seperti zona 1, 7, dan 8, terdapat penyimpangan rasio udara-gas dari nilai ideal, dengan laju aliran udara rata-rata yang lebih rendah dari standar teoritis. Dari sisi termal, penggunaan material insulasi dengan konduktivitas rendah seperti silika mikropori mampu mengurangi kehilangan panas hingga lebih dari 80% dibandingkan material standar. Peningkatan ketebalan insulasi juga terbukti dapat mengurangi kehilangan panas hingga 50%, terutama pada area dengan paparan panas tinggi.

Kata kunci: Ruang bakar; energi; efisiensi; pembakaran; kerugian panas

Abstract: The burner in the *Continuous Sheet Line* (CSL) machine plays a crucial role in generating heat for the steel production process. However, under operational conditions, problems such as explosion and imperfect combustion are often found due to imperfect air-gas ratios. This study aims to analyze the performance of LNG-fueled burners in CSL furnaces, evaluate the influence of Air Flue Ratio (AFR), air and gas distribution on combustion efficiency in each zone, and assess the role of casing materials as insulators on furnace thermal efficiency. The data studied included gas and air pressure, flow rate, furnace temperature, and LNG consumption. Calculations are performed to determine gas flow, airflow, Q_{input} , $Q_{thermal}$, AFR, and burner efficiency in each zone (H2-D and H2-W). In addition, thermal analysis was performed on various insulating materials such as ceramic fiberboard, calcium silicate, and micropore silica to assess their effect on heat loss due to conduction and radiation. The results show that burner efficiency is not always directly proportional to the theoretical AFR value. In the H2-D zone with a relatively high AFR (12.55–15.56), the efficiency reached 69%–82%, while in the H2-W zone with a lower AFR (10.86–11.96) the efficiency decreased to 59%–63%. In addition, in some zones such as zones 1, 7, and 8, there is an aberration of the air-gas ratio from the ideal value, with the average airflow being lower than the theoretical standard. From the thermal side, the use of insulation materials with low conductivity such as microporous silica is able to reduce heat loss by more than 80% compared to standard materials. Increased insulation thickness has also been shown to reduce heat loss by up to 50%, especially in areas with high heat exposure.

Keywords: Burner; energy; efficiency; combustion; heat loss

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya kesadaran akan efisiensi energi, industri terus berupaya untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dalam proses produksinya.

¹ *Corresponding author : irwansuriaman@wastukancana.ac.id

<https://doi.org/10.51132/teknologika.v15i2.541>

Received : 14-10-2025

Accepted : 16-10-2025

Available online : 30-11-2025

Salah satu komponen penting dalam sistem pemanasan industri adalah pembakar, yang merupakan alat penghasil haba melalui proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar [1, 2, 3]. Pada mesin *Continuous Sheet Line* (CSL), pembakar berfungsi sebagai sumber panas utama yang digunakan untuk memanaskan lembaran baja pada tahap proses produksi. Proses ini sangat penting karena mempengaruhi kekuatan, ketahanan deformasi, dan kualitas akhir dari produk baja yang dihasilkan. Namun, dalam kondisi operasional, berbagai masalah sering muncul seperti pembakaran yang tidak sempurna dan ledakan pada pembakar. Fenomena ini disebabkan oleh rasio udara dan gas yang tidak ideal, yang mengakibatkan nyala api yang tidak stabil dan penurunan efisiensi pembakaran. Pembakaran yang tidak lengkap juga menghasilkan gas buang yang mengandung jelaga dan asap hitam tebal. Kondisi ini tidak hanya mengurangi efisiensi energi, tetapi juga berdampak negatif pada lingkungan melalui peningkatan emisi karbon serta potensi risiko keselamatan bagi pekerja dan peralatan produksi [4, 5, 6].

Untuk mencapai hasil pembakaran yang optimal, industri umumnya menggunakan bahan bakar gas alam seperti *Liquefied Natural Gas* (LNG). LNG adalah campuran hidrokarbon alami yang didominasi oleh metana (CH_4), dengan kandungan lain seperti C_2^+ , N_2 , CO_2 , He, dan H_2S tergantung pada sumbernya [8, 9, 10]. LNG dikenal sebagai bahan bakar fosil terbersih dan paling efisien, dan memiliki karakteristik yang aman saat disimpan atau diangkut. Meskipun demikian efisiensi pembakaran tetap sangat bergantung pada keseimbangan pasokan udara dan gas yang masuk ke pembakar. Jumlah LNG yang masuk ke ruang bakar akan menjadi penentu terkait apakah pembakaran yang terjadi merupakan proses pembakaran kaya atau proses pembakaran miskin. Proses pembakaran kaya merupakan kondisi *burner* yang didominasi LNG, sedangkan proses pembakaran miskin apabila ruang bakar didominasi oleh udara pembakaran. Proses pembakaran dalam ruang bakar akan menentukan tingkat efisiensi yang terjadi. Ketidakseimbangan antara keduanya dapat menyebabkan inefisiensi energi, nyala api yang tidak stabil, dan pemborosan bahan bakar [11, 12, 13, 15].

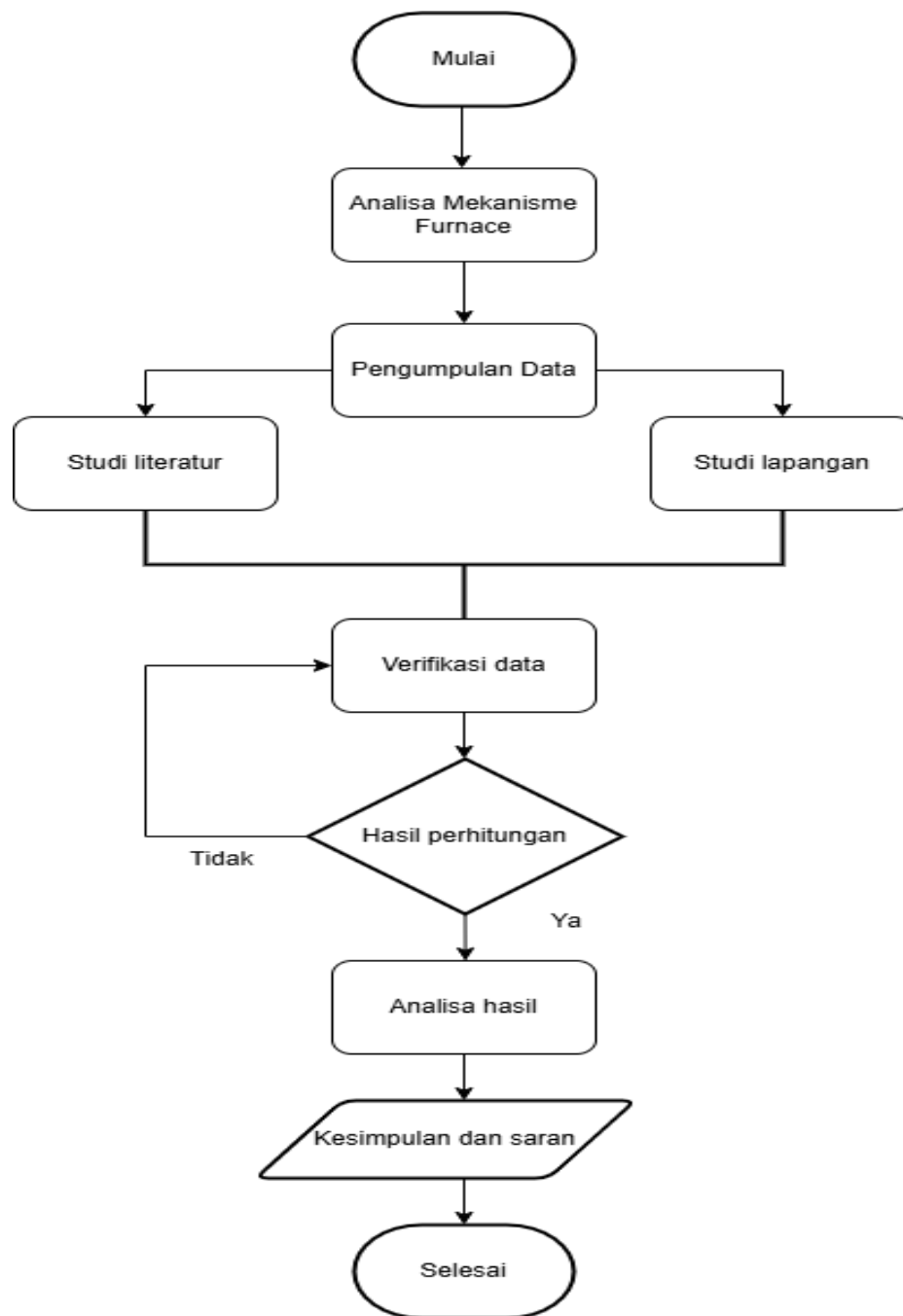
Selain masalah dengan sistem pembakaran, efisiensi panas tungku juga dipengaruhi oleh sistem isolasi termal. Tungku sendiri merupakan tungku industri yang berfungsi untuk menghasilkan suhu tinggi melalui proses pembakaran. Komponen-komponen ini digunakan di berbagai sektor, seperti manufaktur, metalurgi, dan pembangkit listrik [16, 17, 18]. Dalam struktur tungku, bahan isolator memainkan peran penting dalam menekan kehilangan panas akibat konduksi dan radiasi. Jenis isolator yang umum digunakan termasuk serat keramik, kalsium silikat, *glasswool*, dan lapisan *steel stainless*. Setiap bahan memiliki karakteristik konduktivitas termal dan ketahanan panas yang berbeda, sehingga pemilihan jenis dan ketebalan isolator sangat menentukan efisiensi termal pada sistem ruang bakar secara keseluruhan [2, 7, 8, 10, 15].

Masalah yang sering dihadapi dalam tungku industri adalah ketidakcocokan antara suhu parameter dan suhu sebenarnya di tungku. Kondisi ini menyebabkan konsumsi bahan bakar menjadi lebih tinggi dari yang seharusnya. Oleh itu analisis pengaruh bahan selubung sebagai penebat dan prestasi pembakar berbahan bakar LNG adalah perkara penting yang perlu dilakukan. Analisis ini akan memberikan gambaran tingkat energi yang dihasilkan dalam ruang bakar, selain itu akan memberikan data yang akurat terkait jumlah bahan bakar yang digunakan dan kebutuhan udara pembakaran. Dengan memahami mekanisme pembakaran, rasio udara-gas, dan karakteristik isolator termal, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, mengurangi kehilangan panas, mengurangi emisi karbon, dan menjaga stabilitas suhu tungku [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26].

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bagan Alur Penelitian

Tahapan Penelitian dapat dijabarkan pada Gambar 1. Riset dilakukan dengan tahap awal melakukan studi lapangan di area burner, kemudian melakukan pengumpulan data lalu dianalisis. Data yang sudah dianalisa kemudian disajikan dalam makalah untuk dipublikasi.



Gambar 1. Flowchart Riset dengan Tahapan Studi Lapangan Sampai Penulisan Makalah.

2.2 Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada burner yang tampak pada Gambar 2, dengan bahan bakar LNG untuk menghasilkan uap panas. Uap panas ini digunakan dalam proses pelapisan material pada kondisi temperatur dan ketebalan sesuai dengan permintaan konsumen. Dalam penelitian ini dilakukan pada 14 area burner pada tipe *Continuous Sheet Line* (CSL) pada 2 tipe burner yaitu zona D dan W. Pada burner ini saluran bahan bakar diinjeksi melalui *nozle* dengan udara bahan bakar yang disalurkan pada pipa udara pembakaran dengan bantuan *blower*. Sistem ini menghasilkan uap panas yang digunakan untuk menjaga temperatur di ruang pelapisan material. Data yang diambil pada burner meliputi jumlah konsumsi bahan bakar dan jumlah udara pembakaran yang digunakan. Selain itu juga diamati proses pembakaran yang menghasilkan uap panas dari pembakaran di *burner*.



Gambar 2. Objek Penelitian *Burner* CSL untuk Pengambilan Data Selama Proses Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Efisiensi Setiap Pembakar

Efisiensi pembakar menunjukkan berapa banyak energi panas yang berhasil dimanfaatkan dari total energi yang tersedia dari bahan bakar LNG. Faktor-faktor seperti kapasitas pembakar, laju aliran gas LNG dan udara pembakaran, serta suhu tungku di dalam dan di luar merupakan parameter penting dalam analisis kinerja *burner* CSL.

3.1.1 Menentukan Aliran Gas dan Aliran Udara

Aliran gas adalah laju aliran bahan bakar gas yang melewati pipa menuju pembakar, Aliran udara adalah laju aliran udara pembakaran yang masuk ke pembakar per satuan waktu. Udara ini merupakan sumber oksigen (O_2) yang bereaksi dengan bahan bakar untuk menghasilkan panas. Jumlah aliran udara akan menentukan Rasio Bahan Bakar Udara (AFR) dan Kelebihan Udara (EA), yang sangat mempengaruhi efisiensi pembakaran [26, 27, 28, 29, 30].

$$Q = 3600 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \right) \cdot C_d \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

Q = Laju aliran volumetrik, m^3/jam

3600 = Faktor konversi dari jam ke detik

β = Rasio diameter lubang dengan diameter pipa ($\beta = \frac{d}{D}$)

C_d = Koefisien pelepasan

A = Luas penampang lubang, m^2

ΔP = Perbedaan tekanan, Pa (N/m^2)

ρ = Kepadatan fluida, kg/m^3

3.1.2 Menentukan $Q_{thermal}$

$Q_{thermal}$ adalah jumlah energi panas yang sebenarnya diserap oleh material/proses dari pembakaran bahan bakar [31, 32, 33, 34].

$$Q_{thermal} = m \cdot c_p \cdot (T_{akhir} - T_{awal}) \quad (2)$$

m = Massa bahan yang dipanaskan

c_p = Panas tipe rata-rata material, $kJ/(kg \cdot K)$ atau $kcal/(kg \cdot ^\circ C)$

ΔT = Perubahan suhu material ($T_{akhir} - T_{awal}$), $^\circ C$

t = Waktu proses pemanasan, jam

3.1.3 Menentukan Q_{input}

Q_{input} adalah total energi panas yang tersedia dari pembakaran bahan bakar yang masuk ke sistem (tungku atau pembakar) sebelum kehilangan panas terjadi [6, 23, 35, 36, 37].

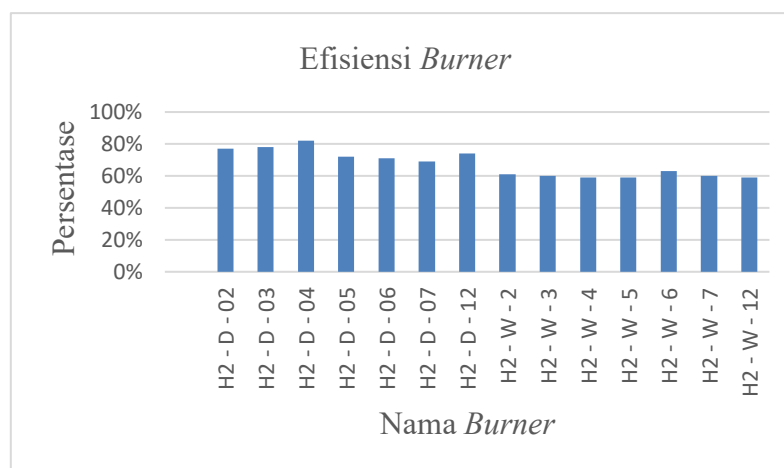
$$Q_{input} = Flow\ gas \times LHV \quad (3)$$

Aliran gas = Laju aliran bahan bakar, Nm^3/jam

LHV = Nilai Pemanasan Lebih Rendah, kJ/Nm^3 atau kJ/kg .

3.1.4 Menentukan Efisiensi *Burner*

$$(\eta) = \frac{Q_{thermal}}{Q_{input}} \times 100\% \quad (4)$$



Gambar 3. Distribusi Efisiensi *Burner* CSL yang Terjadi pada Tipe D dan W. Efisiensi *Burner* Tertinggi pada Tipe D Sebesar 82%. *Burner* Tipe W Efisiensi Tertinggi pada 63%.

Pada Gambar 3 dapat dijelaskan terkait efisiensi pada *Burner*. Pada *burner* ada 2 jenis yaitu tipe D dan tipe W. Untuk *burner* tipe D yaitu H2-D-02 hingga H2-D-12 memiliki efisiensi antara (69–82)% dengan rata-rata (74–75)%. Efisiensi tertinggi pada 82% di H2-D-04 terjadi karena pencampuran gas LGN dengan udara pembakaran yang optimal, sedangkan efisiensi terendah pada 69% di H2-D-07 disebabkan oleh ketidakseimbangan pasokan udara pembakaran dan bahan bakar LNG yang tinggi.

Burner tipe W yaitu H2-W-2 hingga H2-W-12 menunjukkan efisiensi yang lebih rendah, yaitu (59–63)% dengan rata-rata (60–61)%. Nilai tertinggi pada 63% untuk H2-W-6 dipengaruhi oleh pasokan udara pembakaran yang stabil, sedangkan efisiensi terendah yaitu 59% untuk *burner* H2-W-4, H2-W-5, dan H2-W-12 menunjukkan udara berlebih dan distribusi panas yang tidak merata.

3.2 Penggunaan gas pada pembakar di setiap zona

Burner untuk mesin CSL menggunakan *burner* tipe gcwr b/e 160 sebesar 167 pcs dengan data distribusi *burner* dibagi menjadi 8 zona dan setiap zona dibagi dua sisi posisi *burner* yaitu *sisi operator* (OP) dan *drive side* (DS) dengan rincian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi *Burner* Untuk Pengambilan Data Penelitian.

Zona <i>Burner</i>	Jumlah <i>Furnance</i>	Posisi <i>Burner</i>	
		OP	DS
1	24	12	12
2	24	12	12
3	24	12	12
4	24	12	12
5	24	12	12
6	15	9	6
7	16	8	8
8	16	8	8

3.2.1 Laju aliran fluida

Pelat lubang adalah perangkat yang berfungsi untuk mengukur dan mengontrol aliran fluida. Dalam mengontrol aliran, pelat lubang digunakan sebagai penghalang untuk mengatur aliran fluida, atau mengurangi tekanan aliran pada ujungnya. Rumus aliran lubang digunakan untuk menghitung tekanan pada saluran perpipaan gas dan udara sehingga diperoleh nilai (Δp) dan kemudian digunakan untuk menghitung aliran gas dan udara pada pembakar [38, 39, 40, 41].

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{\frac{2 \Delta p}{P}} \quad (5)$$

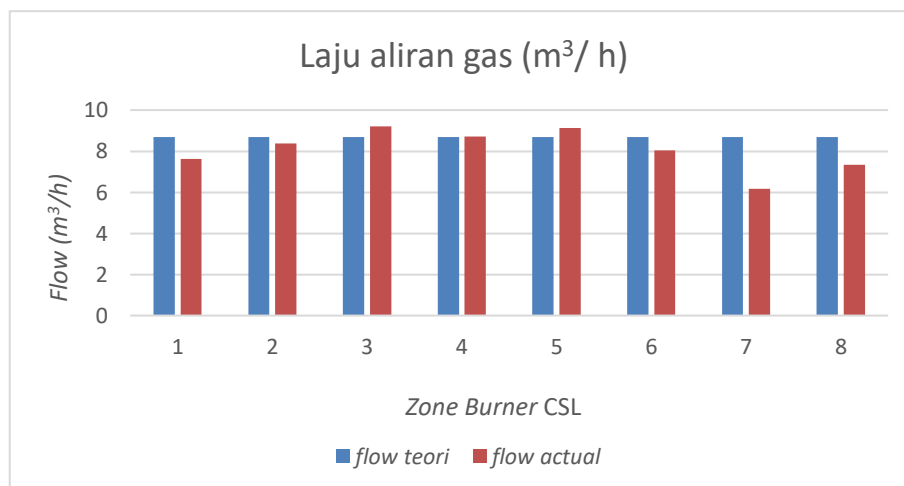
Q = Laju aliran (m^3/s)

C_d = Koefisien pertukaran atau koefisien arus keluar Hi

A = Luas penampang lubang = $\frac{\pi}{4} \times d^2$

Δp = Perbedaan tekanan (Pa)

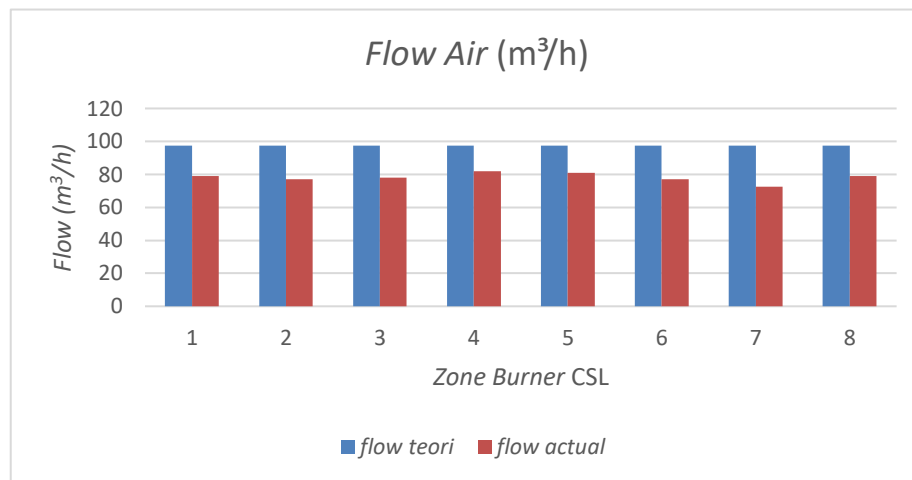
P = Kepadatan fluida (kg/m^3)



Gambar 4. Aliran Gas Rata-Rata pada Zona *Burner* CSL. Data Komparasi Laju Aliran Gas LNG secara Teoritis terhadap Laju Aliran Gas Aktual pada *Burner*.

Pada Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa aliran gas rata-rata paling normal terjadi pada zona 4 dengan aliran gas per pembakar yang rendah sebesar $8,72 \text{ m}^3/\text{jam}$. Untuk aliran terkecil terdapat pada zona 7 dengan aliran gas rata-rata untuk tiap pembakaran sebesar $6,18 \text{ m}^3/\text{jam}$. Sedangkan aliran gas

terbesar terdapat pada zona 3 dengan aliran gas rata-rata untuk tiap proses pembakaran sebesar 9,21 m³/jam dari target teoritis sebesar 8,70 m³/jam.



Gambar 5. Aliran Udara Rata-Rata pada Zona *Burner*. Data Komparasi Laju Aliran Udara secara Teoritis terhadap Laju Aliran Udara Pembakaran Aktual pada *Burner*.

Pada Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa rata-rata aliran udara aktual tidak setara dengan aliran udara teoritis dengan pencapaian nilai aliran tertinggi terjadi pada zona 4 dengan angka 82 m³/jam dan aliran udara terkecil terjadi pada zona 7 dengan aliran rata-rata 72,67 m³/jam.

3.3 Menentukan Kehilangan Panas

Kehilangan panas adalah fenomena perpindahan panas dari sistem suhu tinggi ke lingkungan bersuhu lebih rendah karena perbedaan suhu. Dalam konteks industri, terutama dalam sistem pemanas pada tungku, kehilangan panas merupakan salah satu parameter penting yang secara langsung mempengaruhi efisiensi energi dan konsumsi bahan bakar LNG. Pada yang hilang pada tungku dapat melalui dua mekanisme panas yaitu akibat panas radiasi dari burner dan akibat panas konduksi dari insulasi pada sistem burner [12, 35, 38, 40].

3.3.1 Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik, terutama terjadi pada suhu tinggi di burner [4, 15, 19]. Proses ini tidak memerlukan media, dan mengikuti hukum Stefan-Boltzmann:

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{amb}^4) \quad (6)$$

ε = emisivitas

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann

A = Luas permukaan

T_s^4 = Suhu permukaan objek

T_{amb}^4 = Suhu sekitar

3.3.2 Komparasi Ketebalan Insulasi Dinding pada Burner

Untuk menjaga temperatur dalam *burner* maka dalam riset ini dilakukan simulasi penggunaan insulasi untuk menjaga kondisi *burner* agar tidak terjadi kerugian panas. Komparasi ini dapat

dijabarkan pada Tabel 2 dengan diberikan beberapa variasi ketebalan dan berdampak kehilangan panas yang dapat semakin ditekan dengan penambahan ketebalan insulasi yang digunakan [25, 30, 35].

$$Q_{konduksi} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{x} \quad (7)$$

$Q_{konduksi}$ = laju kehilangan panas konduksi (W)

k = konduktivitas termal material (W/m·K)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)

ΔT = perbedaan suhu antara sisi dalam dan luar (K)

X = ketebalan bahan isolasi (m)

Tabel 2. Komparasi Ketebalan Insulasi *Burner* untuk Meningkatkan Efisiensi *Burner*.

Ketebalan (x)	Rumus yang digunakan (Q)	Kehilangan Panas (kW)
2,5 cm = 0,025 m	$\frac{0,15 \cdot 166,65 \cdot 715}{0,025}$	895
5 cm = 0,05 m	$\frac{0,15 \cdot 166,65 \cdot 715}{0,05}$	447,5
7,5 cm = 0,075 m	$\frac{0,15 \cdot 166,65 \cdot 715}{0,075}$	298,33
10 cm = 0,1 m	$\frac{0,15 \cdot 166,65 \cdot 715}{0,1}$	223,75

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

- Hasil penelitian terdapat penyimpangan aliran gas dan udara masih terjadi di beberapa zona tungku;
 - Aliran gas di zona 1, 7, dan 8 berada lebih kecil dari nilai teoritis, sedangkan zona 3 dan 5 berada tepat di atas nilai teoritis.
 - Aliran udara di semua zona berada lebih kecil nilai teoritis, menunjukkan ketidakseimbangan pasokan udara-bahan bakar.
 - Konsumsi gas maksimum dan nilai blower aliran aktual juga masih lebih rendah dari standar dan teoritis, yang berdampak pada penurunan efisiensi pembakaran.
- Rasio tekanan gas dan udara (1:4,08) kPa dan rasio kecepatan aliran gas-udara teoritis (1:11.19) m³/jam perlu disesuaikan untuk memperkirakan kondisi AFR yang optimal untuk pembakaran yang efisien dan stabil.
- Untuk meningkatkan efisiensi pembakar dan stabilitas pemanasan material, langkah-langkah perbaikan yang direkomendasikan meliputi:
 - Pengaturan AFR dalam pada kisaran 10 sampai 12 dengan sedikit kelebihan air.
 - Perawatan pembakar secara teratur untuk mencegah penyumbatan dan kebocoran.
 - Pelatihan operator tungku untuk memahami keseimbangan udara-gas dan dampak kelebihan air terhadap efisiensi.
 - Pemantauan data *real-time* (AFR, suhu gas buang, emisi CO) untuk mendeteksi dan memperbaiki penyimpangan operasional dengan cepat.
- Untuk bahan isolasi ditemukan bahwa kehilangan panas terbesar berasal dari perpindahan panas melalui *casing* tungku,

- 1) Penggunaan bahan isolasi konduktivitas rendah (silika mikropori) dapat mengurangi kehilangan panas lebih dari 80% dibandingkan dengan bahan standar seperti kalsium silikat atau serat keramik.
 - 2) Menambahkan ketebalan isolator (7,5–10) cm dapat mengurangi kehilangan panas hingga 50%.
 - 3) Kombinasi bahan konduktivitas rendah dan ketebalan optimal memberikan efisiensi termal terbaik.
- e. Untuk meningkatkan efisiensi tungku dan pembakar LNG dapat ditingkatkan melalui pendekatan terintegrasi:
- 1) Optimasi sistem pembakaran (AFR, pasokan udara, dan gas).
 - 2) Perbaikan sistem isolasi termal.
 - 3) Kontrol operasional dan pemeliharaan rutin pada bagian burner secara konsisten.

Ucapan Terima Kasih

Atas bantuan dan kerja sama dengan Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana yang memberikan ruang riset di Industri serta bimbingan dari para dosen sehingga kami dapat menyelesaikan penulisan karya ilmiah.

Daftar Pustaka

- [1] Adam Hassan Salih, M., Abd Alazeem Mohammed, A., Yousif Khalifa, B., Omar Elamin, F., & Omer Hassan, N. (2018). Evaluasi efisiensi tungku pembakaran unit kokas tertunda dengan memanipulasi parameter yang mempengaruhi efisiensi tungku. *Jurnal Kimia Kuantum dan Spektroskopi Molekuler Amerika*, 2(2), 18–30. <https://doi.org/10.11648/j.ajqcms.20180202.11>
- [2] Adolph, R. (2016). *Tidak Ada Judul, Tidak Ada Judul, Tidak Ada Judul*. 1–23.
- [3] Baukal, CE (2003). Pembakar industri: Buku Pegangan. Dalam *Pembakar Industri: Buku Pedoman*. [<https://doi.org/10.1201/9780203488805>]
- [4] De, A., & Acharya, S. (2008). Simulasi pusaran besar dari pembakaran pracampuran dengan pendekatan api menebal. *Prosiding ASME Turbo Expo*, 3 (BAGIAN B), 1021–1034. <https://doi.org/10.1115/GT2008-51320>
- [5] Ekong, G. I. (2020). Pengaruh parameter desain pada pengukuran dan kontrol aliran massa dalam rig aliran pelat lubang. *Jurnal Pencarian Jurnal Penelitian Teknik Mesin*, 6(1), 2321–8185. www.questjournals.org
- [6] Irawan, B. (2017). Perhitungan energi pembakaran bahan bakar dalam silinder mesin bensin. *Politeknik Negeri Malang*, 3 (Januari), 13–16.
- [7] Ismy, AS, & Bahri, S. (2019). Pengaruh suhu tempering pada kekerasan dan ketangguhan bahan pelat baja karbon sebagai bahan cangkul. *Jurnal POLIMER*, 1(1), 49. <https://doi.org/10.30811/jop.v1i1.1396>
- [8] Kurniawan, DR, & Suharti, PH (2023). Evaluasi kinerja tungku dalam proses peleburan kembali ekstrusi Pt Aluvindo. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Pemisahan*, 6(2), 62–68. <https://doi.org/10.33795/distilat.v6i2.89>
- [9] MAULIDIANA, M. (2006). Liquefied Natural Gas (LNG), alternatif transportasi gas alam. *Academia.Edu*, April. <https://www.academia.edu/download/49117719/LNG-transportasi-gas-alam.pdf>
- [10] Mochamad Bastomi, Faisal, M., & Asrul. (2023). Merancang dan membangun pembakar peleburan logam tipe senjata yang berbahan bakar gas minyak cair (LPG). *Technobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 13(2), 87–91. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v13i2.5286>
- [11] Perencanaan, J. (2024). 92 *Ridwan Abdul Mujib*. 6(1), 92–101.
- [12] Purnomo, MD, Mulyaningsih, N., Hastuti, S., Mesin, JT, Teknik, F., Tidar, U., & Utara, M. (2020). *OPTIMALISASI WAKTU PEMANASAN TERHADAP PENYERAPAN KARBON*

DALAM BAJA ST41.

- [13] Rochim, M., & Oktaviansyah, R. (2024). Perhitungan Efisiensi Boiler TWA dengan Metode Tidak Langsung. *Jurnal Nasional Manajemen Energi Minyak dan GasZoom*, 6(2), 85–92. <https://doi.org/10.37525/mz/2024-2/610>
- [14] Ryan Fakhruddin Syuffi. (2014). Efek variasi suhu pengerasan terhadap kekerasan baja s45c dengan media pendingin air. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. *Jurnal Teknik Mesin*, 03(01), 106–112.
- [15] Saastamoinen, H., & Leino, T. (2019). Pementasan bahan bakar dan pementasan udara untuk mengurangi emisi nitrogen dalam pembakaran kulit kayu dan batubara CFB. *Energi dan Bahan Bakar*, 33(6), 5732–5739. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00850>
- [16] Santoso, NB (2014). Pemanfaatan LNG sebagai Sumber Energi di Indonesia. *Jurnal Teknik Proses*, 8(1), 33–39.
- [17] Supanto1, Fardiansyah, A. A., Alkindi, H., & Yuliaji, D. (2022). Analisis Perpindahan Panas Proses Pirolisis Limbah Plastik. *Jurnal Teknik dan Sains*, 3(2). <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/ALMIKANIKA/article/view/5822>
- [18] Triwibowo, B. (2013). Teori Dasar Simulasi Proses Pembakaran Limbah Vinasse dari Industri Alkohol Berbasis CFD. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 2(2), 14–24.
- [19] Wahyudi, W., & Ajiwiguna., Tri Ayodha, A. Q. (2019). Etode Etode juga memiliki lor lat malas. *e-Prosiding Teknik*, 6(2), 5066–5073.
- [20] Bakar, PB (2010). *Tidak ada judul*.
- [21] BENAVIDES. (2019). *Naskah yang Diterima*. Pertimbangan untuk menggunakan tiga paragraf yang dimulai dengan, "Pertimbangan untuk menggunakan tiga paragraf yang dimulai dengan, " <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.06.030>.Ini
- [22] Chowdhury, D. K., Mohammad, N., Mahmud, T., Khaliluzzaman, M., Andersson, K., & Hossain, MS (2025). Estimasi dan Pengurangan Emisi CO2 dari Pembangkit Listrik Bahan Bakar Fosil di Bangladesh. *Akses IEEE*, 13 (Juli), 120517–120532. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3586553>
unduh. (n.d.).
- [23] Foss, M. M., & Ph, D. (2012). *Pengantar LNG*.
- [24] Léon E, DE (2006). *Pemecah hiperbolik 2-D umum dengan aplikasi untuk pengukuran lubang*. Desember.
- [25] Scott, K. (2016). *Artikel Riset Mesin Diterjemahkan oleh Google Studi Konsumsi Energi Spesifik dalam Pemanasan Ulang Tungku Menggunakan Pembakar Regeneratif yang Dikombinasikan dengan Recuperator*. November. <https://doi.org/10.14456/sustj.2010.6>
- [26] Nandalirasyad, N., Indra, MA, & Mulyana, C. (2018). Pengaruh Pemulihan pada Kinerja Pembangkit Listrik Siklus Biner. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 8(01), 29. <https://doi.org/10.24198/jmei.v8i01.11372>
Lubang pelat. (n.d.).
- [27] Samlawi, AK, Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., & Hull, U. (2017). *Teknik pembakaran (hmkbb646)*.
- [28] Sugiarto. (2016). *Definisi pembakar dan jenis pembakar*. 4(1), 1–23.
- [29] Syahputra, A. (2021). *Sistem Kerja Kontrol Katup Terhadap Kontrol Suhu Pada Ladang Tangki Di Pt.Pacific Medan Industri*.
- [30] Vemulapalli, S., & Venkata, SK (2022). Analisis parametrik pelat lubang pada pengukuran aliran: Tinjauan. *Jurnal Teknik Ain Shams*, 13(3), 101639. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.11.008>
- [31] Wibowo, A. (2017). Desain dan Konstruksi Aktuator Solenoid Valve pada Reaktor OAW (Oxygen Acetylene Welding) Pressure Control di Lasdiral Menur Workshop Surabaya. *Instrumentasi, Departemen Teknik Kejuruan, Fakultas*, 3–4.
- [32] Ji, Wenchao, Guojun Li, Linyang Wei, dan Zhi Yi. 2021. "Pemodelan dan Penentuan Faktor

- Pertukaran Panas Total Tungku Pemanasan Ulang Regeneratif Berdasarkan Uji Coba Pelat Berinstrumen." *Studi Kasus dalam Teknik Termal* 24 (Januari): 100838. doi:10.1016/j.csite.2021.100838.
- [33] Khoirudin, dan La Ode Mohammad Firman. 2018. "Optimasi Desain pada Dinding Tungku dengan Suhu Kerja 1000 C." *Jurnal Studi Teknik Mesin* 3(1): 1–56. <http://sor.scitation.org/doi/10.1122/1.3445064>.
- [34] Kristanto, Luciana, Handoko Sugiharto, S. W.Dwi Agus, dan S. Aditya Pratama. 2017. "Papan kalsium silikat sebagai Wall-Facade." *Teknik Produria* 171: 679–88. doi:10.1016/j.proeng.2017.01.409.
- [35] Lipo, Yang, Liu Yunpeng, Hou Yingwu, dan Zhang Yongshun. 2022. "Mekanisme Pengaruh Parameter Aliran pada Medan Suhu di Tungku Pemanasan Ulang Regeneratif." *Jurnal Internasional Termofluida* 15 (November 2021): 100160. doi:10.1016/j.ijft.2022.100160.
- [36] Lun, Zhiyi, Lunlun Gong, Zhongxin Zhang, Yurui Deng, Yong Zhou, Yuelei Pan, dan Xudong Cheng. 2022. "Peningkatan Kinerja Isolasi Termal Aerogel Silika dengan Perlakuan Panas yang Tepat: Perubahan Struktur Mikropori dan Mekanisme Pirolisis." *Gel* 8(3). doi:10.3390/gels8030141.
- [37] Misqi, Al, Budi Sulistiyo Nugroho, dan Akhmad Badaruddin. 2024. "Evaluasi Kinerja Tungku di Unit Vakum Tinggi Pt . Y menggunakan metode Heat Absorbed & Heat Loss." 4 (November).
- [38] Muhielddeen, Mohammed W., Lim Zhen Yang, Lim Chong Lye, dan Nor Mariah Adam. 2020. "Analisis Ketebalan Optimal Kinerja Isolasi Termal Atap Wol Kaca." *Jurnal Penelitian Lanjutan dalam Mekanika Fluida dan Ilmu Termal* 76(3): 1–11. doi:10.37934/arfmts.76.3.111.
- [39] Perfler, Lukas, Lukas Peyker, Martin Hörtnagl, Nikolaus Weinberger, Christian Pichler, Roland Traxl, dan Roman Lackner. 2022. "Ruang pori keramik steatite yang dipicu oleh kelonggaran serat alami: analisis mikroskop sinar-X resolusi tinggi dan sifat termo-mekanik terkait." *Bahan dan Desain* 218: 110704. doi:10.1016/j.matdes.2022.110704.
- [40] Salman, Arasj Krishna, Emmy Dyah Setyowati, dan Agus Dwi Catur. 2023. "Pengaruh Media Pendingin pada Perlakuan Panas pada Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pelat Strip Stainless Steel AISI 304." *Jurnal Teknik dan Teknologi Baru* 01(01).
- [41] Syahrafi, Widyanpratama. 2016. *Efek Penambahan Variasi Total Layer Fiber Glass dengan Perbandingan Fraksi Volume Tetap pada Komposit Mikrosfer Kaca Berongga Epoksi pada Karakteristik Lentur*.