



Japan Atomic  
Energy Agency

# Core Characteristics and Thermal Hydraulic Aspects of Pebble Bed

Nuri Trianti

**Follow Up Training Course on  
Reactor Engineering and Safety:  
High-Temperature Gas-Cooled Reactor**

Yogyakarta, 18 - 22 May 2026



# BIODATA



**Dr. Nuri Trianti, S.Si., M.Si.**

Peneliti Ahli Madya  
Teknofisika Reaktor Nuklir  
Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir  
Organisasi Riset Tenaga Nuklir  
Badan Riset dan Inovasi Nasional

nuri012@brin.go.id  
08121 4321 004

## Education Background:

Bachelor, Department of Physics, Institut Teknologi Bandung, 2010  
Master's, Department of Physics, Institut Teknologi Bandung, 2012  
Doctoral, Department of Physics, Institut Teknologi Bandung, 2016

## Professional Experience:

Research Assistant, **ITB**, 2012 – 2016  
Postdoctoral Fellow, **JAEA**, 2016 – 2020  
Researcher, **ITB**, 2020 – 2022  
Researcher (Permanent), **BRIN**, 2022 – present

## Research Interests:

Neutronic-thermal hydraulic couple calculation for design and safety analysis of Small and Modular Reactor (SMR) and Research Reactor

# Outlines



**Introduction**

**Core Characteristics of Pebble Bed Reactor**

**Thermal Hydraulic Aspects**

**Safety Relevant Phenomena**

# Learning Objectives



- Peserta mampu mengidentifikasi karakteristik teras *pebble bed reactor*
- Peserta mampu menjelaskan fenomena termalhidraulik pada *pebble bed reactor*
- Peserta memahami keterkaitan antara desain reaktor dengan keselamatan HTGR jenis *pebble bed*



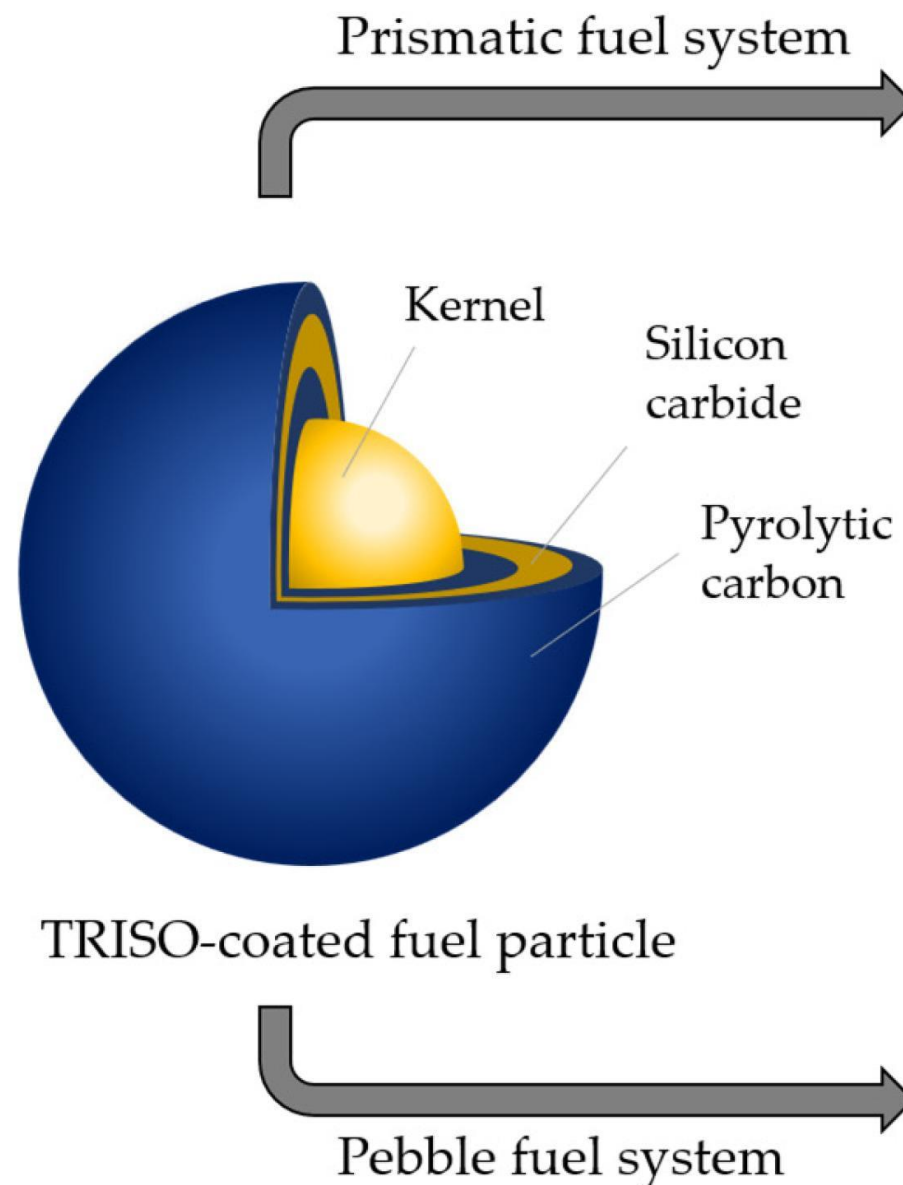
# Introduction

# Latar Belakang HTGR (High-Temperature Gas-Cooled Reactor)



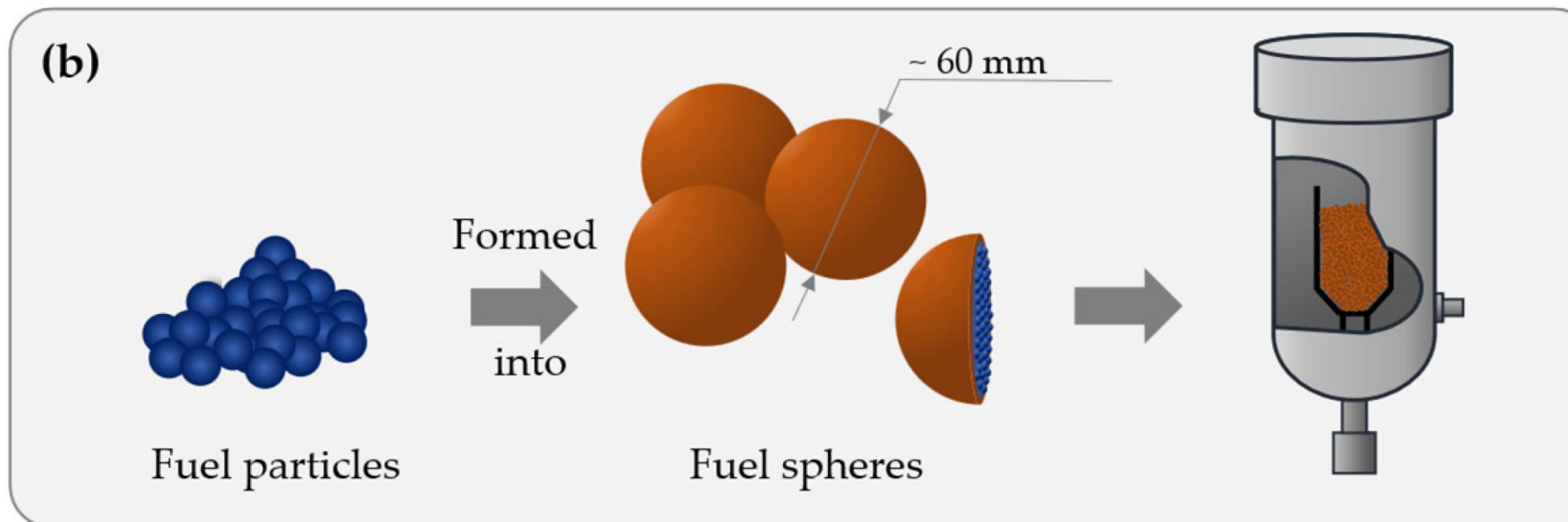
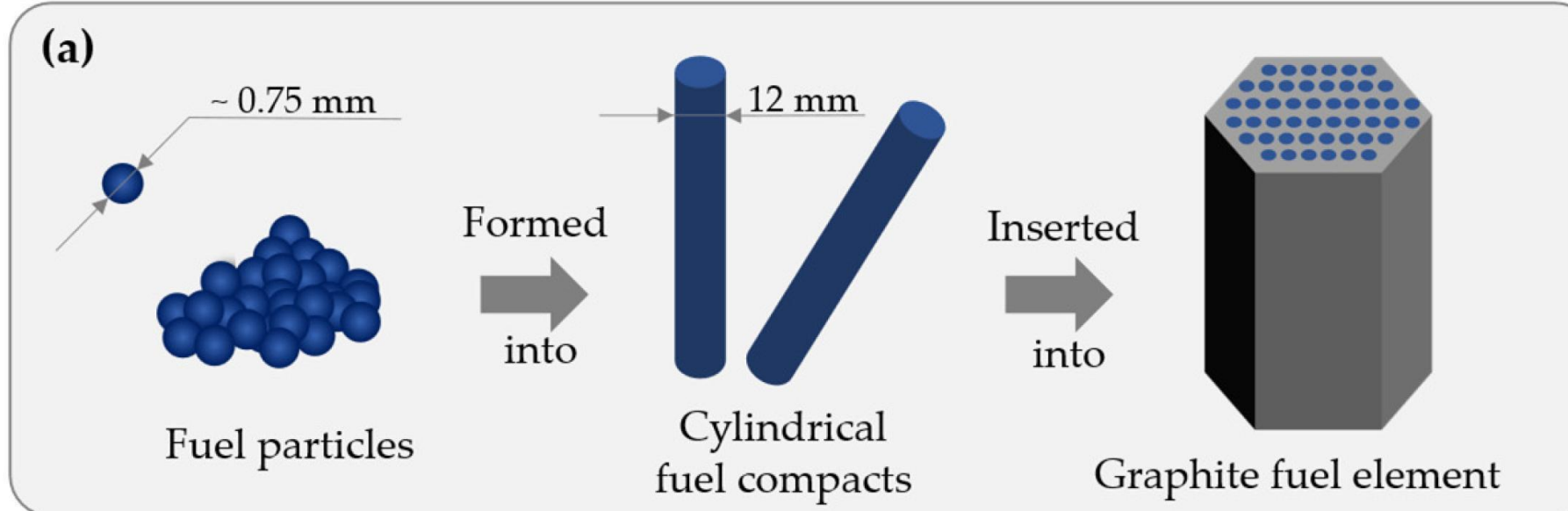
- Evolusi reaktor gas pendingin: Magnox AGR HTGR
- Mengapa HTGR? Efisiensi termal tinggi (~40-50%) dan potensi kogenerasi (produksi hidrogen, panas industri).
- Dua mazhab utama HTGR: *Prismatic Block* (contoh: HTTR Jepang) vs. *Pebble Bed* (contoh: HTR-10, HTR-PM Tiongkok).

# HTGR Types Based on Core and Fuel Configurations



Prismatic fuel system

Pebble fuel system



Prismatic
block fuel
channel flow
Offline refuelling
fixed geometry

Pebble Bed
spherical fuel
porous flow
online refuelling
random packing

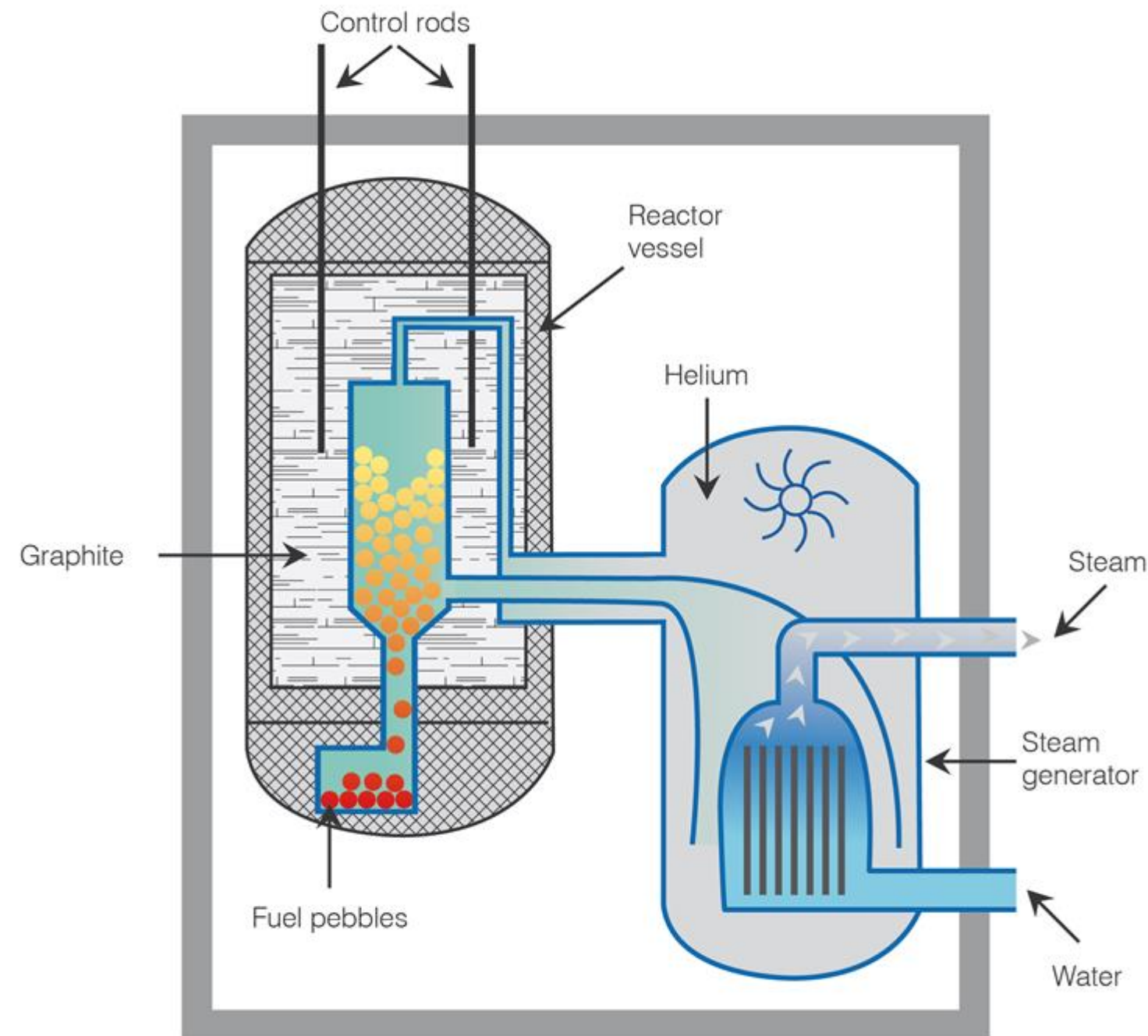
Mater. Today 2010,13, 14–23.

# Pebble Bed Reactor



WORLD NUCLEAR ASSOCIATION

A High-Temperature Reactor (HTR)



Teras reaktor berupa silinder grafit yang diisi oleh ribuan hingga ratusan ribu elemen bakar berbentuk bola (*pebble*).

**Pendingin:** Gas helium (He) – inert, stabil pada suhu tinggi.

**Moderator:** Grafit – kapasitas panas besar, stabil secara struktural pada suhu ekstrem.

# Pebble Bed Modular Reactor (PBMR): Applications for Process Heat



- Steam Generation

- Heavy Oil Recovery
- Oil Sands
- Cogeneration

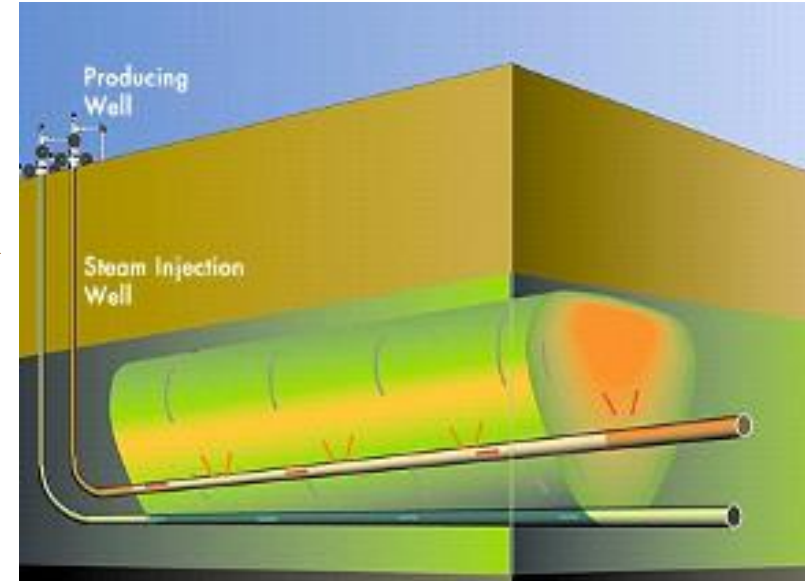
- Steam Methane Reforming

- Hydrogen
- Ammonia
- Methanol

- Water-Splitting (H<sub>2</sub> & O<sub>2</sub>)

- Bulk Hydrogen
- Coal-to-liquids
- Coal-to-methane

- Desalination



Topics Countries & regions

OECD > Publications > High-temperature Gas-cooled Reactors and Industrial Heat Applications

## High-temperature Gas-cooled Reactors and Industrial Heat Applications

Report

More info

<https://www.oecd.org/en/publications>

The [Process Heat](#) Market seems to have many more opportunities for PBMR than Power Generation

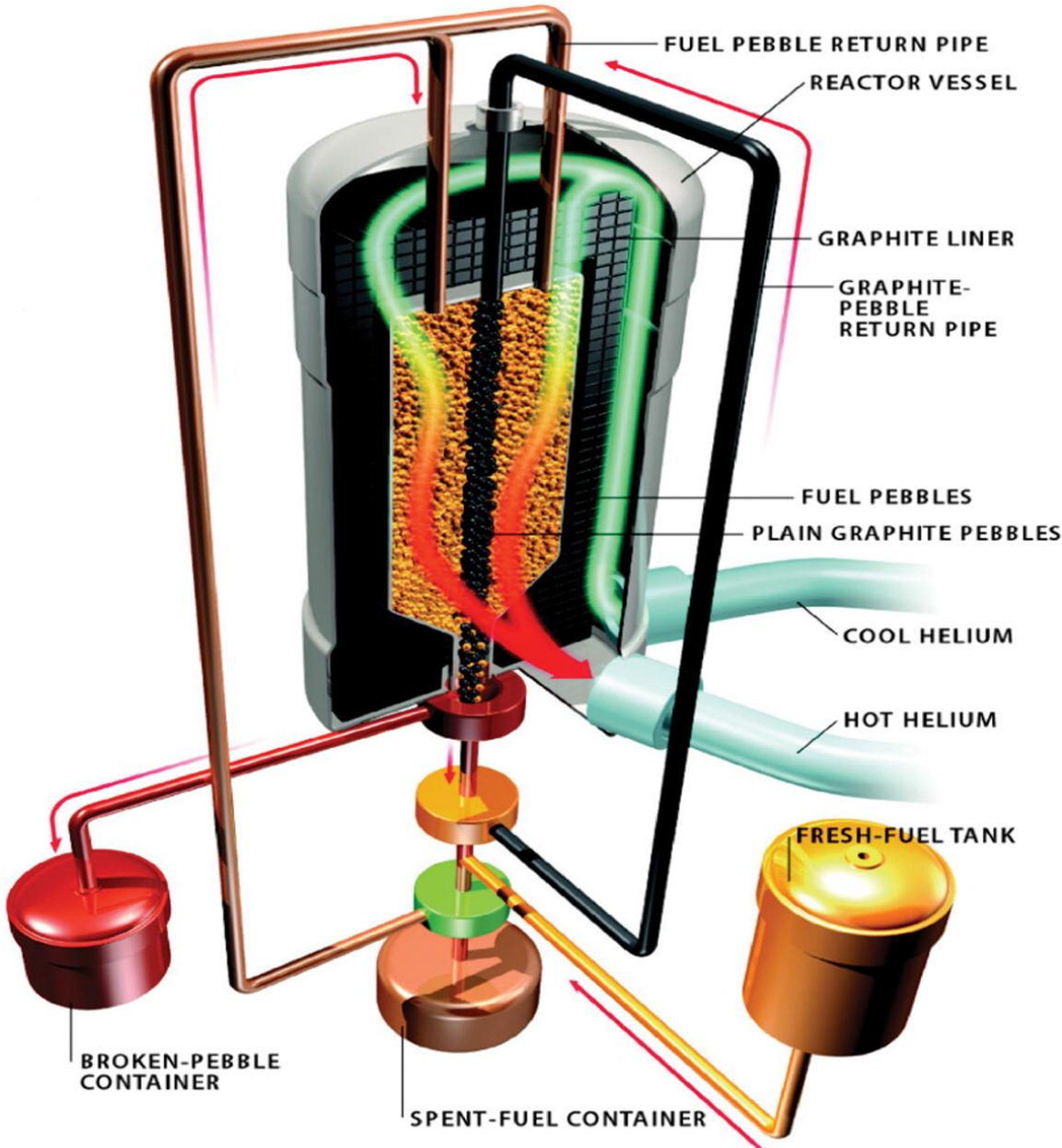


# Core Characteristics of Pebble Bed Reactor

# Pebble Bed Core Geometry and Configuration

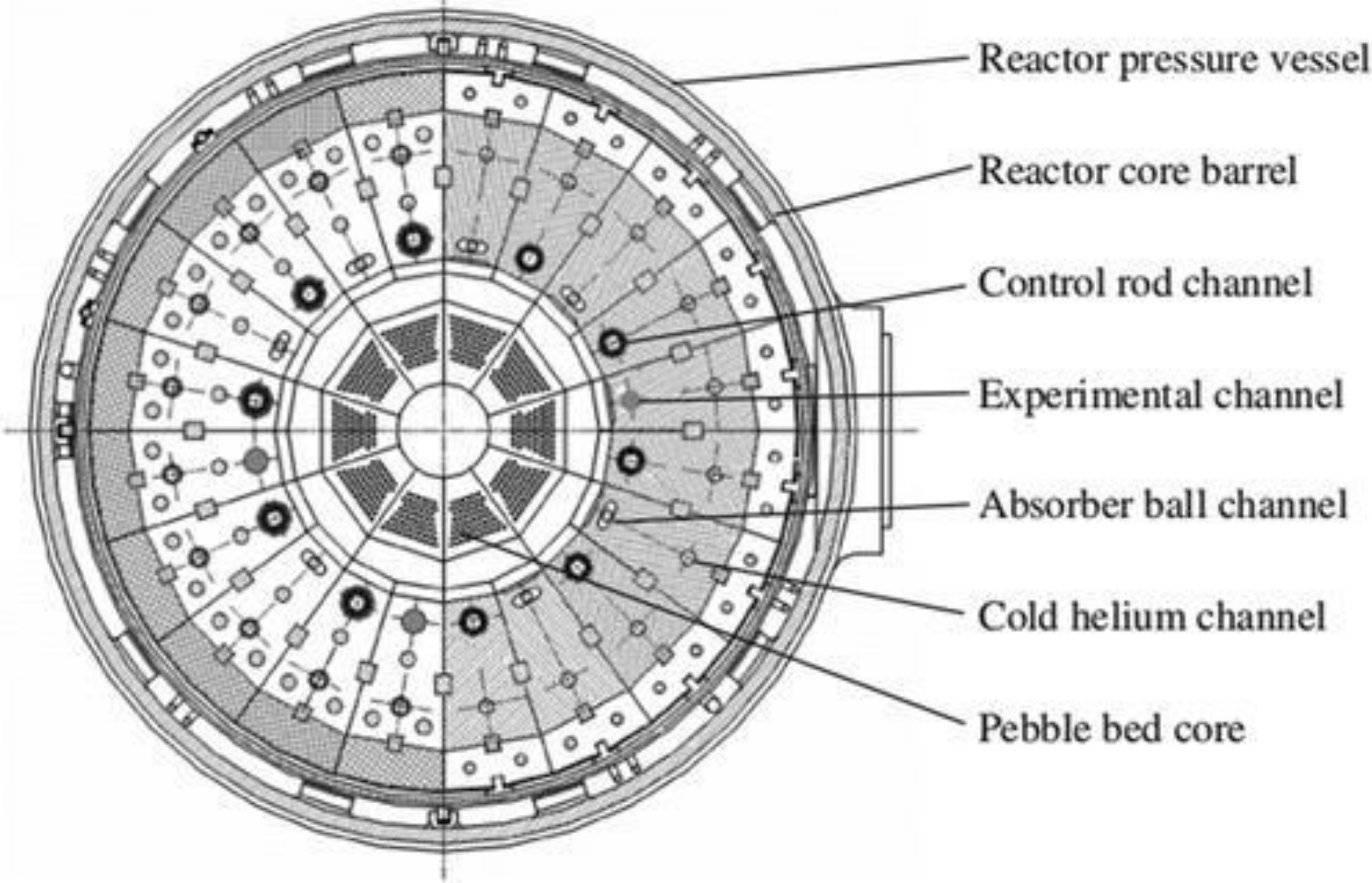


Diagram Skematik *Reactor Vessel dan Cooling System Pebble Bed Reactor*



Nuclear Science and Engineering 2023, 197 (6), 1001-1037

Tampak Radial Teras *Pebble Bed Reactor*



Nuclear Science and Engineering 2024, 198(11), 2174-2189



# Pebble Bed Core Geometry and Configuration

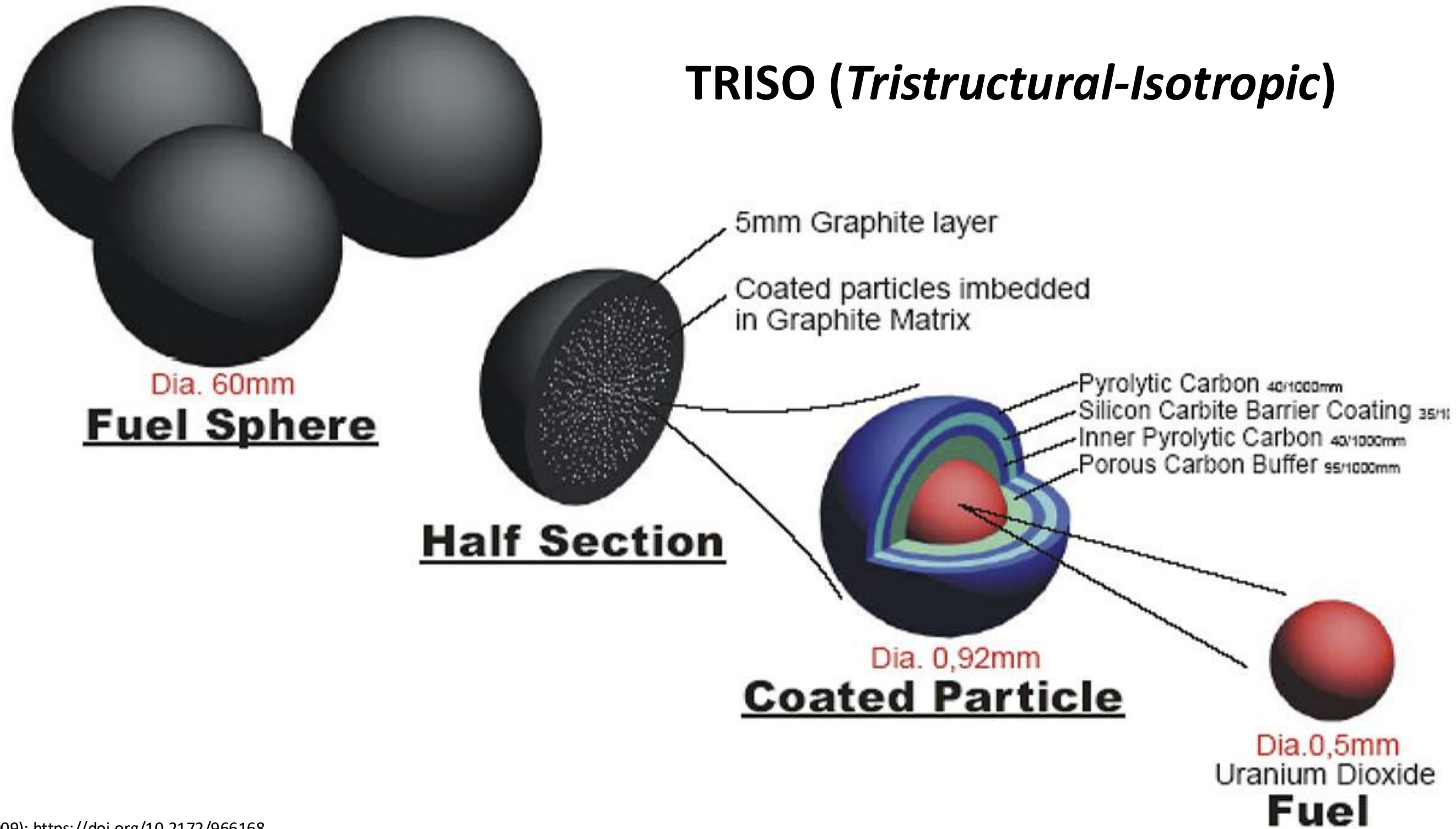


<b>Geometri Teras</b>	Reaktor pebble bed umumnya menggunakan konfigurasi <b>silinder (cylindrical core)</b> atau <b>annular core</b> yang diisi pebble bahan bakar berisi partikel TRISO (Tristructural-Isotropic).
<b>Cylindrical Core</b>	Memiliki desain lebih sederhana dan distribusi neutron relatif simetris, namun temperatur maksimum di pusat teras dapat lebih tinggi.
<b>Annular Core</b>	Menggunakan reflektor grafit di bagian tengah untuk meningkatkan pelepasan panas pasif dan menurunkan hotspot temperatur.
<b>Reflector</b>	Reflektor grafit berfungsi mengurangi kebocoran neutron, meningkatkan ekonomi neutron, dan membantu stabilitas termal teras.
<b>Coolant Path</b>	Gas helium mengalir melalui celah antar pebble (porous media flow), menyerap panas dari bahan bakar, lalu membawa energi menuju sistem konversi daya.

# Pebble Fuel Structure



## TRISO (*Tristructural-Isotropic*)



Idaho National Laboratory (2009); <https://doi.org/10.2172/966168>.

# Pebble Fuel Structure



Komponen	Fungsi Utama
<b>Fuel Kernel</b>	Inti bahan bakar (umumnya $UO_2$ atau UCO) sebagai sumber reaksi fisi
<b>Porous Carbon Buffer</b>	Menyerap gas fisi dan mengurangi tegangan mekanik akibat ekspansi produk fisi
<b>Inner Pyrolytic Carbon (IPyC)</b>	Memberikan perlindungan struktural awal dan menjaga stabilitas partikel
<b>Silicon Carbide (SiC)</b>	Lapisan utama penahan produk fisi, berfungsi sebagai “miniature pressure vessel”
<b>Outer Pyrolytic Carbon (OPyC)</b>	Melindungi lapisan SiC dan meningkatkan kekuatan mekanik partikel
<b>Graphite Matrix</b>	Matriks grafit tempat ribuan partikel TRISO tertanam di dalam pebble

# Packing Characteristics



## Sample Pebble Bed Packing from PEBBLES Code



Pebbles: A Computer Code for Modeling Packing, Flow, and Re-Circulation of Pebbles in a Pebble Bed Reactor

- **Packing Fraction:** Fraksi volume pebble terhadap total volume teras. Pada pebble bed reactor umumnya sekitar 60–64%.
- **Porosity ( $\epsilon$ ):** Fraksi ruang kosong antarpebble yang dilalui pendingin helium, umumnya sekitar 36–40%.
- **Random Arrangement:** Susunan pebble bersifat acak (*random packing*), sehingga jalur aliran pendingin menjadi kompleks dan tidak seragam.
- **Pebble-to-Pebble Contact:** Titik kontak antarpebble mempengaruhi perpindahan panas secara konduksi dan distribusi temperatur lokal.

# Packing Characteristics



Packing characteristics sangat mempengaruhi:

- **Pressure Drop**
  - Porositas kecil → tahanan aliran meningkat
  - Pressure drop menjadi lebih besar
- **Heat Transfer**
  - Kontak antarpebble mempengaruhi konduksi panas
  - Distribusi void mempengaruhi konveksi helium
- **Flow Distribution**
  - Random packing dapat menyebabkan:
    - *flow maldistribution*
    - *channeling effect*
    - hotspot lokal

# Neutronic Characteristics



- **Thermal Neutron Spectrum:** HTGR bekerja pada spektrum neutron termal, di mana neutron diperlambat oleh moderator grafit sebelum menyebabkan reaksi fisi berikutnya.
- **Graphite Moderation:** Grafit memiliki kemampuan moderasi neutron yang sangat baik dengan penyerapan neutron yang rendah sehingga meningkatkan ekonomi neutron.
- **Low Power Density:** Densitas daya HTGR relatif lebih rendah dibandingkan dengan LWR sehingga temperatur bahan bakar meningkat lebih lambat dan mendukung keselamatan pasif.
- **Negative Temperature Coefficient:** Kenaikan temperatur menyebabkan penurunan reaktivitas reaktor secara alami sehingga membantu stabilitas dan keselamatan operasi.
- **Neutron Flux Distribution:** Distribusi fluks neutron dipengaruhi oleh geometri teras, reflektor, distribusi bahan bakar, dan konfigurasi aliran pendingin.
- **Power Peaking:** Ketidakteragaman distribusi daya dapat menyebabkan power peaking lokal yang berpotensi menghasilkan hotspot temperatur.

# Neutronic Characteristics: Power Distribution Profile



- **Radial Power Profile**

- Daya biasanya lebih tinggi di bagian tengah teras
- Menurun menuju *reflector* akibat *neutron leakage*
- *Annular core* dapat membantu meratakan distribusi daya radial

- **Axial Power Profile**

- Distribusi daya berubah sepanjang arah vertikal teras
- Dipengaruhi oleh:
  - burnup pebble
  - distribusi pendingin
  - mekanisme refueling (Once-Through-Then-Out/OTTO atau multi-pass)

# Neutronic Characteristics: Local Hotspot Formation



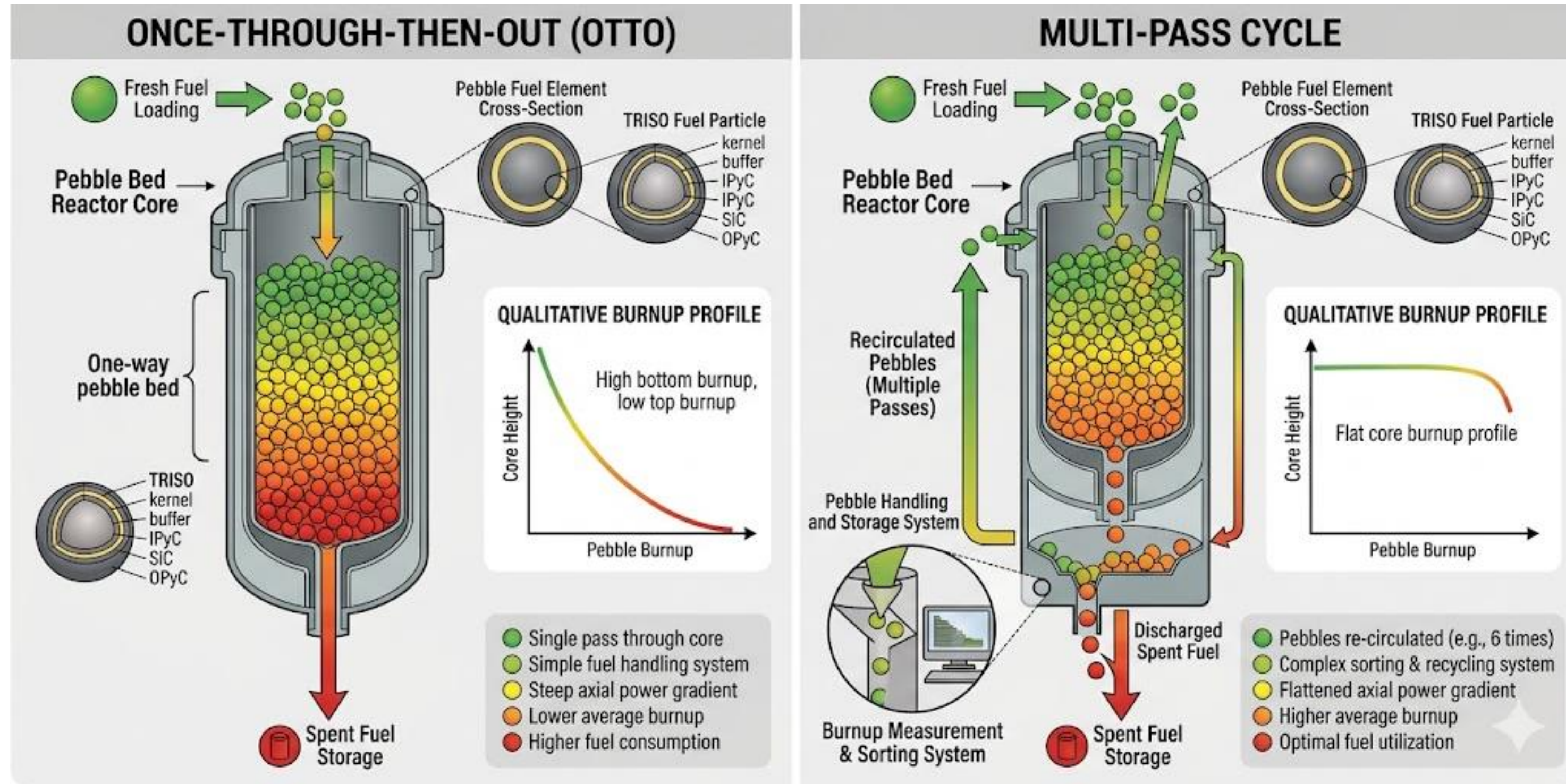
- **Hotspot lokal dapat terjadi akibat:**
  - distribusi daya tidak seragam
  - *flow maldistribution*
  - variasi packing pebble
  - *local power peaking*
  
- **Dampak dari Local Hotspot Formation:**
  - kenaikan temperatur lokal
  - peningkatan *thermal stress*
  - potensi degradasi material

# Fuel Management



<b>Online Refueling</b>	Pebble fuel dapat dimasukkan dan dikeluarkan saat reaktor tetap beroperasi tanpa <i>shutdown</i> .
<b>Multi-Pass Fuel</b>	Pebble yang keluar dari teras diukur burnup-nya, kemudian dapat dimasukkan kembali ke teras beberapa kali hingga mencapai burnup target.
<b>Burnup Distribution</b>	Distribusi burnup di dalam teras menjadi lebih homogen karena sirkulasi bahan bakar secara kontinu.
<b>Equilibrium Core</b>	Setelah beberapa siklus refueling, teras mencapai kondisi stabil di mana distribusi burnup, fluks neutron, dan distribusi daya relatif konstan terhadap waktu.

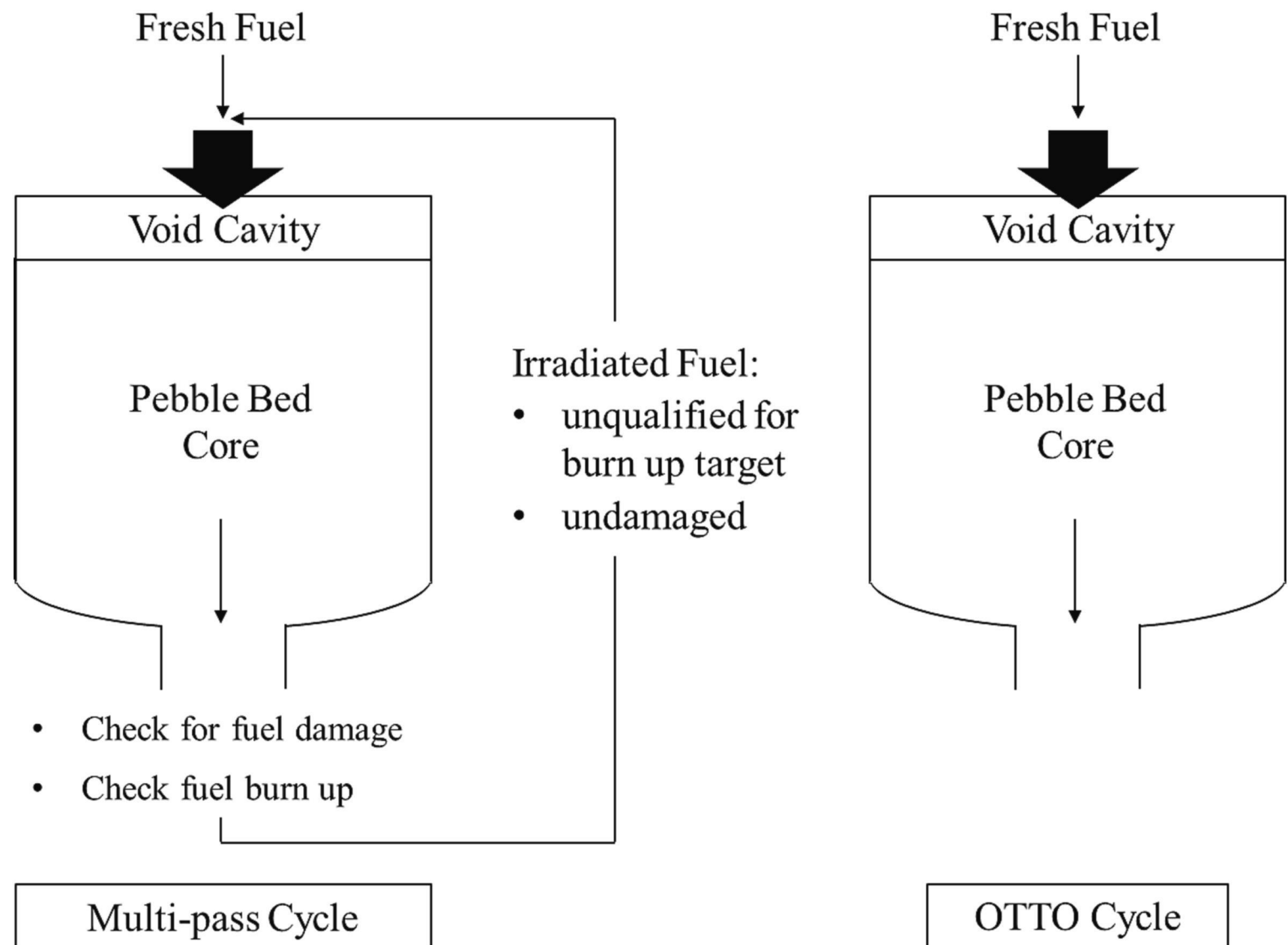
# Fuel Management: Multi-Pass vs OTTO



# Fuel Management: Multi-Pass vs OTTO



## Skema refueling Multi-pass and OTTO



Aspek	Multi-Pass Fuel Management	OTTO Fuel Management
<b>Fuel Circulation</b>	Resirkulasi kontinu	Single-pass downward flow
<b>Burnup Pebble</b>	Bertahap meningkat setiap sirkulasi	Burnup meningkat dalam satu lintasan
<b>Burnup Distribution</b>	Lebih homogen	Lebih heterogen
<b>Power Distribution</b>	Relatif lebih merata	Lebih tinggi di bagian tertentu
<b>Fuel Handling System</b>	Lebih kompleks	Lebih sederhana
<b>Reactivity Control</b>	Lebih stabil terhadap perubahan burnup	Perubahan burnup lebih signifikan sepanjang teras

Nuclear Engineering and Design 2023, 415, 112696

# Reactivity Feedback



- Pada HTGR Pebble Bed, koefisien reaktivitas—khususnya koefisien Doppler (suhu bahan bakar) dan koefisien Moderator (suhu grafit)—sangat negatif, sehingga menjamin keamanan inheren yang kuat.

Jenis Koefisien	Penjelasan	Dampak terhadap Reaktivitas
<b>Doppler Coefficient</b>	Kenaikan temperatur bahan bakar menyebabkan pelebaran resonance absorption pada U-238 sehingga lebih banyak neutron diserap	Reaktivitas menurun
<b>Moderator Coefficient</b>	Perubahan temperatur grafit mempengaruhi kemampuan moderasi neutron termal	Umumnya negatif pada HTGR
<b>Void Coefficient</b>	Perubahan densitas pendingin helium mempengaruhi interaksi neutron di dalam teras	Efek relatif kecil karena helium memiliki penyerapan neutron sangat rendah

# Reactivity Feedback: Implications for Reactor's Safety



- Karakteristik ini menjadi dasar Inherent Safety HTGR, karena:
  - reaktor memiliki *self-stabilizing behavior*
  - kenaikan temperatur secara otomatis menurunkan daya
  - membantu mencegah *runaway power excursion*
- Pada kondisi accident, contoh: Loss of Flow Accident (LOFA) atau DLOFC, ketika temperatur naik → reaktivitas turun secara otomatis → laju fisi berkurang → temperatur menjadi lebih stabil



# Thermal Hydraulic Aspects

# Thermal Hydraulic Overview



- **Helium Coolant**

Gas helium digunakan sebagai pendingin primer yang mengalir melalui celah antar pebble. Helium bersifat inert, *single-phase*, dan memiliki penampang serapan neutron yang sangat rendah. Implikasinya, tidak terjadi *boiling crisis/departure nucleate boiling* (DNB), kompatibel dengan operasi temperatur tinggi, dan tidak mengganggu *neutron economy*.

- **High Outlet Temperature**

HTGR dapat menghasilkan temperatur outlet helium tinggi, umumnya sekitar 700–950°C, tergantung desain reaktor. Cocok untuk pembangkitan listrik efisiensi tinggi, produksi hidrogen, ammonia, dan proses panas industri.

# Thermal Hydraulic Overview



- **Low Power Density**

Densitas daya HTGR lebih rendah dibandingkan reaktor air ringan, sehingga laju kenaikan temperatur saat transien lebih lambat. Low power density memberikan margin termal lebih besar dan mendukung respons keselamatan pasif.

- **Passive Heat Removal**

Panas sisa dapat dilepaskan melalui konduksi, radiasi, dan konveksi alamiah, terutama melalui grafit dan struktur reaktor. Hal ini menjadi dasar kemampuan HTGR untuk mempertahankan temperatur bahan bakar dalam batas aman saat *Loss of Forced Cooling* (LOFC).

# Flow in Pebble Bed



- Pada HTGR pebble bed, gas helium mengalir melalui celah antar pebble. Karena pebble tersusun secara acak, aliran pendingin tidak berbentuk kanal teratur, tetapi menyerupai **aliran pada media berpori / *porous media flow***.

Parameter	Implikasi Termal-Hidraulik
<b>Superficial Velocity</b> Kecepatan aliran seolah-olah fluida melewati seluruh luas penampang teras, termasuk area yang sebenarnya ditempati pebble.	Digunakan dalam analisis global pressure drop dan korelasi aliran packed bed.
<b>Interstitial Velocity</b> Kecepatan aktual fluida yang mengalir hanya melalui ruang kosong antar pebble. Nilainya lebih besar dari <i>superficial velocity</i> .	Mempengaruhi perpindahan panas lokal, mixing, dan potensi hotspot.
<b>Flow Regime</b> <i>Flow regime</i> dapat berupa laminar, transisi, atau turbulen, bergantung pada Reynolds number, diameter pebble, densitas, viskositas, dan kecepatan helium.	Menentukan karakter pressure drop, heat transfer coefficient, dan distribusi temperatur.

# Flow in Pebble Bed



- Hubungan **Superficial** dan **Interstitial Velocity**

$$u_i = \frac{u_s}{\varepsilon}$$

Keterangan:

$u_i$  = interstitial velocity

$u_s$  = superficial velocity

$\varepsilon$  = porosity / fraksi ruang kosong antar pebble

- Semakin kecil porositas, semakin besar kecepatan aktual helium di celah antar pebble, sehingga pressure drop meningkat dan distribusi pendinginan dapat menjadi lebih tidak seragam.

# Pressure Drop



- Hambatan aliran helium yang melalui celah antar pebble menyebabkan pressure drop dari inlet ke outlet teras reaktor.
- Rugi-rugi aliran laminar dan turbulen melalui packed bed dapat dikombinasikan ke dalam satu persamaan “Ergun Equation”. Secara matematis, persamaan ini dinyatakan sebagai:

$$\Delta P = \frac{150(1 - \varepsilon)^2 \mu u_s}{\varepsilon^3 d_p^2} + 1.75 \frac{(1 - \varepsilon) \rho u_s^2}{\varepsilon^3 d_p}$$

Keterangan:

$\Delta P$  = Pressure drop

$\varepsilon$  = Porositas pebble bed

$d_p$  = Diameter pebble

$u_s$  = Superficial velocity

$\mu$  = Viskositas helium

$\rho$  = Densitas helium

# Pressure Drop



- Interpretasi fisik dari Ergun Equation sebagai berikut:

Faktor	Pengaruh terhadap Pressure Drop
<b><i>Pebble Diameter</i></b>	Diameter pebble lebih kecil → celah aliran lebih sempit → friction meningkat → pressure drop naik
<b><i>Porosity</i></b>	Porositas lebih kecil → ruang kosong lebih sedikit → aliran lebih terhambat → pressure drop naik signifikan
<b><i>Coolant Velocity</i></b>	Kecepatan helium lebih tinggi → gaya gesek dan efek inersia meningkat → pressure drop naik tajam

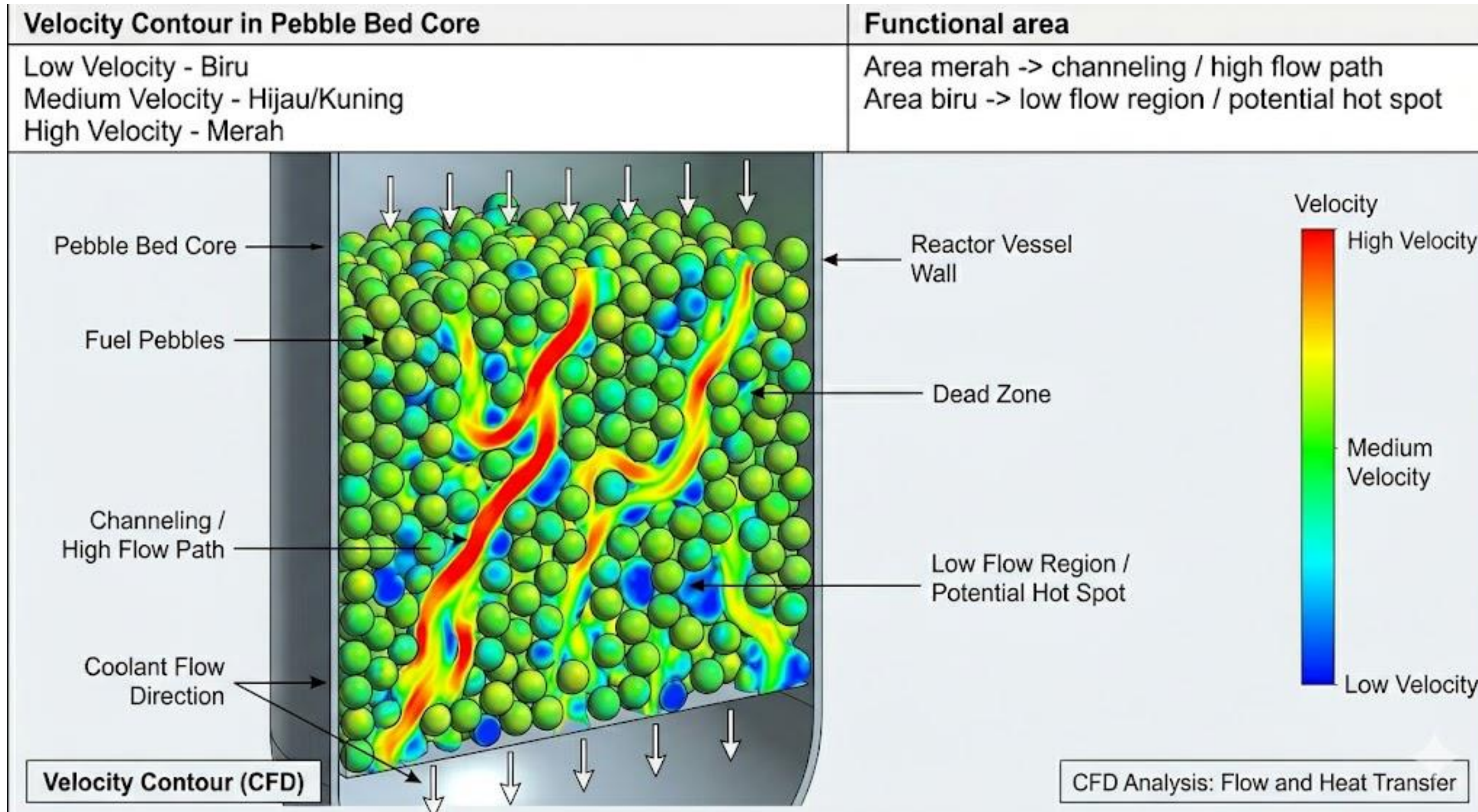
- Pressure drop menentukan kebutuhan daya blower/circulator dan mempengaruhi distribusi pendinginan di dalam teras pebble bed.

# Flow Distribution



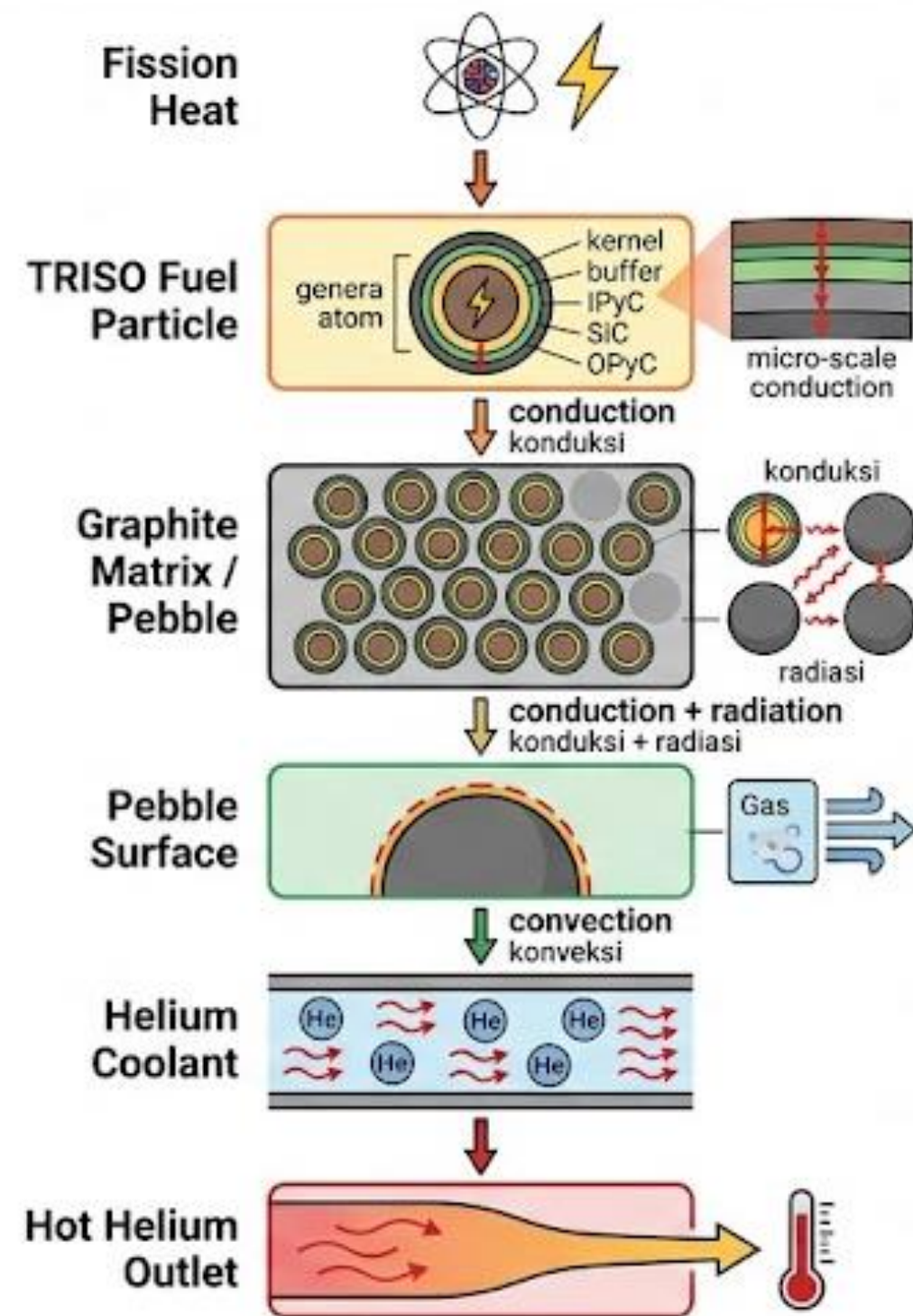
- Pada pebble bed HTGR, helium tidak selalu mengalir secara seragam di seluruh teras karena susunan pebble bersifat acak dan terdapat variasi porositas lokal.
- Fenomena distribusi aliran:
  - **Flow Maldistribution:** Distribusi aliran helium tidak merata di seluruh penampang teras. Sebagian area menerima aliran lebih besar, area lain lebih kecil → Area dengan aliran rendah berpotensi mengalami kenaikan temperatur lokal.
  - **Channeling:** Terbentuk jalur aliran preferensial akibat porositas lokal yang lebih besar atau susunan pebble yang tidak seragam → Pendingin cenderung melewati jalur dengan hambatan rendah, sehingga pendinginan area lain berkurang.
  - **Bypass Flow:** Sebagian helium mengalir di luar zona bahan bakar, misalnya melalui celah antara pebble bed dan reflector → Mengurangi efektivitas pendinginan teras aktif dan dapat meningkatkan temperatur maksimum bahan bakar.

# Flow Distribution



Distribusi aliran yang tidak seragam merupakan salah satu tantangan termal hidraulik terpenting dalam HTGR Pebble Bed karena secara langsung memengaruhi kemampuan pendinginan lokal dan pembentukan titik panas.

# Heat Transfer Mechanism



Perpindahan panas pada pebble bed HTGR terjadi melalui kombinasi **konduksi**, **konveksi**, dan **radiasi**.

Ketiga mekanisme ini bekerja secara simultan dari bahan bakar TRISO hingga panas dibawa keluar oleh pendingin helium.

# Heat Transfer Mechanism



Mekanisme	Jalur Perpindahan Panas	Peran dalam Pebble Bed
<b>Conduction</b>	Dari fuel kernel → lapisan TRISO → matriks grafit → permukaan pebble → kontak antar pebble	Menentukan temperatur internal pebble dan membantu penyebaran panas antar pebble, terutama pada titik kontak.
<b>Convection</b>	Dari permukaan pebble → gas helium yang mengalir di celah antar pebble	Mekanisme utama untuk membawa panas keluar dari teras selama operasi normal.
<b>Radiation</b>	Antar permukaan pebble dan antara pebble–reflector pada temperatur tinggi	Signifikan pada temperatur tinggi, terutama saat kondisi transien atau <i>Loss of Forced Cooling</i> (LOFC).

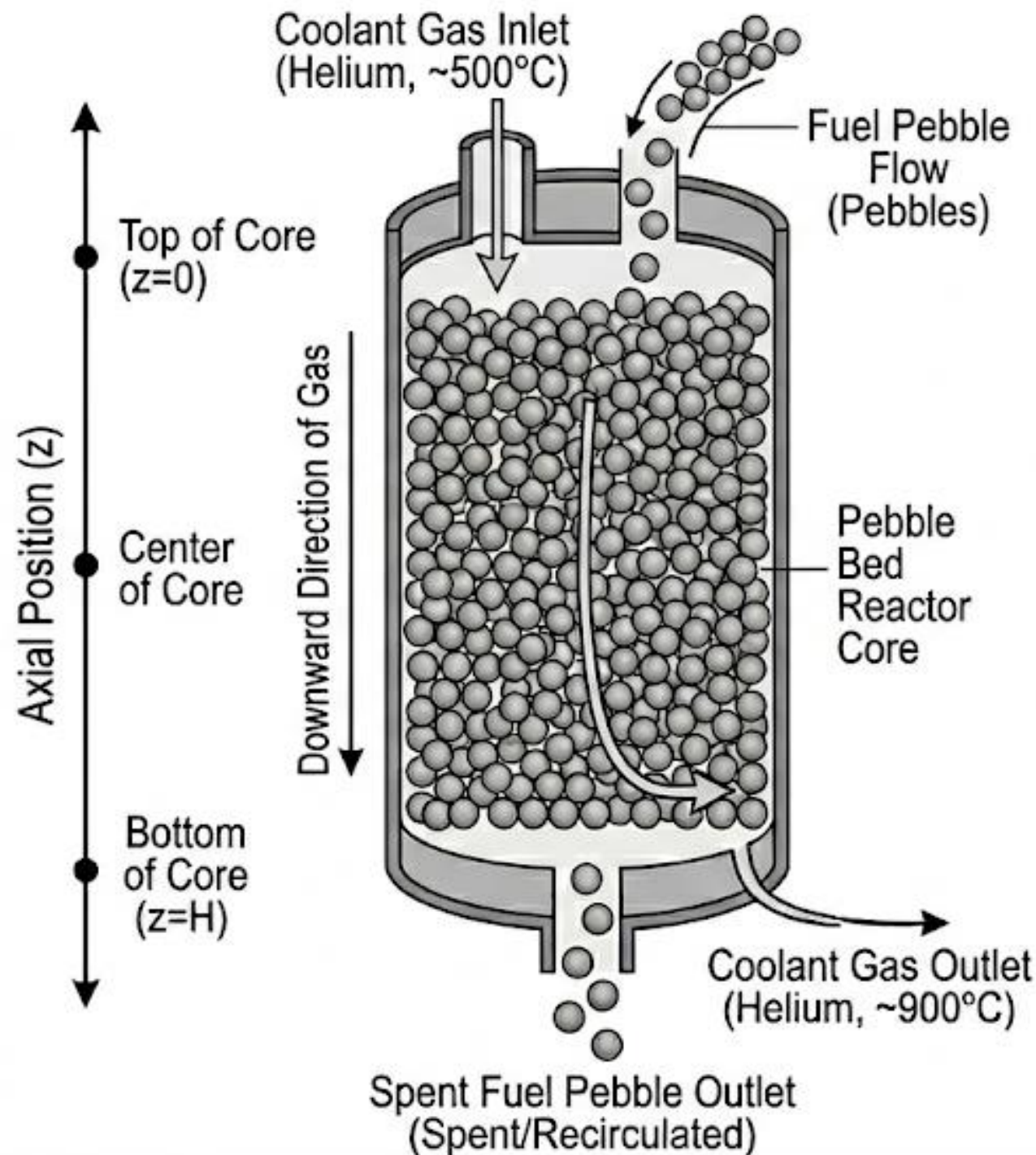
# Temperature Distribution



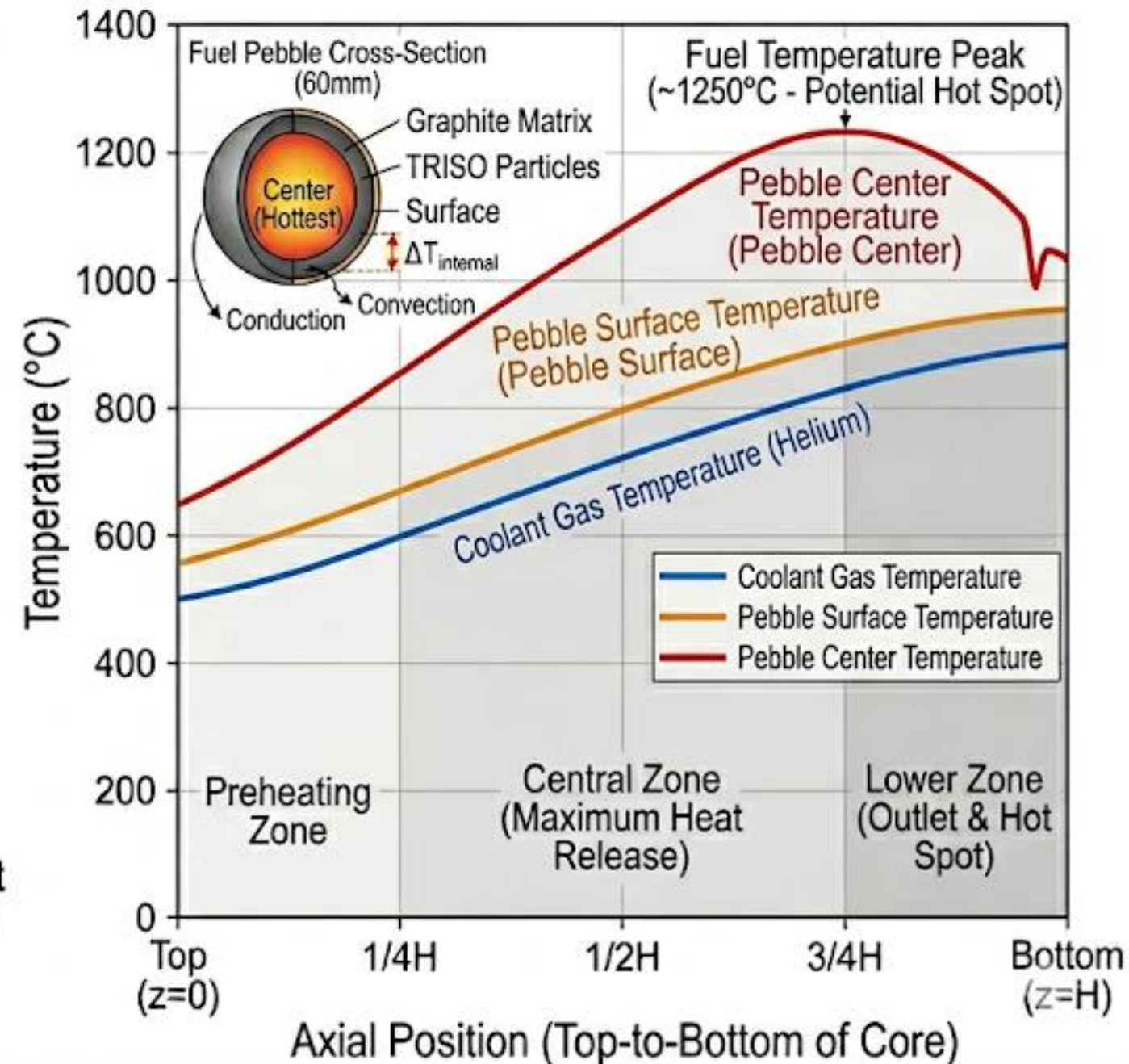
- Distribusi temperatur pada HTGR Pebble Bed ditentukan oleh lokasi pembangkitan panas di fuel kernel, kemampuan konduksi melalui pebble, serta efektivitas pendinginan helium sepanjang jalur aliran.

Parameter Temperatur		Implikasi Desain
<b>Fuel Center Temperature</b>	Temperatur tertinggi umumnya berada di pusat bahan bakar/TRISO region karena panas fisi dibangkitkan dari dalam pebble.	Harus dijaga tetap di bawah batas keselamatan bahan bakar TRISO.
<b>Pebble Surface Temperature</b>	Temperatur pada permukaan pebble setelah panas dihantarkan melalui matriks grafit.	Menentukan laju perpindahan panas konveksi ke helium.
<b>Coolant Temperature Rise</b>	Temperatur helium meningkat sepanjang aliran dari inlet menuju outlet akibat penyerapan panas dari pebble.	Menentukan outlet temperature, efisiensi sistem, dan margin pendinginan.

# Temperature Distribution



**Axial Temperature Profile in a Pebble Bed HTGR**



**Profil Temperatur Aksial:** Pada konfigurasi aliran dari atas ke bawah, temperatur helium umumnya **naik secara aksial** seiring melewati teras.

Namun, profil temperatur bahan bakar tidak hanya ditentukan oleh temperatur coolant, tetapi juga oleh **distribusi daya aksial**.

# Thermal Limit



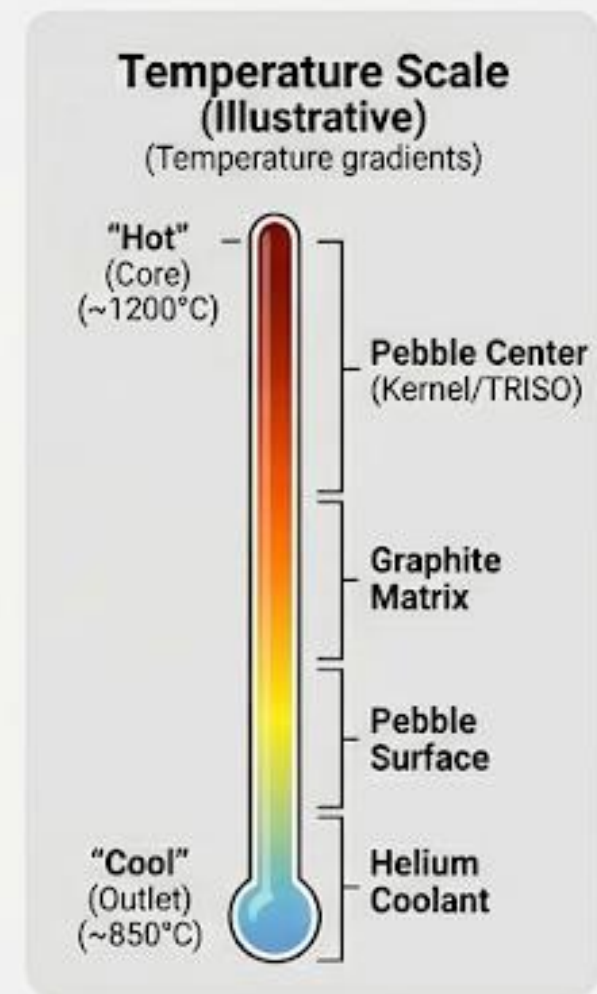
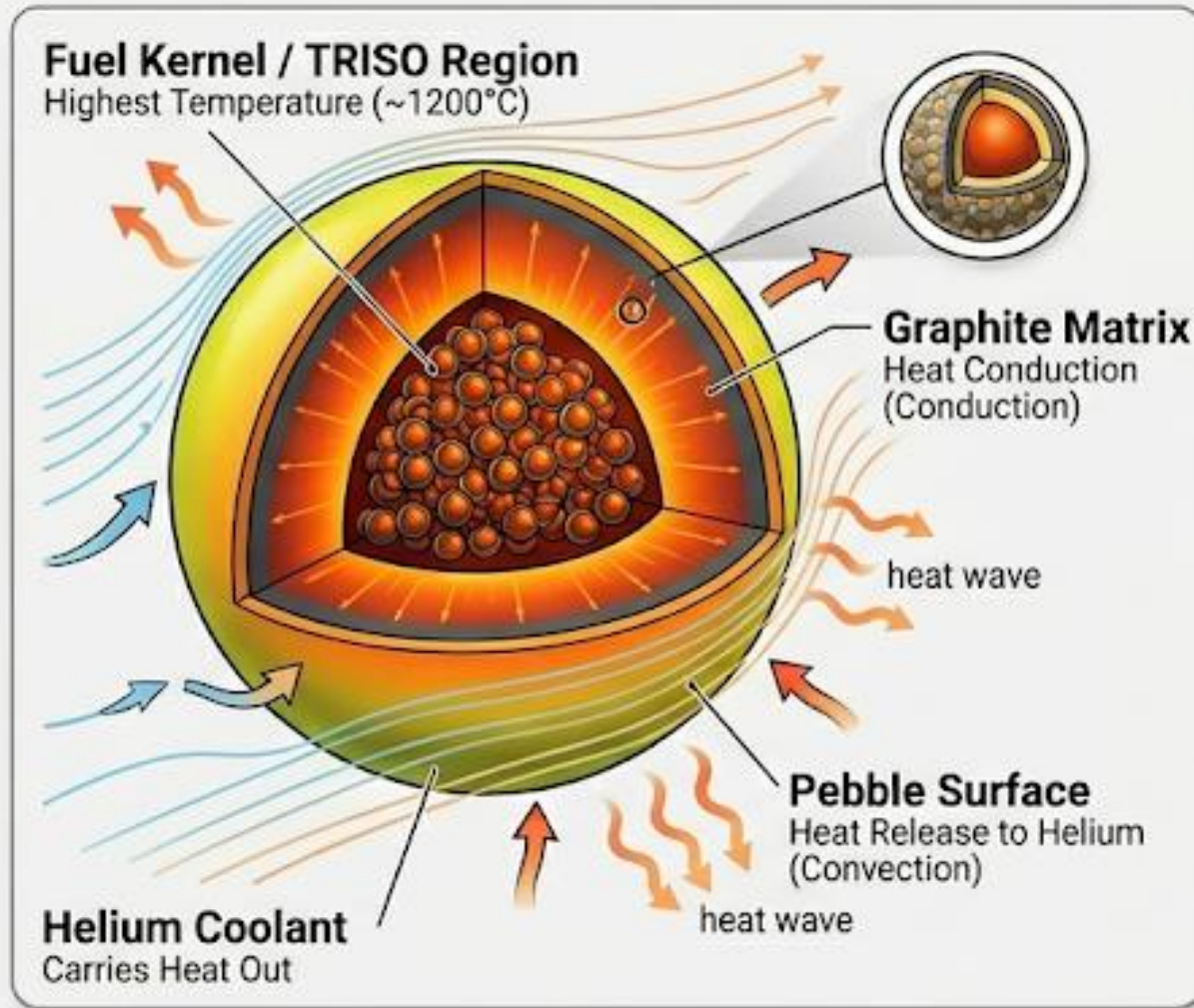
- Batas termal pada HTGR Pebble Bed terutama ditentukan oleh kemampuan bahan bakar TRISO dalam mempertahankan integritasnya pada temperatur tinggi, baik saat operasi normal maupun kondisi transien/kecelakaan.

	Aspek	Implikasi Keselamatan
<b>TRISO Failure Temperature</b>	Partikel TRISO dirancang tetap stabil pada temperatur tinggi. Batas acuan keselamatan yang umum digunakan adalah sekitar <b>1600°C</b> untuk menjaga retensi produk fisi.	Temperatur maksimum bahan bakar harus tetap berada di bawah batas ini pada kondisi normal maupun accident.
<b>Safety Margin</b>	Selisih antara temperatur maksimum bahan bakar hasil analisis dengan batas temperatur TRISO.	Semakin besar margin, semakin kuat justifikasi keselamatan desain reaktor.
<b>Fuel Integrity</b>	Integritas bahan bakar dipertahankan oleh lapisan multilayer TRISO: buffer, IPyC, SiC, dan OPyC.	Selama lapisan TRISO tetap utuh, produk fisi tetap tertahan di dalam partikel bahan bakar.

# Thermal Limit



## VISUALIZATION OF TEMPERATURE HIERARCHY IN A PEBBLE FUEL REACTOR



# Multi-physics Coupling



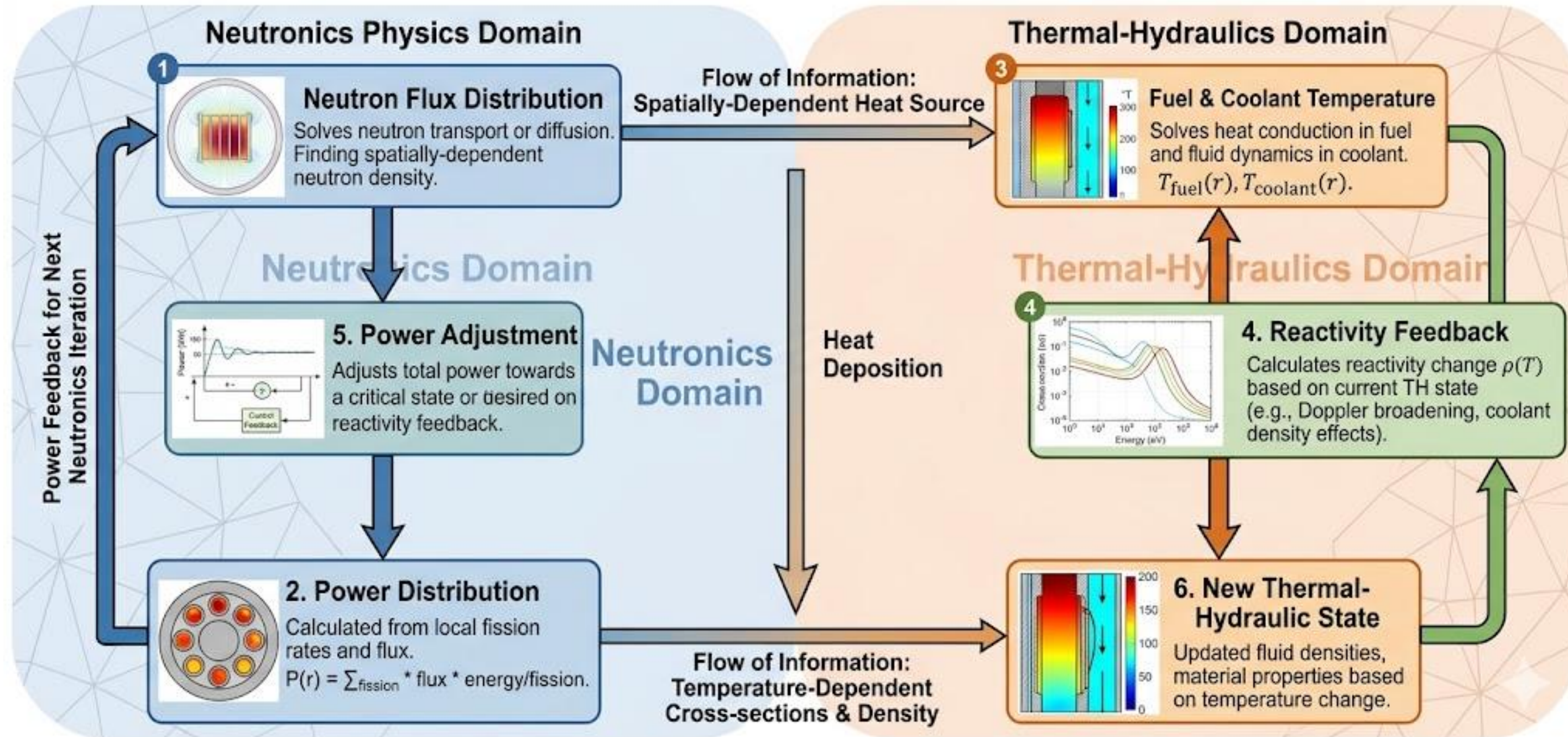
- Perilaku pebble bed HTGR tidak dapat dianalisis hanya dari sisi neutronik atau termal-hidraulik secara terpisah, karena **distribusi daya, temperatur, aliran pendingin, dan reaktivitas saling mempengaruhi.**

Interaksi Fisika	Mekanisme	Dampak pada Reaktor
<b>Neutronic → Thermal Hydraulic</b>	Distribusi fluks neutron menentukan distribusi daya dan sumber panas di dalam teras.	Power peaking dapat menyebabkan kenaikan temperatur lokal dan hotspot.
<b>Thermal Hydraulic → Neutronic</b>	Temperatur bahan bakar, moderator grafit, dan pendingin mempengaruhi reaktivitas.	Kenaikan temperatur umumnya menurunkan reaktivitas melalui temperature feedback negatif.
<b>Power–Temperature Interaction</b>	Kenaikan daya meningkatkan temperatur; kenaikan temperatur memberikan feedback terhadap reaktivitas dan daya.	Membentuk mekanisme <i>self-regulating</i> pada HTGR.

# Multi-physics Coupling



- Alur coupling multi-physics





# Safety Relevant Phenomena

# Inherent Safety Concept



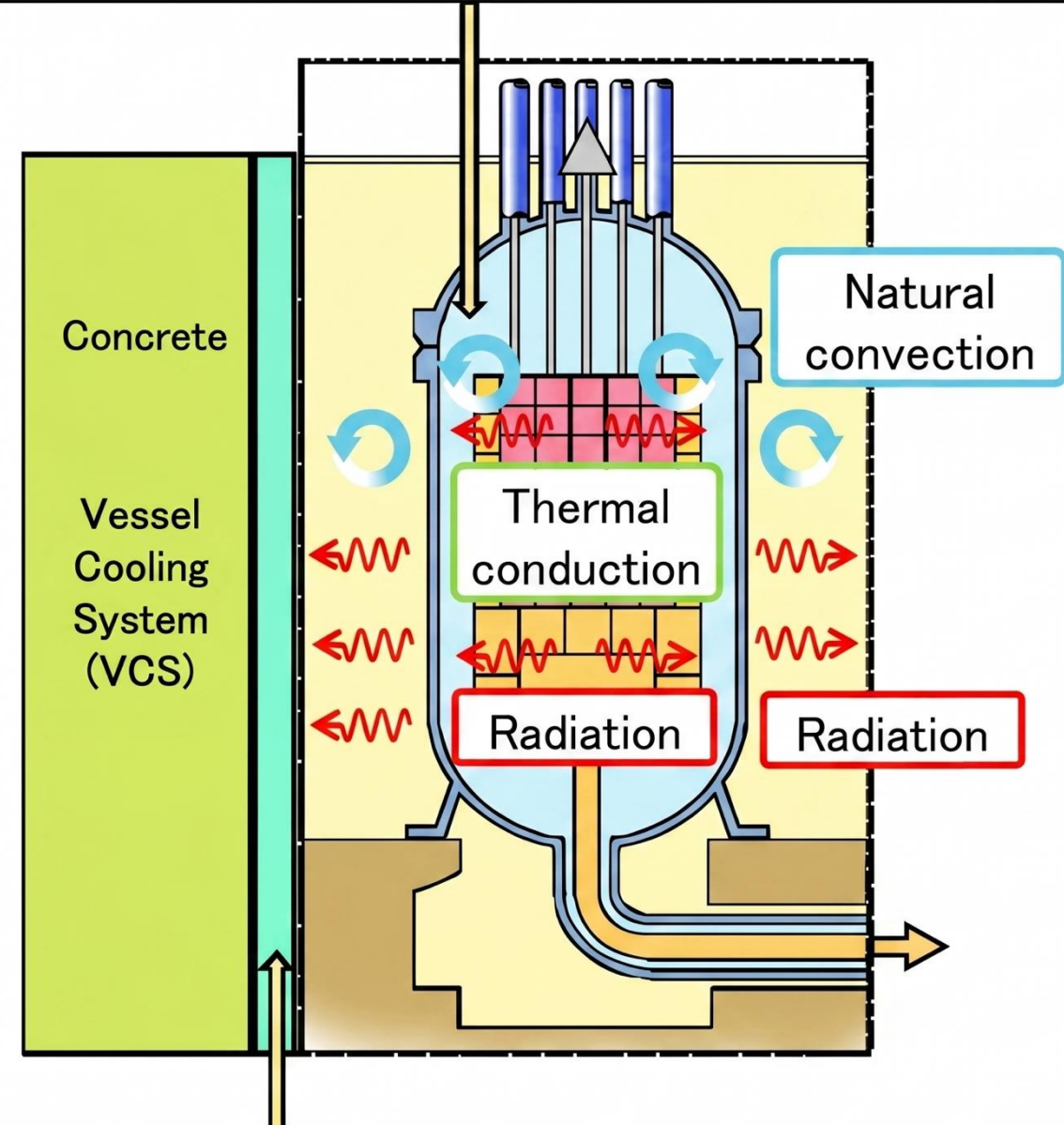
- Pebble bed HTGR dirancang memiliki **keselamatan inheren**, yaitu kemampuan reaktor untuk merespons perubahan kondisi operasi atau transien secara alami berdasarkan sifat fisika material dan desain teras, tanpa selalu bergantung pada sistem aktif.

Elemen Keselamatan Inheren		Implikasi Keselamatan
<b>Low Power Density</b>	Densitas daya HTGR lebih rendah dibanding reaktor air ringan	Kenaikan temperatur saat transien berlangsung lebih lambat, sehingga tersedia waktu respons termal lebih besar
<b>High Heat Capacity</b>	Teras mengandung banyak material grafit dengan kapasitas panas tinggi	Energi panas dapat diserap lebih lama sebelum temperatur meningkat signifikan
<b>Graphite Thermal Inertia</b>	Grafit memiliki massa termal besar sehingga perubahan temperatur berlangsung perlahan	Membantu menahan lonjakan temperatur dan memperlambat dinamika kecelakaan
<b>Passive Heat Removal</b>	Panas sisa dapat dilepaskan melalui konduksi, radiasi, dan konveksi alamiah	Reaktor tetap memiliki jalur pelepasan panas meskipun terjadi <i>Loss of Forced Cooling</i> (LOFC)

# DLOFC Phenomenon

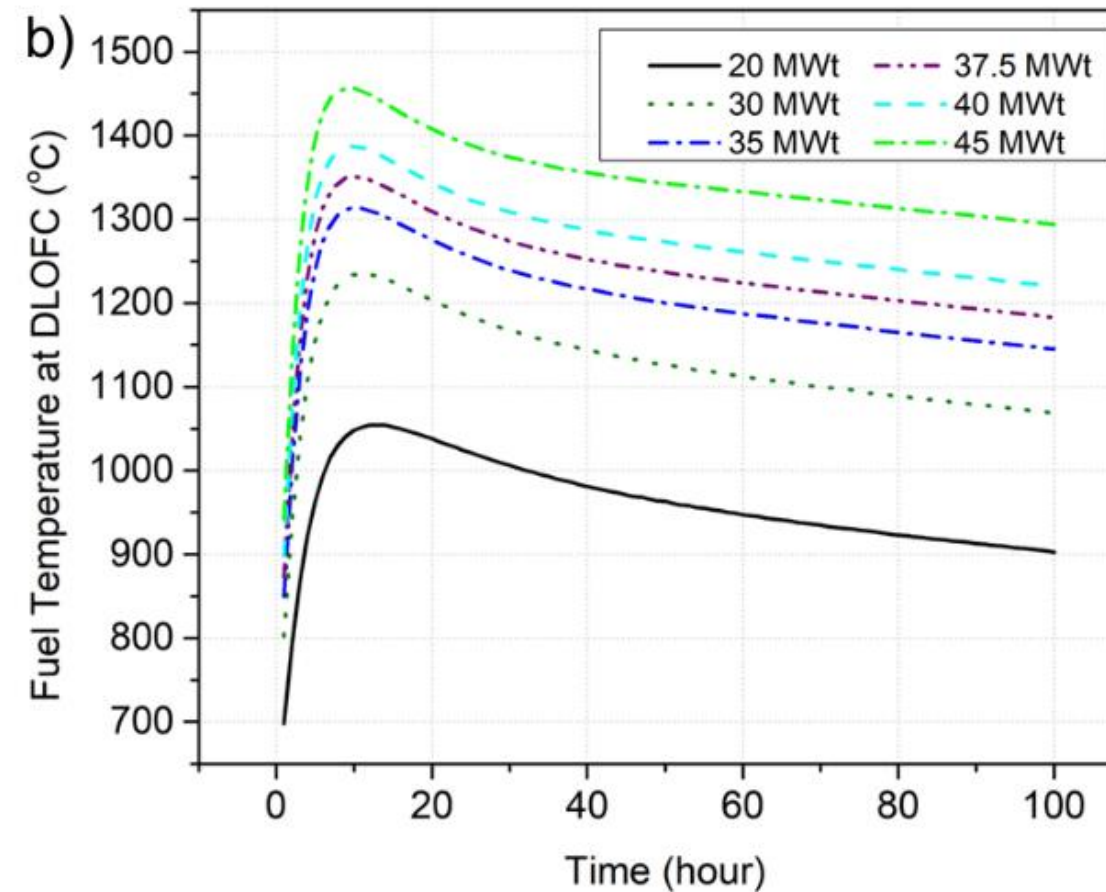


The greater amount of the stable reactor power after recriticality and reactor power peak owing to the heat balance

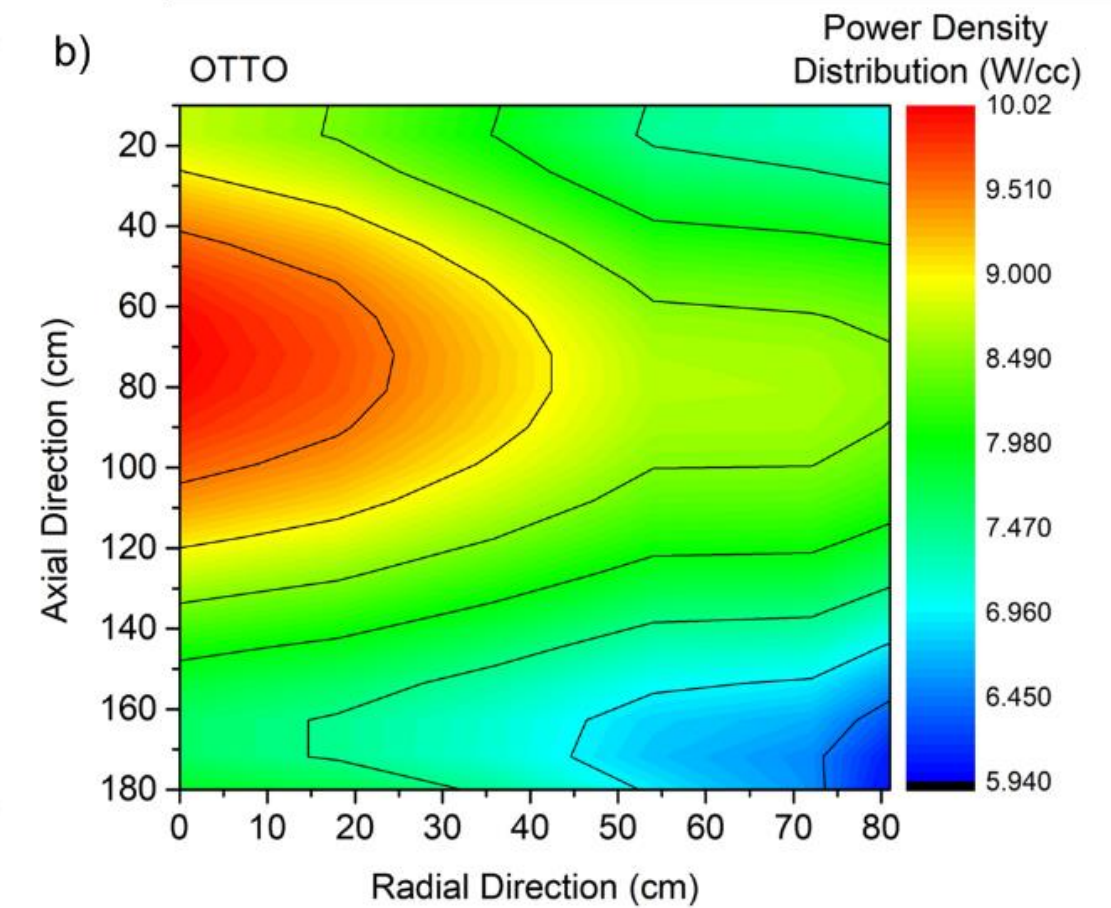


The greater amount of residual heat removed from the reactor core

Temperatur Bahan Bakar setelah DLOFC untuk Variasi Daya Teras



Distribusi Densitas Daya pada arah Aksial dan Radial



Nuri Trianti et al., Nuclear Engineering and Design 415 (2023) 112696

Journal of Nuclear Science and Technology 2014, 51, 1427-1443

**TERIMA KASIH**

