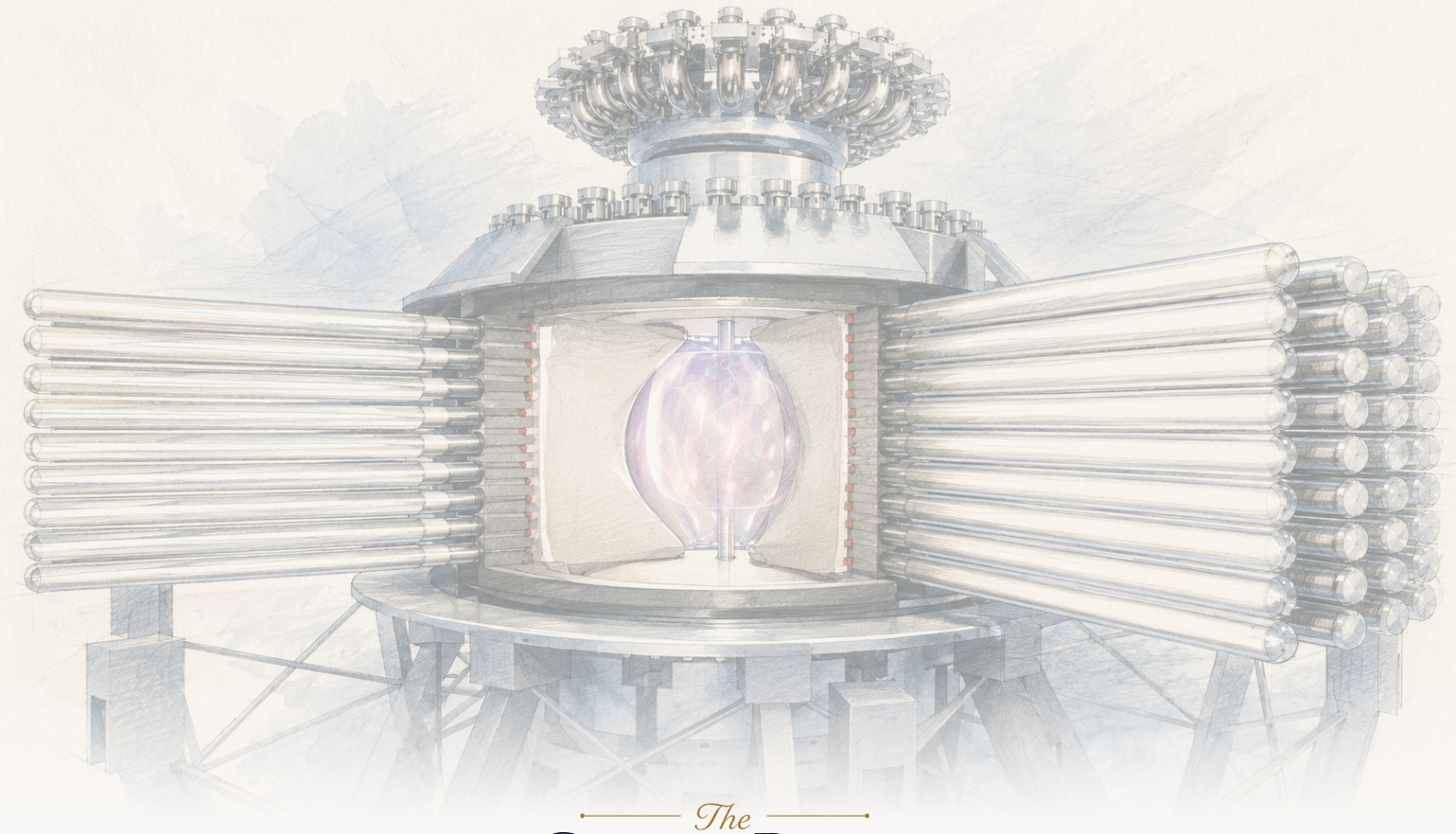


The
CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

# Mesin fusi memanaskan plasmanya dengan meremasnya — langkah nyata, tetapi bukan pembangkit listrik

*LM26 milik General Fusion memampatkan plasma deuterium termagnetisasi dengan liner litium yang mengimplosi dan melihat plasmanya memanas — temperatur elektron naik lebih dari tiga kali hingga puncak terukur sekitar 0,72 keV (718 ± 80 eV, kira-kira 8 juta °C), dengan sebagian besar pemanasan diatribusikan pada kompresi itu sendiri, mekanisme yang menjadi sandaran pendekatan magnetized-target-fusion mereka. Ini adalah tonggak rekayasa nyata bagi jalur fusi tersebut. Namun ini juga baru 11 tembakan pertama pada satu mesin, dilaporkan dalam preprint perusahaan yang belum ditinjau sejawat, pada temperatur yang masih sekitar sepuluh kali di bawah kebutuhan plasma yang terbakar — tanpa energi bersih, breakeven, atau listrik.*

---

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment*, S. J. Howard et al. (General Fusion), arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (preprint) · DOI: 10.48550/arXiv.2606.23974

# Mesin fusi memanaskan plasmanya dengan meremasnya — langkah nyata, tetapi bukan pembangkit listrik

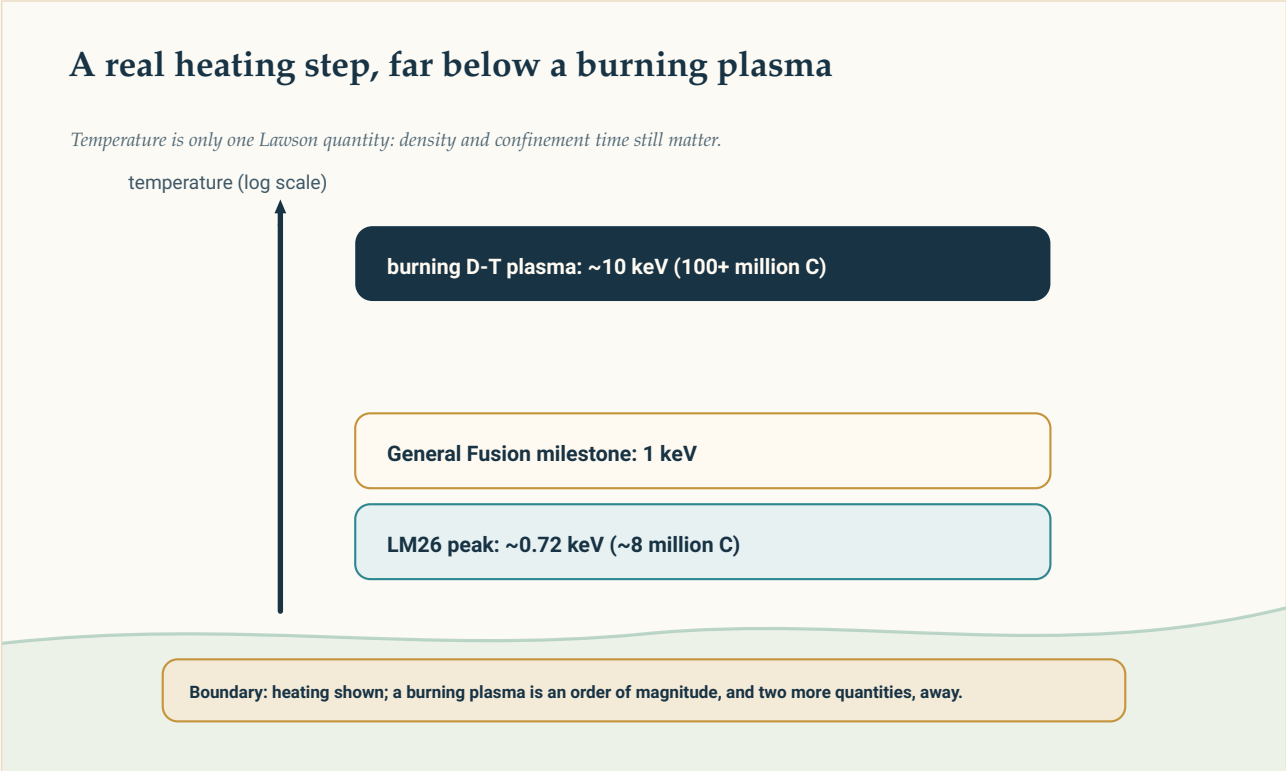
Agar reaktor fusi menghasilkan lebih banyak energi daripada yang dibutuhkan untuk menjalankannya, plasma bahan bakar harus sekaligus cukup panas, cukup rapat, dan bertahan cukup lama — tiga besaran yang dirangkum dalam apa yang disebut fisikawan sebagai kriteria Lawson. Sebagian besar bidang ini mengejar kondisi tersebut dengan magnet superkonduktor raksasa (tokamak seperti ITER) atau susunan laser besar (konfinemen inersial, seperti di US National Ignition Facility). Sejumlah perusahaan yang lebih kecil bertaruh pada jalur ketiga, **magnetized target fusion** (MTF): membentuk plasma hangat yang termagnetisasi, lalu secara mekanis *menghimpitnya* dengan cepat sehingga pemampatanlah yang menghasilkan pemanasan — seperti mesin diesel menyalakan bahan bakar melalui kompresi, bukan percikan.

Pada Juni 2026, perusahaan Kanada **General Fusion** memublikasikan hasil dari **Lawson Machine 26 (LM26)** yang menguji apakah taruhan inti itu benar-benar bekerja: apakah memampatkan plasma termagnetisasi secara mekanis memang memanaskannya seperti yang dijanjikan model? Dalam 11 tembakan kompresi pertama — ketika plasma deuterium berbentuk tokamak sferis dihimpit oleh *solid lithium liner* yang mengimplosi — tembakan terbaik menunjukkan plasma menjadi jauh lebih panas, lebih rapat, dan lebih kuat termagnetisasi ketika dimampatkan, dan analisis perusahaan mengatribusikan sebagian besar pemanasan itu pada kompresi itu sendiri.

Ini adalah hasil rekayasa yang nyata dan spesifik bagi pendekatan MTF. Namun ini juga baru rangkaian tembakan pertama, dijelaskan dalam **pracetak perusahaan yang belum ditinjau sejawat**, pada suhu yang masih jauh di bawah kebutuhan plasma yang terbakar — dan ini bukan energi fusi, bukan breakeven, dan bukan pembangkit listrik.

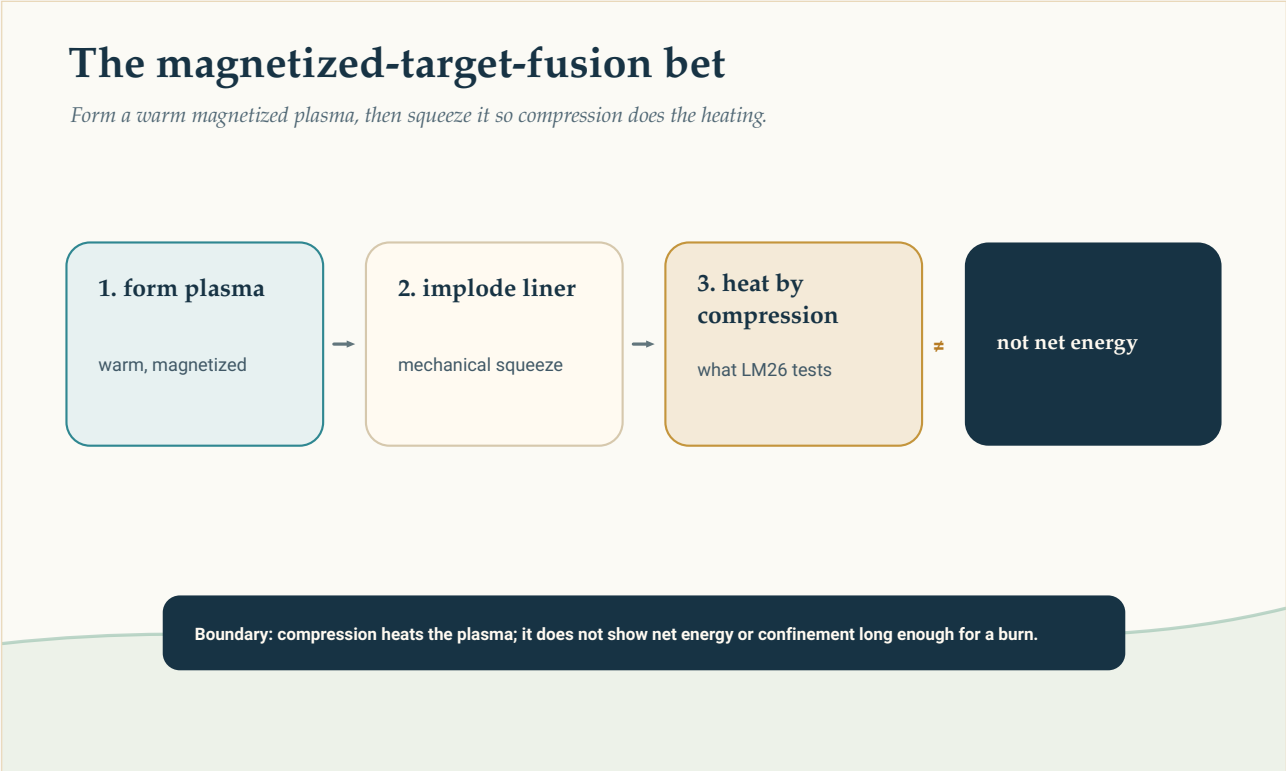
[video pending]

Ini adalah rekaman promosi dari General Fusion, disertakan untuk menunjukkan seperti apa LM26; rekaman ini bukan bukti independen bahwa mesin tersebut akan mencapai tonggak fusi masa depannya.




Tangga temperatur: ~0,72 keV pada LM26, tonggak 1 keV General Fusion, dan ~10 keV yang dibutuhkan plasma deuterium–tritium yang terbakar. Temperatur hanya satu dari tiga besaran Lawson.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0




Magnetized target fusion: bentuk plasma hangat yang termagnetisasi, lalu mampatkan dengan liner yang mengimplosi agar tekanan menghasilkan pemanasan — taruhan ala kompresi diesel. LM26 menguji bahwa

kompresi memanaskan plasma; bukan energi bersih atau konfinemen.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

### Apa arti “magnetized target fusion”, “keV”, dan kriteria Lawson

Temperatur plasma dalam fusi biasanya dinyatakan dalam **kiloelectronvolt (keV)**, bukan derajat: 1 keV kira-kira **11,6 juta °C**. Bahan bakar deuterium–tritium perlu mencapai sekitar **10 keV** (lebih dari 100 juta °C) agar berfusi secara efisien — tetapi temperatur hanya satu dari tiga syarat yang harus terpenuhi bersamaan. **Kriteria Lawson** juga mensyaratkan **kerapatan** yang cukup dan **waktu konfinemen** yang cukup, biasanya digabungkan sebagai satu “triple product” (temperatur × kerapatan × waktu konfinemen). Memanaskan plasma diperlukan, tetapi sendirian masih jauh dari cukup.

**Magnetized target fusion (MTF)** berada di antara dua pendekatan utama. Alih-alih menahan plasma panas untuk waktu lama dengan magnet raksasa, atau memanaskan target kecil hampir seketika dengan laser, MTF membentuk plasma termagnetisasi lalu memampatkannya secara mekanis dalam skala mikrodetik. Jika berhasil, kompresi sekaligus memanaskan plasma dan menaikkan kerapatannya — berpotensi mencapai kondisi fusi tanpa magnet sebesar ITER atau laser sebesar NIF. Apakah kompresi benar-benar menghasilkan pemanasan itu pada mesin nyata adalah tepatnya pertanyaan yang diuji LM26.

## Apa yang dilakukan para penulis

- Membangun dan menembakkan **LM26**, mesin magnetized-target-fusion milik General Fusion: plasma deuterium tokamak sferis dibentuk, lalu dimampatkan oleh **solid lithium liner** yang bergerak mengimplosi ke dalam — sekitar **3×** **kompresi radial**.
- Menjalankan **11 tembakan kompresi pertama** dengan instrumentasi berat, merekonstruksi temperatur, kerapatan, dan medan magnet plasma terhadap waktu, serta merekam neutron, sinar-X, cahaya tampak, dan citra kamera cepat interaksi plasma–dinding.
- Membangun **model fisika terintegrasi** yang menyeimbangkan pemanasan dari kompresi dengan pemanasan Ohmik (dari arus plasma sendiri) serta energi yang hilang ke batas, lalu membandingkannya dengan data terukur untuk memperkirakan sumber pemanasan.

## Apa yang mereka temukan

- **Plasma memanas ketika dihimpit.** Dalam tembakan terbaik, temperatur elektron naik **lebih dari 3**×, kerapatan elektron sekitar **10**×, dan medan magnet poloidal sekitar **10**×, didorong oleh kompresi radial 3×. Dalam tembakan terbaik, makalah mengukur **temperatur elektron puncak sekitar 0,72 keV** (718 ± 80 eV, melalui hamburan Thomson) — kira-kira 8 juta °C.
- **Sebagian besar pemanasan diatribusikan pada kompresi.** Model terintegrasi mereka menyimpulkan bahwa *mayoritas* kenaikan temperatur berasal dari kompresi mekanis itu sendiri —

mekanisme yang menjadi dasar seluruh pendekatan MTF — bukan dari pemanasan Ohmik.
- **Emisi neutron meningkat selama kompresi**, konsisten dengan plasma deuterium yang lebih panas dan lebih rapat.

## Apa yang tidak ditunjukkan

- Ini **bukan** energi fusi, breakeven, atau perolehan bersih. Tidak ada yang menghasilkan lebih banyak energi daripada yang diperlukan untuk menjalankan mesin. Hasil ini tentang *memanaskan plasma* — satu langkah dalam siklus fusi — bukan neraca energi sebuah reaktor.
- Temperaturnya **masih sekitar sepuluh kali terlalu rendah** untuk plasma yang terbakar. Sekitar 0,72 keV adalah kira-kira 8 juta °C; bahan bakar deuterium–tritium membutuhkan sekitar **10 keV (lebih dari 100 juta °C)** *dan* kerapatan × waktu konfinemen yang memadai untuk mempertahankan pembakaran. Tonggak General Fusion berikutnya sendiri adalah **1 keV** — masih jauh dari penyalaan.
- "**Sebagian besar pemanasan berasal dari kompresi**" adalah **kesimpulan berbasis model**, bukan pembacaan langsung. Kesimpulan itu berasal dari model fisika terintegrasi yang dicocokkan dengan diagnostik; seberapa besar kita memercayai pembagian antara kompresi, pemanasan Ohmik, dan kehilangan energi bergantung pada seberapa baik model tersebut.
- Ini adalah **pracetak perusahaan, belum ditinjau sejawat.** Hasil dilaporkan sendiri oleh tim yang membangun mesin dan telah menghimpun dana berdasarkan janjinya; tinjauan independen belum terjadi.
- Peningkatan neutron **bukan** hasil fusi yang relevan untuk produksi energi. Sejumlah neutron memang diharapkan dari deuterium pada kondisi ini, jauh di bawah apa pun yang berguna untuk pembangkit.
- Hasil ini tidak mengatakan apa pun tentang pernyataan perusahaan yang terpisah bahwa **pembangkit masa depan akan memasok listrik ke jaringan** — klaim yang diperlakukan dengan sangat hati-hati oleh peliputan independen.

## Seberapa kuat buktinya?

- **Klaim intinya sempit dan dapat diperiksa.** "Kami memampatkan plasma termagnetisasi dan ia menjadi lebih panas, terutama karena kompresi" adalah tepat mekanisme yang perlu lolos uji bagi MTF, dan makalah mendukungnya dengan serangkaian tembakan berinstrumentasi kuat serta model neraca energi eksplisit. Jika bertahan dalam peninjauan sejawat, ini merupakan validasi awal yang nyata bagi pendekatan tersebut.
- **Keterbatasannya bersifat struktural, bukan kosmetik.** Sebelas tembakan, satu mesin, satu tim, belum ditinjau, dan temperatur utama satu orde besaran di bawah plasma yang terbakar. Kesimpulan yang paling penting — *mayoritas pemanasan berasal dari kompresi* — bertumpu pada model, sehingga pertanyaan utama dalam peninjauan sejawat adalah apakah pembagian itu kokoh.
- **Status yang jujur adalah mekanisme yang didemonstrasikan, bukan tonggak energi yang dicapai.** Hasil ini menggeser MTF dari "kompresi *seharusnya* memanaskan plasma" ke "kompresi

*memang* memanaskan plasma", dan tidak lebih besar dari itu.

## Mengapa ini penting

Hal menarik dari magnetized target fusion adalah ekonominya, bukan pemecahan rekor. Jika kompresi mekanis dapat memanaskan plasma menuju kondisi fusi, mungkin kondisi itu dapat dicapai tanpa magnet skala ITER atau laser skala NIF — jalur yang lebih murah dan lebih cepat diiterasi, *jika* memang bekerja. Kata "jika" itulah seluruh permainan, dan jawabannya bergantung pada tonggak yang tidak glamor seperti ini: apakah kompresi benar-benar menghasilkan pemanasan yang dijanjikan model? Jawaban LM26 dari tembakan pertamanya adalah ya, dengan syarat. Dan justru karena bersyarat, hasil ini layak dicatat — satu anak tangga pada tangga yang panjang, dilaporkan oleh orang-orang yang sedang menaikinya, belum diperiksa pihak lain, dan masih jauh di bawah puncak.

## Singkatnya

LM26 milik General Fusion memampatkan plasma deuterium termagnetisasi dengan liner litium yang mengimplosi dan menunjukkan plasma itu memanas — temperatur elektronnya meningkat lebih dari tiga kali hingga puncak terukur sekitar 0,72 keV (718 ± 80 eV, ~8 juta °C) — dengan analisis perusahaan mengatribusikan sebagian besar pemanasan pada kompresi itu sendiri, mekanisme yang menjadi sandaran pendekatan magnetized-target-fusion mereka. Itu adalah langkah rekayasa yang nyata dan spesifik bagi jalur fusi ini. Namun ini juga baru 11 tembakan pertama pada satu mesin, dijelaskan dalam pracetak perusahaan yang belum ditinjau sejawat, pada temperatur sekitar sepuluh kali di bawah yang dibutuhkan plasma yang terbakar, tanpa energi bersih, tanpa breakeven, dan tanpa listrik. Sebuah mekanisme ditunjukkan; sebuah pembangkit belum dibangun.

---

## Sumber

S. J. Howard et al. (General Fusion), The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment, arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (2026)
https://arxiv.org/abs/2606.23974

General Fusion, 'General Fusion Achieves Compressional Plasma Heating with LM26 Magnetized Target Fusion Machine' (company announcement, June 2026)
https://generalfusion.com/post/general-fusion-achieves-compressional-plasma-heating-with-lm26-magnet

Nature news, 'Nuclear-fusion firm says plant will deliver electricity to grid - but big questions remain' (2026)
https://www.nature.com/articles/d41586-026-01795-z