

PENGARUH TEMPERATUR UAP TERHADAP EKSPANSI VOLUME DAN TEGANGAN TERMAL RODA LORI DISTASIUN PEREBUSAN PT. X

Herry Darmadi¹, Jery Manaor Simarmata^{2*}, Sorta Lumbatoruan³, Nurlianna Tarigan⁴,
Dian Kurnia⁵, Novia Nelza⁶

^{1,2,3,4}Teknik Mekanika Politeknik Teknologi Kimia Industri Jl. Medan Tenggara VII Kota Medan Sumatera Utara, (061) 7867810/(061) 7862439

⁵Program Studi Agribisnis Kelapa Sawit, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Medan.

⁶Program studi Analisis Kimia, Politeknik ATI Padang

Email : herry.darmadi@ptki.ac.id, jerrysimarmata2909@gmail.com.

Abstrak

Roda lori di stasiun perebusan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) terpapar uap jenuh bersuhu tinggi selama proses perebusan, yang menyebabkan ekspansi volume dan tegangan termal pada material roda. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur uap terhadap ekspansi volume dan tegangan termal pada roda lori di stasiun perebusan. Data diperoleh melalui observasi langsung dan perhitungan teoritis menggunakan parameter material baja ASTM A36. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan temperatur uap dari 110,27°C hingga 133,59°C menyebabkan ekspansi volume mencapai $1,39 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ dan tegangan termal hingga 241,41 MPa, yang mendekati batas luluh material (250 MPa). Disimpulkan bahwa temperatur uap berpengaruh signifikan terhadap deformasi dan potensi kegagalan material roda lori.

Kata kunci— roda lori, temperatur uap, ekspansi volume, tegangan termal,

Abstract

Lorry wheels at the boiling station of a Palm Oil Mill (PKS) are exposed to high-temperature saturated steam during the boiling process, which causes volume expansion and thermal stress in the wheel material. This study aims to analyze the effect of steam temperature on volume expansion and thermal stress on lorry wheels in the palm oil mill sterilization station. Data were obtained through direct observation and theoretical calculations using ASTM A36 steel material parameters. The results show that an increase in steam temperature from 110.27°C to 133.59°C causes volume expansion of up to $1.39 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ and thermal stress of up to 241.41 MPa, approaching the material's yield strength (250 MPa). It is concluded that steam temperature significantly affects deformation and potential failure of lorry wheel material.

Keywords— lorry wheels, steam temperature, volume expansion, thermal stress

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri modern, pengendalian suhu merupakan aspek fundamental yang sangat memengaruhi efisiensi dan keandalan peralatan maupun komponen mekanis. Salah satu fenomena fisis yang erat kaitannya dengan perubahan suhu adalah ekspansi termal, yaitu perubahan dimensi suatu material akibat naik atau turunnya temperatur. Ketika material dipanaskan, jarak antar partikel bertambah sehingga volumenya meningkat; sebaliknya saat didinginkan, material mengalami kontraksi [1]. Fenomena ini perlu menjadi perhatian dalam perancangan serta pengoperasian sistem industri yang bekerja pada kondisi temperatur tinggi dan fluktuatif.

Di sektor pengolahan kelapa sawit, stasiun perebusan merupakan salah satu unit penting. Pada tahap ini, tandan buah segar (TBS) direbus dalam bejana sterilizer menggunakan uap jenuh bertekanan tinggi dengan temperatur antara 110°C hingga 135°C. Proses perebusan ini berfungsi untuk melunakkan buah, mematikan enzim perusak, serta memudahkan ekstraksi minyak [2].

TBS diangkut menggunakan lori yang masuk ke dalam sterilizer melalui sistem rel. Dalam operasionalnya, lori beserta roda-roda baja mengalami kontak langsung dengan uap bersuhu tinggi tersebut.

Paparan suhu tinggi secara berulang menimbulkan dua fenomena utama pada roda lori, yaitu ekspansi volume dan tegangan termal. Ekspansi volume terjadi ketika dimensi roda berubah akibat pemanasan, sedangkan tegangan termal timbul ketika ekspansi ini terhambat oleh sistem rel atau kedudukan roda. Jika tegangan termal melampaui batas elastis baja, material dapat mengalami deformasi permanen, retakan, atau bahkan kegagalan struktural [3]. Dalam jangka panjang, siklus pemanasan dan pendinginan berulang (*thermal cycling*) mempercepat terjadinya kelelahan material (*thermal fatigue*) yang menurunkan keandalan roda lori [4]. Dampak akumulatif dari ekspansi dan tegangan termal ini berpotensi mengganggu kontinuitas operasional pabrik. Misalnya, roda dapat mengalami ovalisasi, keausan tidak merata, atau kerusakan pada bantalan. Hal ini tidak hanya menurunkan efisiensi transportasi TBS, tetapi juga meningkatkan biaya pemeliharaan serta risiko keselamatan kerja. Oleh karena itu, analisis kuantitatif mengenai pengaruh temperatur uap terhadap roda lori menjadi sangat penting [5].

Dengan memahami karakteristik ekspansi dan distribusi tegangan termal pada roda lori, langkah-langkah mitigasi dapat dilakukan. Beberapa di antaranya adalah pemilihan material dengan koefisien ekspansi termal rendah, perancangan roda yang mempertimbangkan toleransi pemuaian, serta penerapan strategi perawatan yang sesuai [6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan besarnya perubahan volume roda lori akibat variasi temperatur uap pada stasiun perebusan.
2. Menghitung tegangan termal yang timbul akibat ekspansi terhambat. Memberikan rekomendasi teknis bagi desain dan pemeliharaan roda lori agar mampu bertahan pada kondisi kerja bersuhu tinggi [7]

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem transportasi internal Pabrik Kelapa Sawit, khususnya dalam meningkatkan keandalan material, memperpanjang umur pakai roda lori, serta mendukung keberlanjutan operasional pabrik kelapa sawit [8].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan mengkombinasikan pengumpulan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan melalui observasi langsung di PT. X untuk mendapatkan data operasional, seperti temperatur dan tekanan uap di sterilizer, dimana temperature steam yang akan digunakan adalah [9]:

1. Puncak perebusan pertama dengan tekanan 1,5Kg/cm² dan temperatur 110,27°C
2. Puncak perebusan kedua dengan tekanan 2,5Kg/cm² dan temperatur 121,03°C
3. Puncak perebusan ketiga dengan tekanan 3Kg/cm² dan temperatur 133,59°C

Dokumentasi dan pengukuran dimensi fisik roda lori juga dilakukan untuk memperoleh data yang akurat. Untuk analisis teoritis, penelitian ini berfokus pada perhitungan ekspansi volume dan tegangan termal. Rumus ekspansi volume digunakan untuk menghitung perubahan volume roda lori akibat perubahan suhu [10]:

$$\Delta V = V_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

Di mana ΔV adalah perubahan volume, β adalah koefisien ekspansi volume material (untuk baja sekitar $3.6 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$), V_0 adalah volume awal roda lori, dan ΔT adalah perubahan suhu. Selanjutnya, tegangan termal (σ_T) dihitung dengan menggunakan persamaa

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

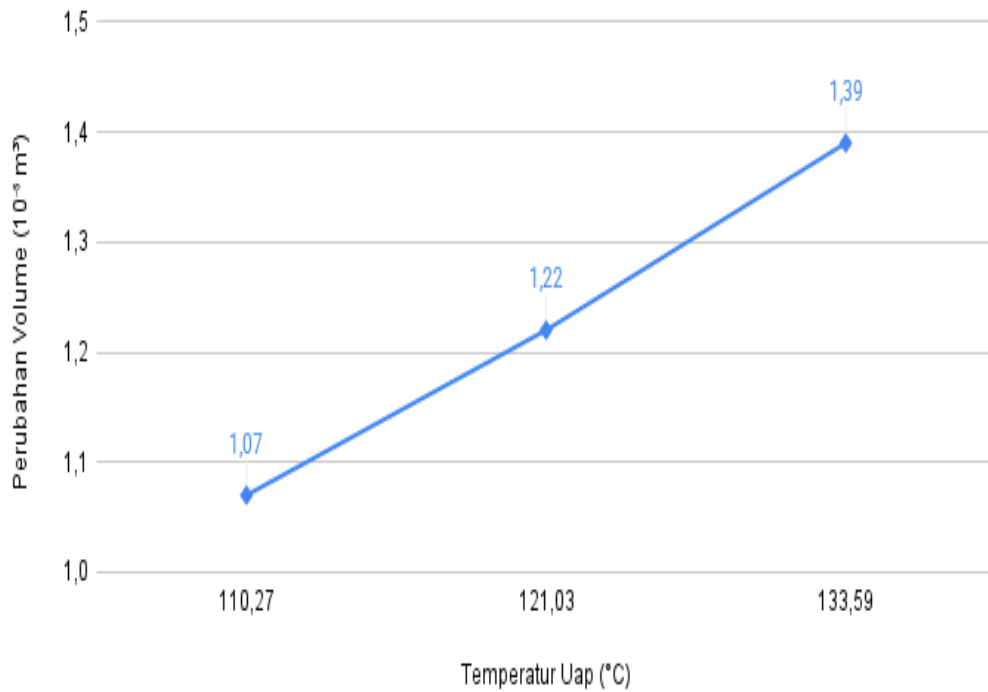
Di mana E adalah Modulus Young material (untuk baja ASTM A36 sekitar 200 GPa atau 2×10^{11} Pa) dan α adalah koefisien ekspansi linier material. Data sekunder, seperti sifat-sifat fisis material baja, diperoleh dari studi pustaka dan referensi teknis yang relevan. Data-data ini kemudian diolah untuk menghitung dan menganalisis hubungan antara temperatur uap dengan fenomena ekspansi dan tegangan termal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Ekspansi Volume

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ekspansi volume meningkat seiring kenaikan temperatur:

- Puncak I (110,27°C): $\Delta V = 1,07 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
- Puncak II (121,03°C): $\Delta V = 1,22 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
- Puncak III (133,59°C): $\Delta V = 1,39 \times 10^{-5} \text{ m}^3$



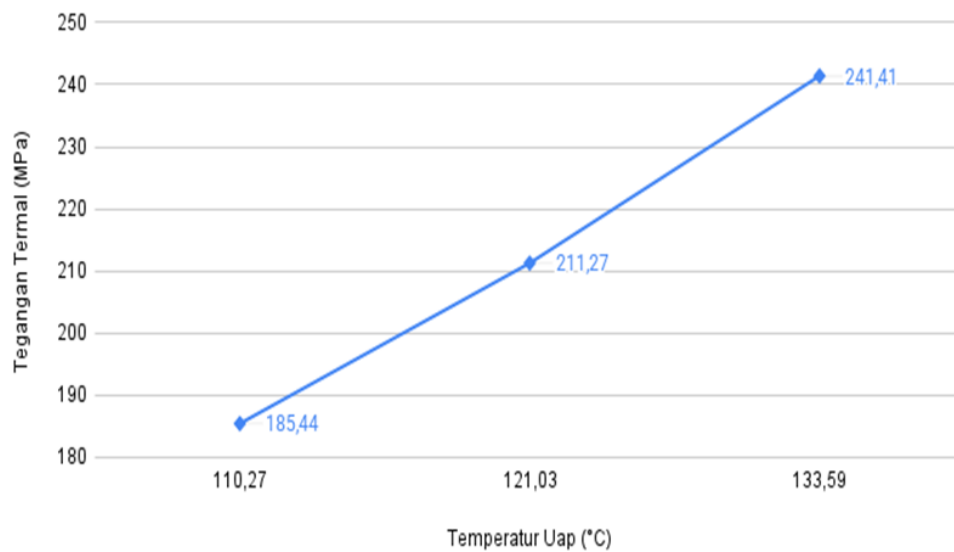
Gambar 1. Grafik Pengaruh Temperatur Uap Terhadap Perubahan *Volume*

Berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa semakin tinggi temperatur uap, ekspansi volume roda lori juga meningkat secara linear. Ini menunjukkan bahwa roda mengalami pemuaiian termal signifikan seiring dengan naiknya suhu dalam sterilizer.

3.2 Tegangan Termal

Tegangan termal yang dihasilkan mendekati batas luluh material:

- Puncak I: $\sigma = 185,44 \text{ MPa}$ (74,2% yield)
- Puncak II: $\sigma = 211,27 \text{ MPa}$ (84,5% yield)
- Puncak III: $\sigma = 241,41 \text{ MPa}$ (96,6% yield)



Gambar 2 Grafik Pengaruh Temperatur Uap Terhadap Tegangan Termal Roda Lori

Berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa tegangan termal meningkat secara linear seiring dengan naiknya temperatur uap. Pada temperatur tertinggi (133,59°C), tegangan termal hampir menyentuh batas luluh material (250 MPa), menandakan potensi risiko deformasi plastis.

4 . KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur uap pada stasiun perebusan memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan volume dan tegangan termal roda lori. Kenaikan temperatur uap dari 110,27 °C hingga 133,59 °C menyebabkan ekspansi volume roda mencapai $1,39 \times 10^{-5} \text{ m}^3$, yang menandakan adanya perubahan dimensi material akibat pemuaian termal. Selain itu, perhitungan menunjukkan bahwa tegangan termal yang timbul akibat ekspansi terhambat mencapai 241,41 MPa. Nilai ini mendekati batas luluh baja, sehingga roda lori berpotensi mengalami deformasi plastis, kelelahan termal, bahkan retakan mikro apabila siklus perebusan berlangsung berulang dalam jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan pemilihan material dengan ketahanan termal yang lebih baik serta strategi desain dan pemeliharaan yang mempertimbangkan siklus termal untuk meningkatkan umur pakai roda lori dan menjaga kontinuitas operasional pabrik kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Lumintang and F. Abdul Rauf, "PENGENALAN PENGGUNAAN ALAT UJI MATERIAL IMPACT TEST BAGI SISWA SMK DI TONDANO KABUPATEN MINAHASA," 2020.
- [2] C. Ruskandi, A. Siswanto, and R. Widodo, "Karakterisasi fisik dan kimiawi bentonite untuk membedakan natural sodium bentonite dengan sodium bentonite hasil aktivasi," 2020.
- [3] A. Ilcham, O. Rama Gardatoga, and dan Ade Irma, "Karakter Lumpur Pemboran Berbahan Dasar Bentonite Lokal Tulungagung dan Boyolali Mengacu Standar API 13A dengan Variasi Additive Polyamine," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan,"* May 2023, pp. 1–5.
- [4] R. Derianto, M. Taufiqurrahman, and M. Ivanto, "Rancang Bangun Alat Uji Impact 100 Joule Type Charpy Skala Laboratorium (1)* Rizky Derianto, (2) Muhammad Taufiqurrahman, (3) Muhammad Ivanto," *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN) Derianto, Taufiqurrahman & Ivanto*, vol. 5, no. 2, pp. 19–24, 2024.

-
- [5] G. Allegra Satoding dkk, G. Allegra Satoding, M. J. Azis Albar, and J. Sumbung, "A Study on The Effectiveness of Bentonite Adsorbent in Reducing Pb Metal Levels in Used Lubricating Oil Studi Efektivitas Adsorben Bentonit Terhadap Penurunan Kadar Logam Pb pada Minyak Pelumas Bekas," *Jurnal Sains dan Teknik Terapan*, vol. 2024, no. 1, pp. 20–26, 2024, [Online]. Available: <https://journal.akom-bantaeng.ac.id/index.php/jstt>
- [6] Musdalifah, M. Syahrir, Suriati, and E. Putri, "Sintesis Komposit Bentonit-Fe₂O₃ serta Aplikasinya dalam Fotodegradasi Larutan Fenol Sintesis Komposit Bentonit-Fe₂O₃ serta Aplikasinya dalam Fotodegradasi Larutan Fenol Synthesis of Bentonite-Fe₂O₃ Composite and the Application in Photodegradation of Phenol Solution," *Jurnal Chemica*, vol. 23, no. 2, pp. 9–17, Dec. 2022.
- [7] R. Ella Estiarny, T. Emilia Agustina, T. Indah Sari, and R. Gayatri, "The Effect of Bentonite Activation and Its Application on Reducing Metal Ions Levels in Wastewater," *Jurnal Teknologi Volume*, vol. 17, no. 2, pp. 115–122, 2025, doi: 10.24853/jurtek.17.2.115-122.
- [8] A. Atikah, "EFEKTIFITAS BENTONIT SEBAGAI ADSORBEN PADA PROSES PENINGKATAN KADAR BIOETANOL," *Distilasi*, vol. 2, no. 2, pp. 23–32, Sep. 2017.
- [9] G. Geraldina, T. Taslimah, and Nuryanto, "Pemanfaatan Montmorillonit Terpillar Al-Cr pada Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B dengan Variasi Massa Adsorben dan Waktu Adsorpsi," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 19, pp. 99–106, 2016.
- [10] S. Kurniadi, "Pembuatan Alat Uji Impak Charpy Untuk Material Plastik Dengan Takik," 2019.
-