

Karakteristik Mekanik Beton, Baja, dan Masonry

**Pelatihan Teknologi Uji Tak Rusak
untuk Evaluasi Struktur Sipil**

Leonardus Setia Budi Wibowo, Ph.D.



BIODATA

- **Nama** : Leonardus Setia Budi Wibowo
- **Jabatan** : Peneliti Ahli Muda
- **Pendidikan**
 - Sarjana : Universitas Brawijaya
 - Magister : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 - Doktor : National Taiwan University of Science and Technology
- **Kegiatan**
 - Pusat Riset Teknologi Kekuatan Struktur (PRTKS) – BRIN
 - Dosen Tidak Tetap Prodi Teknik Sipil – Universitas Widya Kartika, Universitas Bakrie
- **Research Interest**
 - Structure Analysis, Structure Performance, Reinforced Concrete, Earthquake-Design Resistant



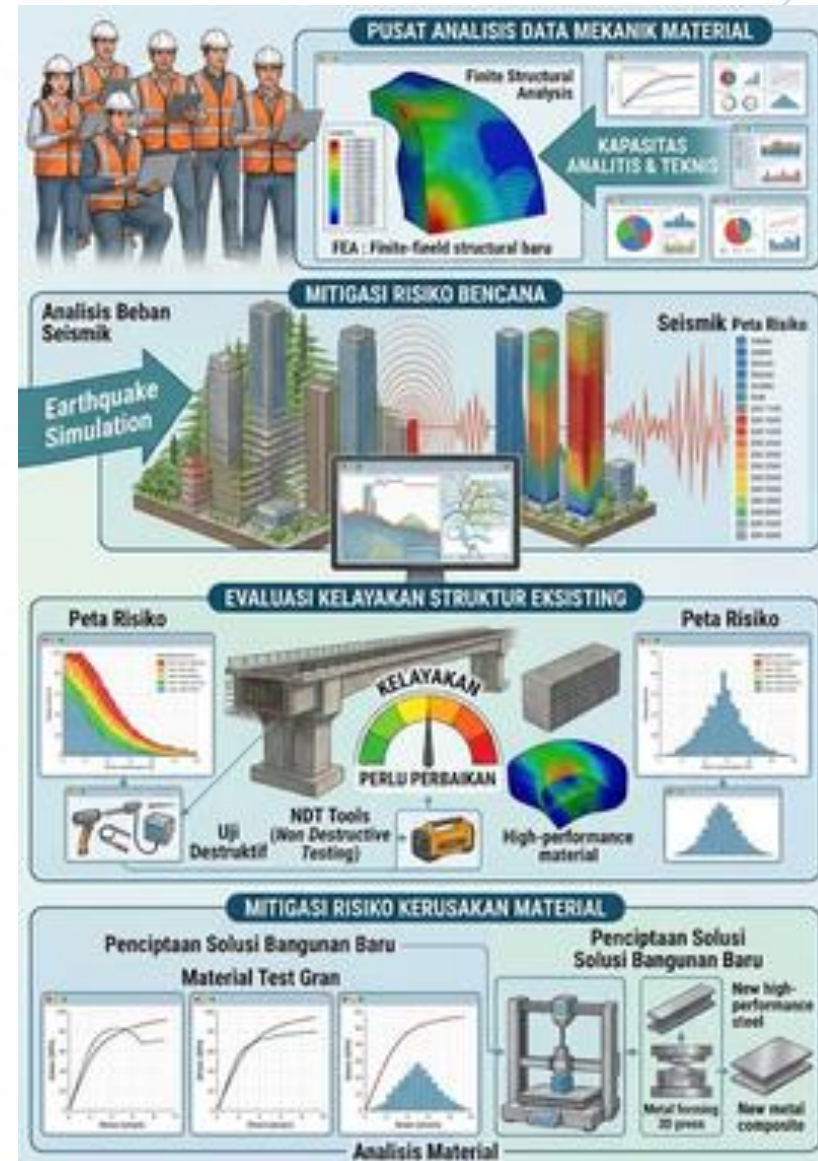
LATAR BELAKANG

"Banyak rumah dan gedung di Indonesia berdiri di daerah rawan gempa, tetapi dibangun asal-asalan tanpa standar teknik."

Mengapa Rawan Roboh? Karena kurang paham sifat bahan bangunan (beton, baja, bata) dan bagaimana ketiganya merespons saat diguncang gempa kuat.

MANFAAT

Meningkatkan kapasitas analitis dan teknis dalam menginterpretasikan data mekanik material untuk mitigasi risiko bencana, evaluasi kelayakan struktur eksisting, dan inovasi teknologi rekayasa.



TUJUAN PEMBELAJARAN

Memberikan pemahaman komprehensif mengenai perilaku mekanik, kurva konstitutif, mode kegagalan, serta aksi komposit dari beton, baja, dan *masonry* untuk aplikasi riset, evaluasi, dan perancangan struktur.

POKOK BAHASAN

- Karakteristik mekanik (Beton, Baja, Masonry)
- Kelekatan beton-baja dan aksi infill frame
- Pengujian NDT, strategi perkuatan (retrofitting), dan material inovatif masa depan

1 Pengujian Material

Pengujian Material

BETON

- SNI 1974:2023 → **kuat tekan**
- SNI 2491:2014 → **kuat tarik belah**
- SNI 2493:2011 → **pembuatan/perawatan benda uji**
- SNI 03-4169-1996 → **modulus elastisitas & Poisson**

BAJA

- SNI 8389:2017 → **uji tarik**
- SNI 8390:2017 → **uji kekerasan**

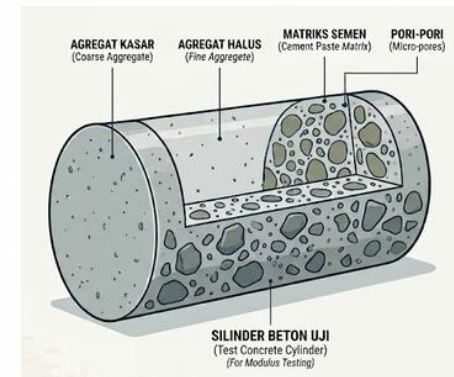
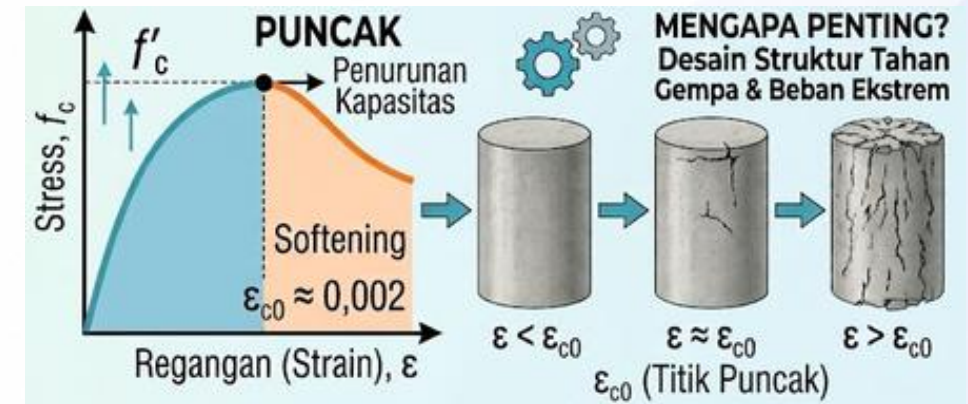
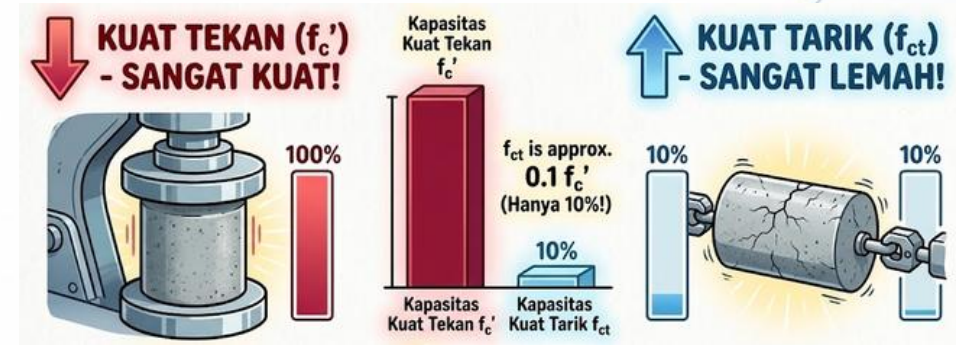
MASONRY

- SNI 03-4164-1996 → **kuat tekan**
- SNI 03-4165-1996 → **kuat lentur**
- SNI 03-4166-1996 → **kuat geser**

2 Karakteristik Mekanik

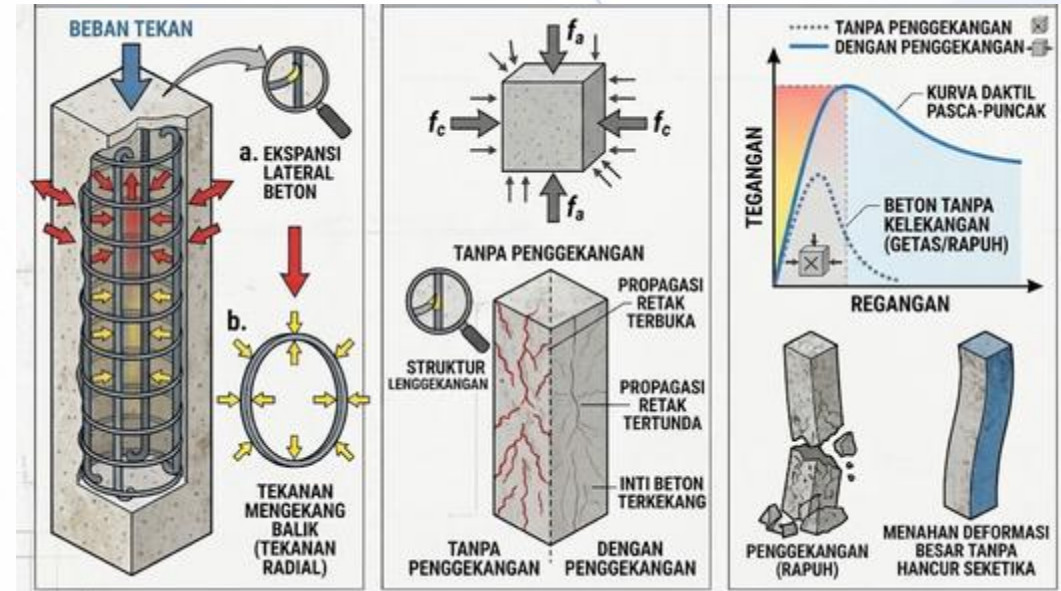
Beton – Asimetri Mekanik & Perilaku Kompresif

- **Asimetri Kapasitas:** Kuat tarik beton relatif sangat kecil dibanding kuat tekannya f_{ct}' approximate 0,1 f_c' .
- **Non-Linearitas Tekan:** Mencapai tegangan puncak pada regangan ϵ_{c0} approx 0,002 diikuti fase penurunan kapasitas (*softening*).
- **Modulus Elastisitas Dinamis:** Nilai E_c dipengaruhi oleh kepadatan matriks semen dan sifat agregat penyusunnya.



Beton – Perilaku Pengekangan (*Confinement Effect*)

- **Mekanisme Pasif Pengekangan:** Ekspansi lateral beton menekan sengkram, yang memberikan tekanan mengekang balik (*radial pressure*).
- **Peningkatan Kuat Tekan (f'_{cc}):** Tekanan triaksial menunda propagasi retak dan meningkatkan kuat puncak beton.
- **Peningkatan Daktilitas Tekan:** Memperpanjang kurva pasca-puncak sehingga beton mampu menahan deformasi besar tanpa hancur seketika.



Baja Struktural – Elastoplastisitas & Daktilitas Tinggi

- **Perilaku Isotropik & Simetris:**

Memiliki kapasitas dan modulus elastisitas ($E_s \approx 200 \text{ GPa}$) yang sama baik pada kondisi tarik maupun tekan.

- **Mekanisme Leleh (*Yielding*):**

Mampu mengalami deformasi plastis yang besar tanpa kehilangan integritas struktur.

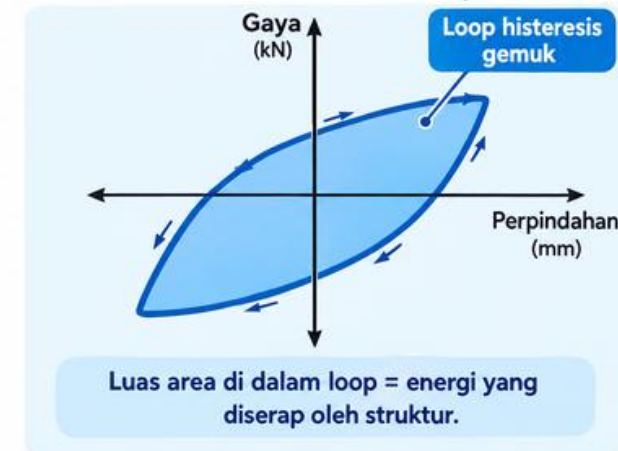
- **Kapasitas Disipasi Energi:**

Luasan kurva histeresis yang gemuk menjadikannya material ideal untuk penyerap energi seismik.



Baja – Perilaku Histeresis & Efek Bauschinger

- **Loop Histeresis Gemuk:** Menunjukkan kapasitas penyerapan energi (*energy dissipation*) yang stabil di bawah beban gempa.
- **Efek Bauschinger:** Penurunan batas leleh saat pembebanan dibalik dari arah tarik ke tekan (atau sebaliknya) akibat tegangan sisa.



1 Pembebanan tarik

Baja mengalami tegangan tarik hingga mencapai batas leleh.



Tegangan tarik

σ_y (tarik)
= batas leleh awal

2 Pembebanan tekan (setelah dibalik)

Saat arah beban dibalik menjadi tekan, batas leleh turun (lebih rendah) akibat tegangan sisa dari pembebanan tarik sebelumnya.



Tegangan tekan

σ_y (tekan)
< σ_y (tarik)

3 Ilustrasi grafik

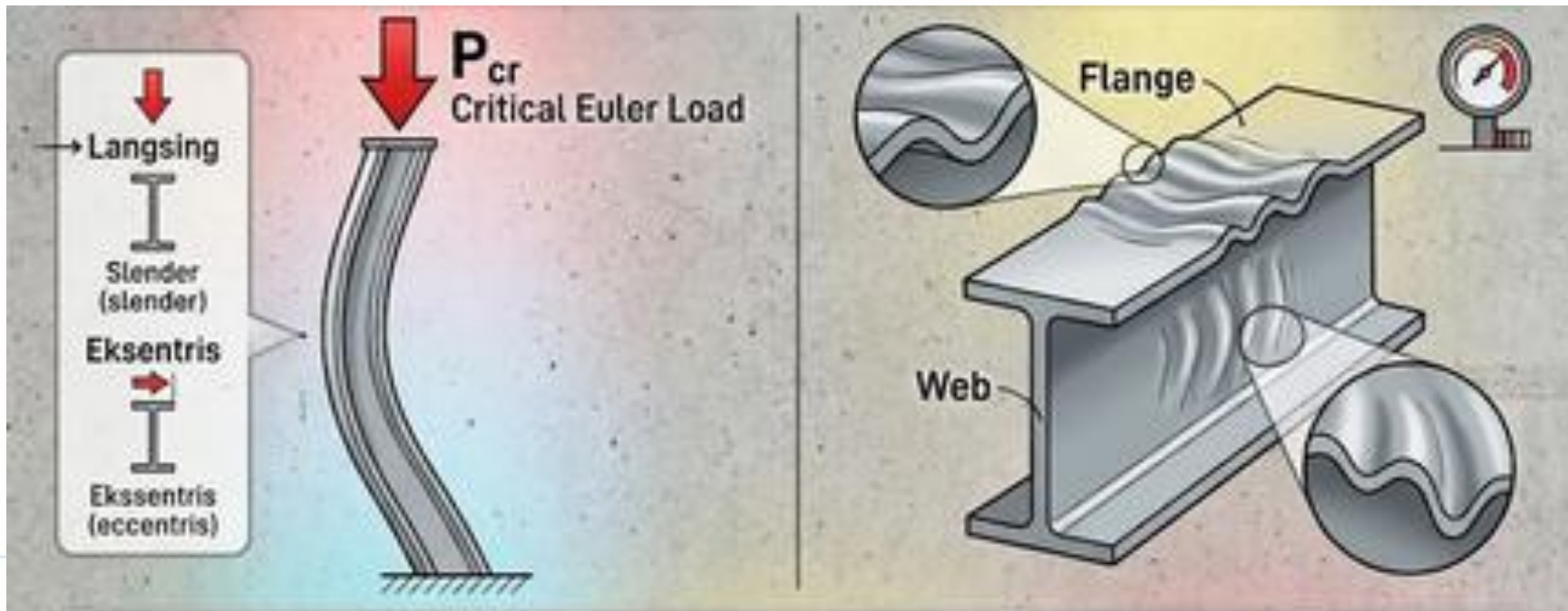


Intinya: Setelah dibebani tarik, material akan memiliki batas leleh yang lebih rendah saat dibebani tekan (dan sebaliknya) karena adanya tegangan sisa.

Baja – Inestabilitas Tekuk (*Buckling*) Lokal & Global

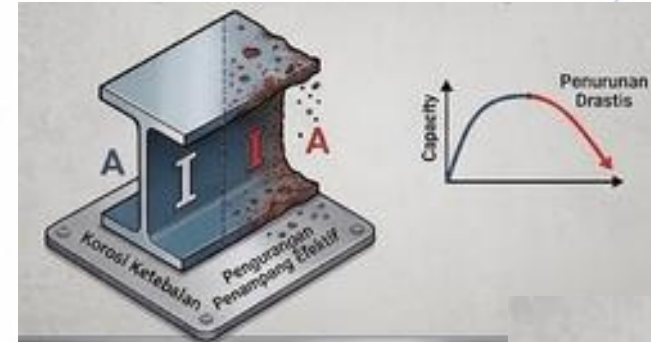
- **Tekuk Global (Eksentrisitas & Kelangsingan):** Batang tekan langsing melekok secara tiba-tiba saat mencapai beban kritis Euler (P_{cr}).

- **Tekuk Lokal Pelat:** Sayap (*flange*) atau badan (*web*) profil tipis melipat akibat tegangan tekan lokal berlebih.

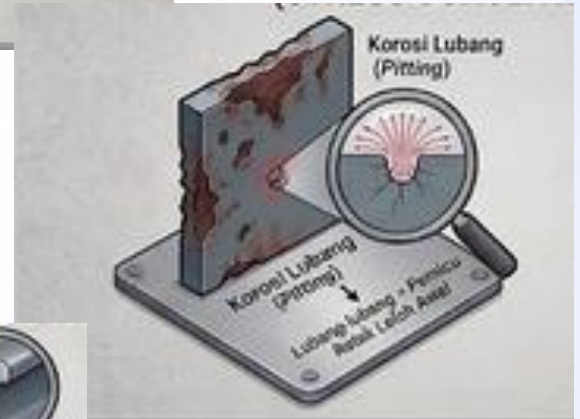


Baja – Degradasi Lingkungan, Kelelahan (*Fatigue*), & Korosi

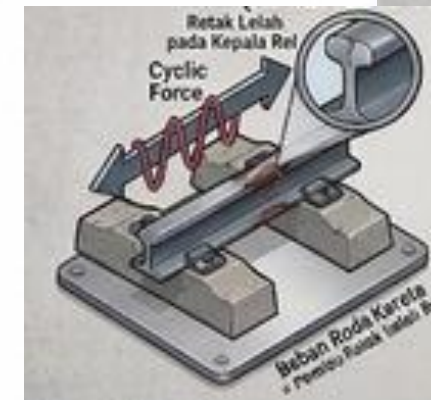
- **Pengurangan Penampang Efektif:** Korosi mengikis ketebalan profil, menurunkan *moment of inertia* dan kapasitas aksial secara drastis.



- **Konsentrasi Tegangan (*Pitting Corrosion*):** Lubang-lubang korosi kecil bertindak sebagai pemicu retak lelah awal.



- **Kelelahan Siklik Berulang (*Fatigue*):** Keruntuhan tiba-tiba pada level tegangan di bawah f_y akibat akumulasi siklus beban.



Masonry - Komposit Heterogen & Anisotropik

- **Komposit Beda Sifat:**

Kombinasi unit bata/batu yang kaku dengan mortar perekat yang lebih fleksibel.

- **Anisotropik & Ortotropik:**

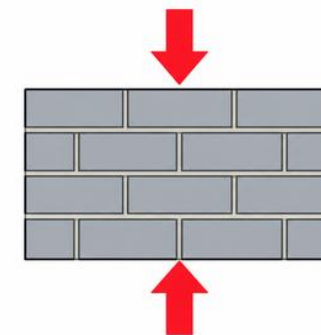
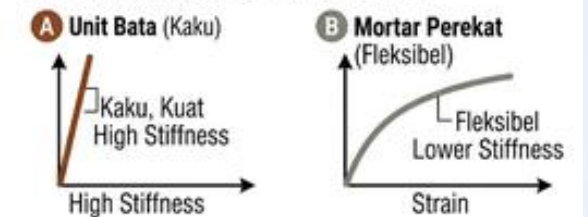
Kuat tekan dan geser bervariasi secara drastis tergantung arah tegangan relatif terhadap siar horizontal (*bed joints*).

- **Bidang Lemah Antarmuka:**

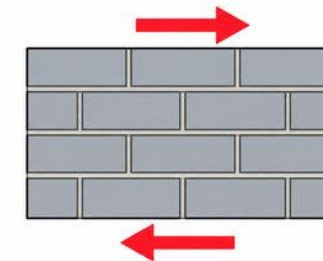
Bidang kontak antara unit dan mortar merupakan zona paling rentan terhadap kegagalan.



Perbandingan Sifat Material



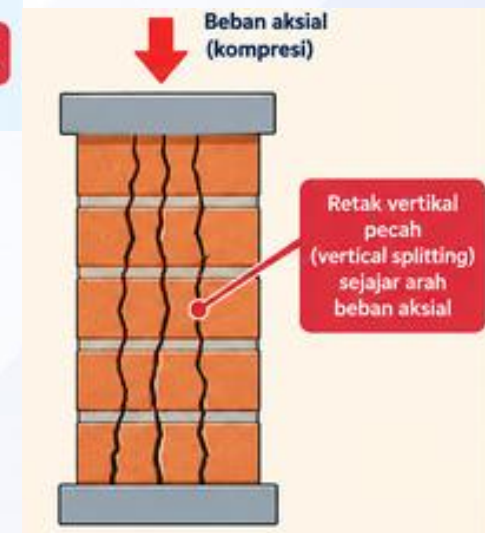
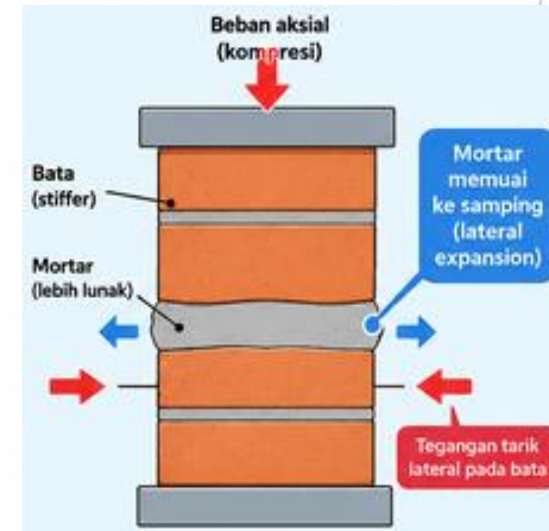
Tegangan tegak lurus
bed joint → kuat tekan
lebih tinggi



Tegangan/gaya sejajar
bed joint → kuat geser
lebih rendah

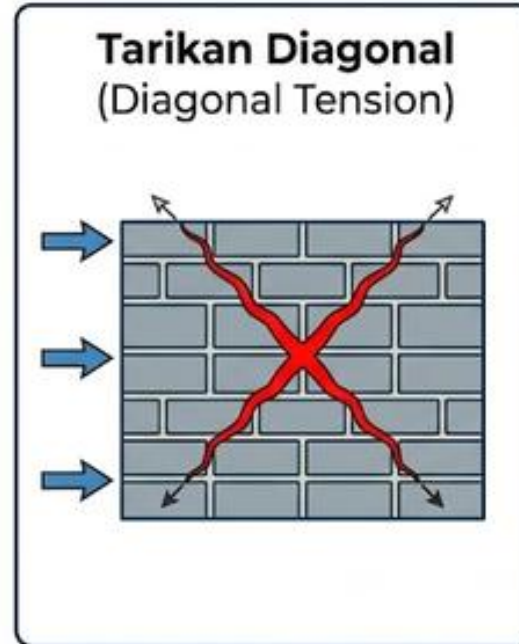
Masonry - Karakteristik Tekan & Kurva Tegangan-Regangan

- **Pengaruh Incompatibility Poisson's Ratio:** Mortar yang lebih lunak cenderung memuai ke samping, menyebabkan tegangan tarik lateral pada bata.
- **Modulus Elastisitas (E_m):** Umumnya berkisar antara $500 f_m'$ hingga $1000 f_m'$, jauh lebih rendah dibandingkan beton.
- **Pola Kegagalan Tekan:** Didominasi oleh retak vertikal pecah (*vertical splitting*) sejajar arah beban aksial.

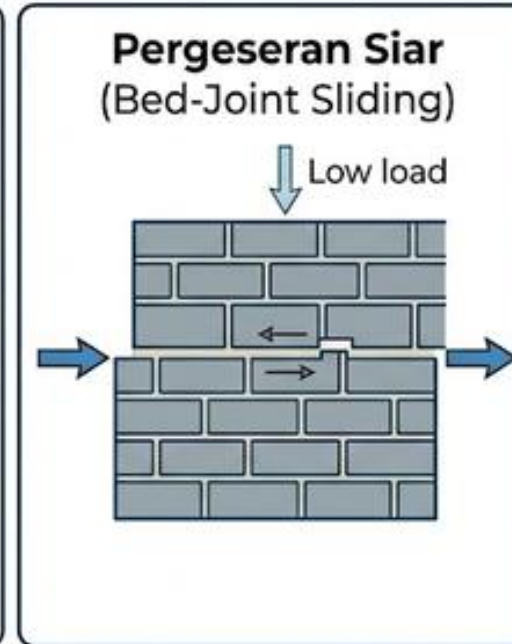


Masonry – Mekanisme Kegagalan Dalam Bidang (*In-Plane*)

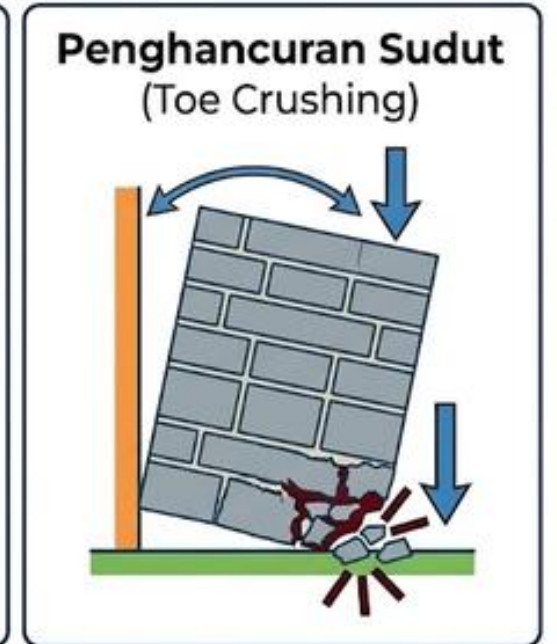
- Tarikan Diagonal
(*Diagonal Tension*)
- Pergeseran Siar
(*Bed-Joint Sliding*)
- Penghancuran Sudut
(*Toe Crushing*)



Retak silang pola 'X' akibat
tegangan tarik utama.



Pergeseran mendatar
sepanjang garis mortar.



Konsentrasi tegangan tekan
tinggi pada sudut bawah
dinding saat *rocking*.

Masonry – Kerentanan Luar Bidang (*Out-of-Plane*)

- **Ketiadaan Kapasitas Lentur Tarik:**

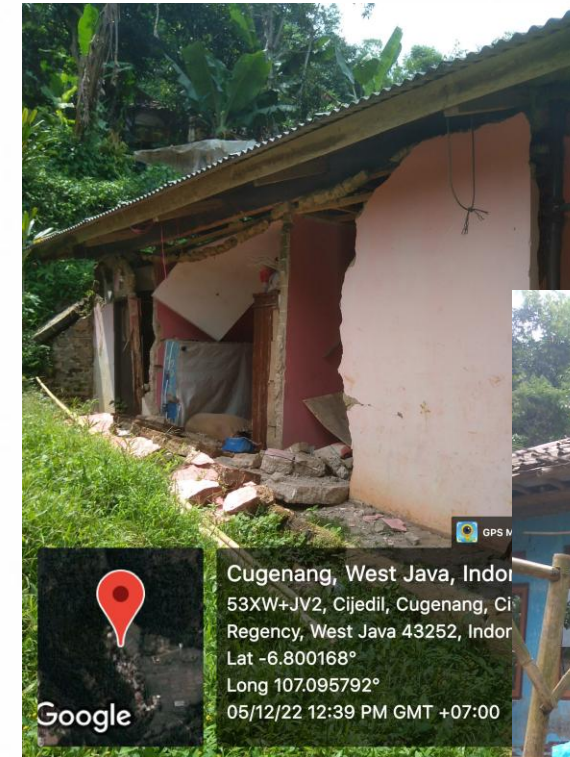
Pasangan bata hampir tidak memiliki kekuatan untuk menahan momen lentur luar bidang.

- **Mekanisme Terguling (*Overturning*):**

Dinding terlepas dari diafragma atap/lantai dan roboh sebagai benda kaku (*rigid body*).

- **Pentingnya Perjangkaran (*Anchorage*):**

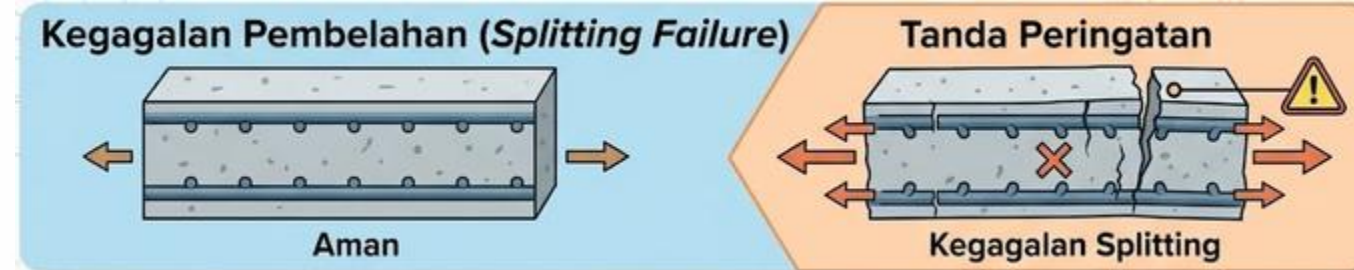
Terikatnya dinding ke kolom/balok pengikat sangat menentukan kelangsungan hidup struktur.



3 Kelekatan beton-baja dan aksi infill frame

Sinergi Beton-Baja – Kelekatan (*Bond*) & Transfer Tegangan

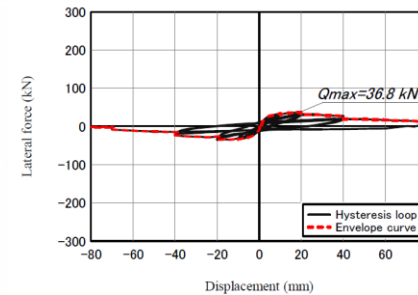
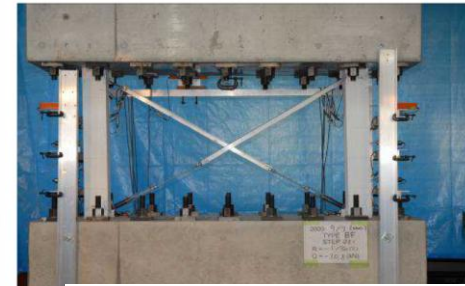
- **Tiga Komponen Kelekatan:** Adhesi kimiawi, gesekan/friksi permukaan, dan tumpuan mekanis ulir (*ribs*).
- **Kegagalan Pembelahan (*Splitting Failure*):** Pasokan selimut beton yang tipis memicu retak sejajar tulangan akibat dorongan pasak ulir.
- **Panjang Penyaluran (L_d):** Panjang minimum yang dibutuhkan agar baja dapat mencapai tegangan lelehnya tanpa slip.



Interaksi Portal & Dinding Pengisi (*Infill Frame Behavior*)

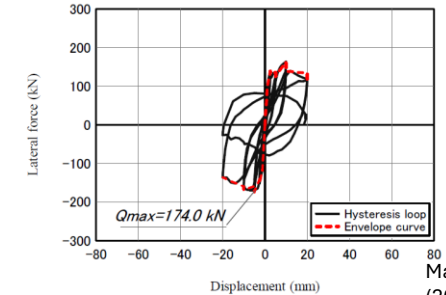
- **Peningkatan Kekakuan & Kapasitas:**

Dinding pengisi berfungsi sebagai penopang tekan diagonal (*equivalent strut*), menyerap gaya lateral awal.



- **Efek Kolom Pendek (*Short Column Effect*):**

Bukaan jendela/pintu membatasi panjang bebas kolom, memicu keruntuhan geser getas pada kolom.



- **Perubahan Respon Dinamik:**

Memperpendek periode alami struktur (T), yang meningkatkan penyerapan gaya gempa lateral.



Maidiawati et al,
(2018)

https://strasam.org/en/economy/technology/what-is-the-short-column-effect-1212#google_vignette

4 **Pengujian NDT, strategi perkuatan (retrofitting), dan material inovatif masa depan**

Evaluasi Lapangan – Pengujian Tanpa Merusak (*Non-Destructive Testing / NDT*)

- Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)
- Rebound Hammer (Hammer Test)
- Hardness Test
- Profometer/GPR



Strategi Perkuatan (*Retrofitting*) Berbasis Karakteristik Material

- **Confinement FRP pada Kolom Beton:**

Membungkus kolom dengan komposit serat karbon (CFRP) untuk meningkatkan daktilitas tekan.



<https://struktura.co.id/layanan/perkuatan-frp/>

- **TRM / FRCM pada Dinding Masonry:**

Memasang jaring serat sintetik bertulang mortar untuk mencegah kegagalan *out-of-plane* dan geser.

TRM (*Textile Reinforced Mortar*) atau
FRCM (*Fabric Reinforced Cementitious Matrix*)



<https://www.mapei.com/it/en/products-and-solutions/products/detail/frcm-system-mapegrid-g>

- **Jaket Baja (*Steel Jacketing*):**

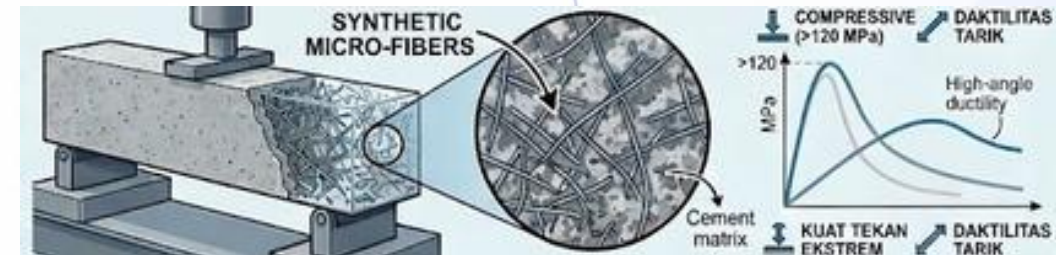
Menambahkan pelat baja luar untuk meningkatkan kapasitas geser dan kekakuan elemen portal.



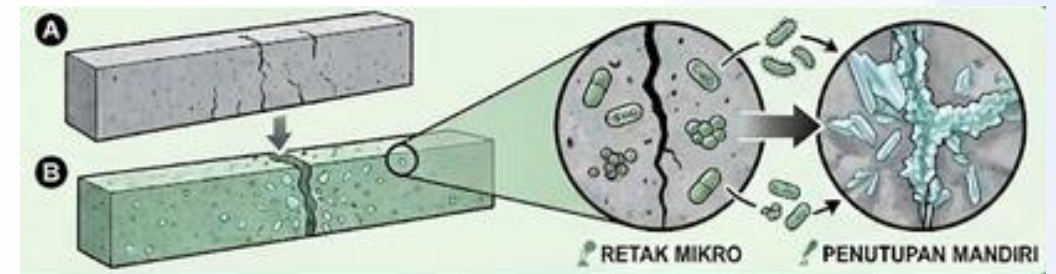
<https://constrofacilitator.com/structural-retrofitting-and-strengthening-by-jacketing/>

Inovasi Material Infrastruktur Masa Depan

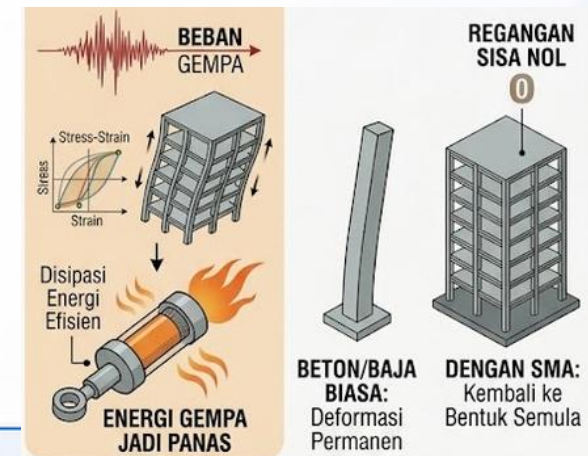
- **Ultra-High Performance Concrete (UHPC):** Memiliki kuat tekan >120 MPa dan daktilitas tarik relatif tinggi berkat rekayasa serat mikro.



- **Self-Healing Concrete:** Beton yang mampu menutup retak mikronya secara mandiri menggunakan mikrobakteri atau mikrokapsul.



- **Shape Memory Alloys (SMA):** Logam super-elastis yang mampu kembali ke bentuk semula pasca-deformasi gempa besar



RANGKUMAN

- **Sintesis Sifat Mekanik:** Beton (tekan tinggi/getas), Baja (tarik-tekan tinggi/daktil/rawan tekuk), *Masonry* (anisotropik/lemah geser-tarik).
- **Pendekatan Holistik Komposit:** Mengintegrasikan interaksi antar-material dalam pemodelan dan desain struktur.
- **Arah Pengembangan Riset:** Mendorong teknologi NDT presisi, metode perkuatan terjangkau, dan material hijau maju.

LATIHAN SOAL

1. Apa tujuan utama dari *confinement* pada beton?
 - A. Mengurangi kuat tekan dan mempercepat keruntuhan beton
 - B. Mengurangi daktilitas beton setelah mencapai tegangan puncak
 - C. Meningkatkan kuat tekan dan memperpanjang perilaku pasca-puncak
 - D. Menghilangkan seluruh retak pada beton

LATIHAN SOAL

2. Sifat baja yang mampu mengalami deformasi plastis besar tanpa kehilangan integritas struktur disebut ...

- A. Getas
- B. Daktil
- C. Anisotropik
- D. Rapuh

LATIHAN SOAL

3. Manakah yang **BUKAN** merupakan mekanisme kegagalan masonry dalam bidang (*in-plane*) yang disebutkan dalam materi?

- A. *Diagonal tension*
- B. *Bed-joint sliding*
- C. *Toe crushing*
- D. *Global buckling*

LATIHAN SOAL

4. Tiga komponen utama yang berkontribusi terhadap kelekatan (*bond*) antara beton dan baja adalah ...

- A. Adhesi kimiawi, gesekan, dan tumpuan mekanis ulir
- B. Tekanan hidrostatik, korosi, dan tekuk
- C. Adhesi, karbonasi, dan susut beton
- D. Gesekan, ekspansi termal, dan *fatigue*

LATIHAN SOAL

5. Dalam perilaku *infill frame*, dinding pengisi dapat berfungsi sebagai *equivalent diagonal strut*. Salah satu konsekuensinya adalah ...
- A. Dinding pengisi selalu mengurangi kekakuan struktur
 - B. Dinding pengisi tidak berpengaruh terhadap respons lateral
 - C. Dinding pengisi dapat meningkatkan kekakuan dan kapasitas lateral awal struktur
 - D. Dinding pengisi menghilangkan kemungkinan *short column effect*

Terima Kasih

Atas Perhatian Anda

