



Webinar Nasional :

“PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR RAMAH LINGKUNGAN DI ERA SOCIETY 5.0”

Fakultas Teknik – Universitas Pekalongan, 23 Januari 2021

Material Ramah Lingkungan : *Beton Tanpa Semen*

Oleh:

Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.



**Fakultas Teknik - Universitas Islam Sultan Agung
(UNISSULA)**

CURRICULUM VITAE

Nama lengkap : Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.

Tempat & tanggal lahir : Semarang, 5 April 1967

Riwayat Pendidikan :

- 1992 : Sarjana Teknik Sipil – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- 1995 : Magister Teknik Sipil Struktur – Institut Teknologi Bandung
- 2001 : Doktor Teknik Sipil Struktur – Institut Teknologi Bandung
- 2021 : Profesi Insinyur - Institut Teknologi Bandung

Pekerjaan :

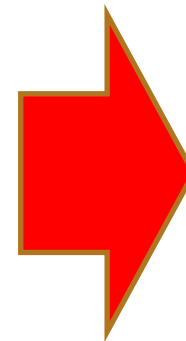
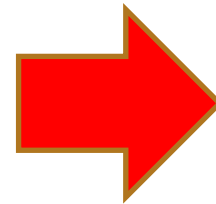
- Dosen Tetap Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA)-Semarang
- Email: antonius@unissula.ac.id

Keanggotaan dalam Organisasi Profesi :

- Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI)
- Asosiasi Ahli Rekayasa Kegempaan Indonesia (AARGI)
- Ikatan Tenaga Ahli Konsultan Indonesia (INTAKINDO)
- fédération internationale du béton (*fib*), International Federation for Structural Concrete

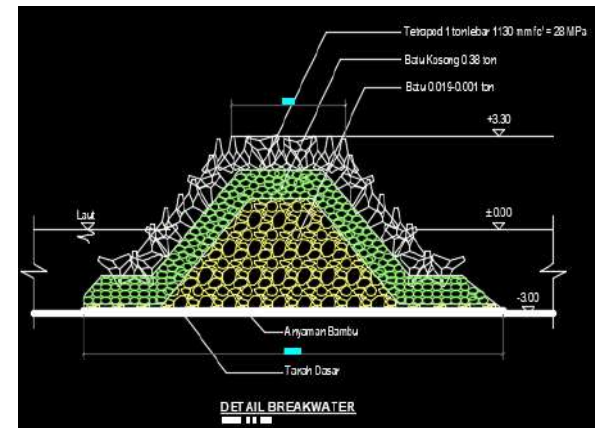
AKADEMIK

- Membimbing dan mengampu mata kuliah (S1, S2, S3):
 - Struktur Beton, ADS, Beton Prategang
 - Teknologi Pelaksanaan Konstruksi
 - Teknologi Bahan
 - Penulisan Ilmiah dan Etika Akademik
- Penelitian dan publikasi lebih dari 60 paper:
 - Jurnal internasional dan nasional
 - Prosiding internasional dan nasional
 - Menerbitkan buku : Konsep dasar dan desain struktur beton bertulang ; ISBN: 978-623-7097-38-9
- External Examiner:
 - Program Doktor Teknik Sipil, ITB (2018)
 - Ph.D. Program of Civil Eng., UiTM MARA, Malaysia (2018)
 - Program Doktor Teknik Sipil, ITS (2017)
 - Program Magister Teknik Sipil, UNDIP (2001-sekarang)
 - Program Doktor Teknik Sipil, UNDIP (2018-sekarang)
- Anggota penyusun SNI:
 - SNI-2847-2019 (beton), SNI-1726-2019 (gempa), RSNI Beton FRP

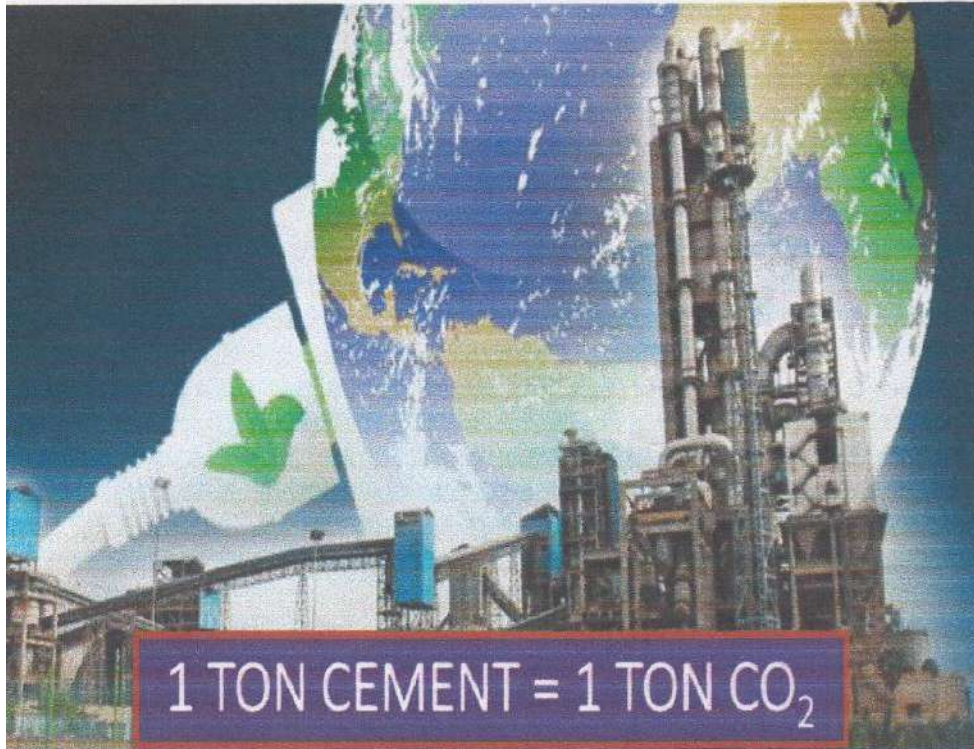


PENGALAMAN PROFESIONAL

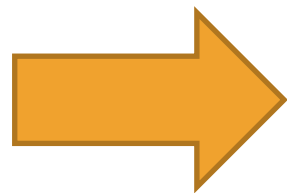
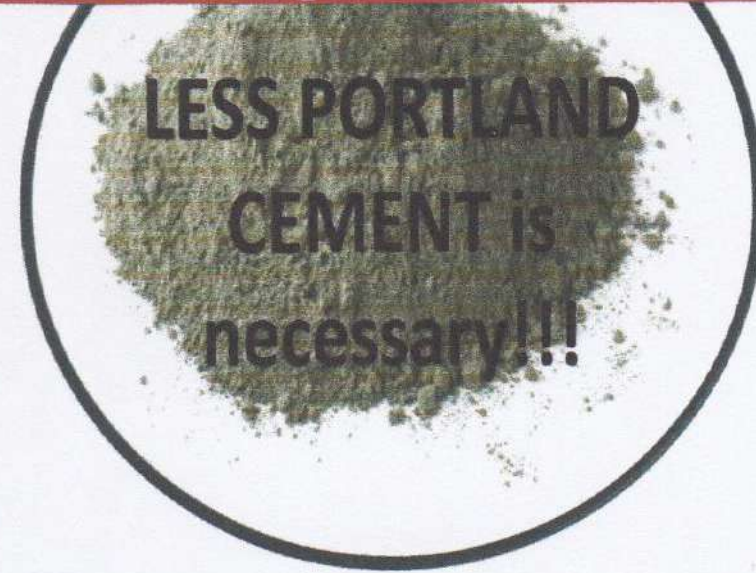
- ✘ Tahun 2004-2020:
Terlibat lebih dari 200 proyek pemerintah & swasta di pulau Jawa, Sumatra, Kalimantan, Sulawesi dan Papua.
- Desain & redesain, studi, evaluasi/asesmen, supervisi :
 - Gedung (2 s/d 17 lantai)
 - Jembatan (bentang 15 m s/d 1200 m)
 - Dermaga, Jety, Break water
 - Tower
 - Tunnel



Emisi Gas



Cement Production contributes 7-8% of total CO₂ (Maholtra, 2010)



Efek Rumah Kaca

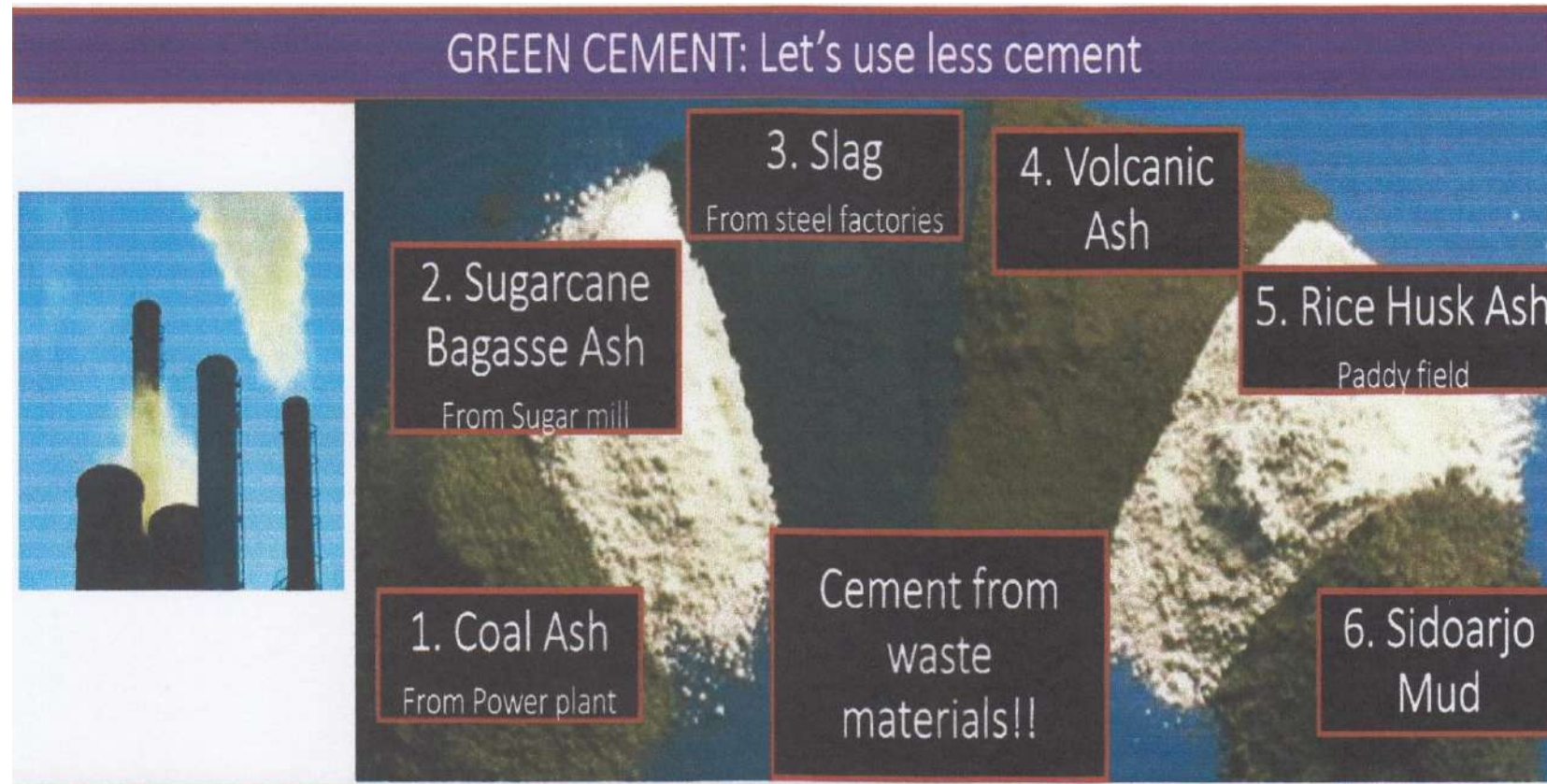


What's wrong with cement concrete?

- Many concrete structures deteriorate after 20 years.
- Cement production releases high amounts of CO₂ to the atmosphere (1 tonne of cement production releases 1 tonne of CO₂) thus contributing to 7% of world CO₂ emissions.
- Cement is one of the most energy intensive material.



Pengurangan Semen



0%
SEMEN TIPE 1

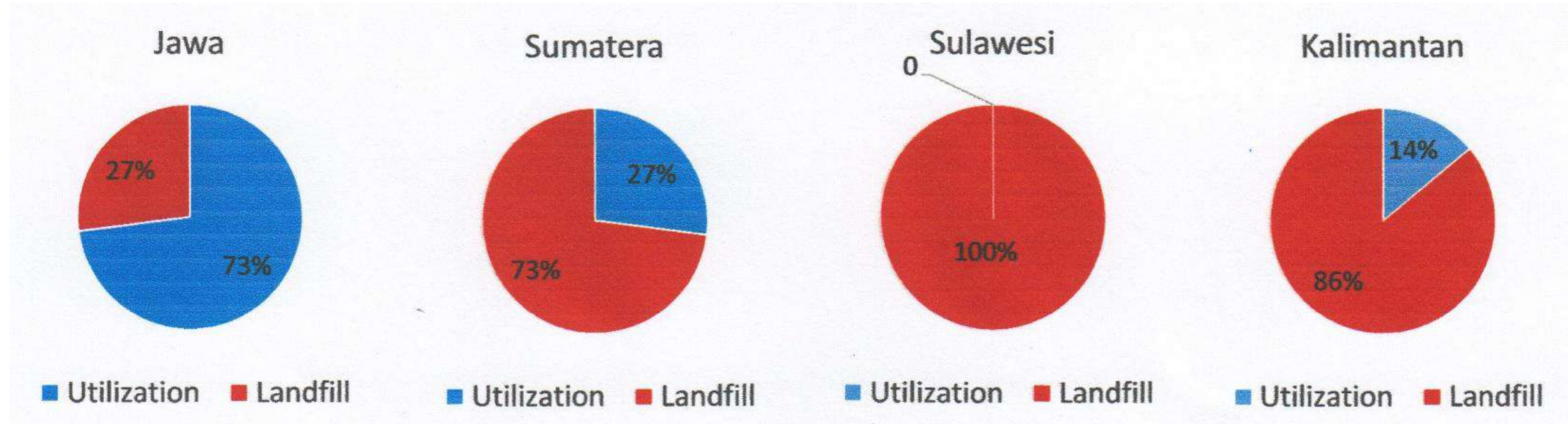
5-20%
SEMEN TIPE 2

30-70%
SEMEN Blended
(Japan)

100%
SEMEN GEOPOLIMER
(Australia)

Pemanfaatan Batubara di Indonesia

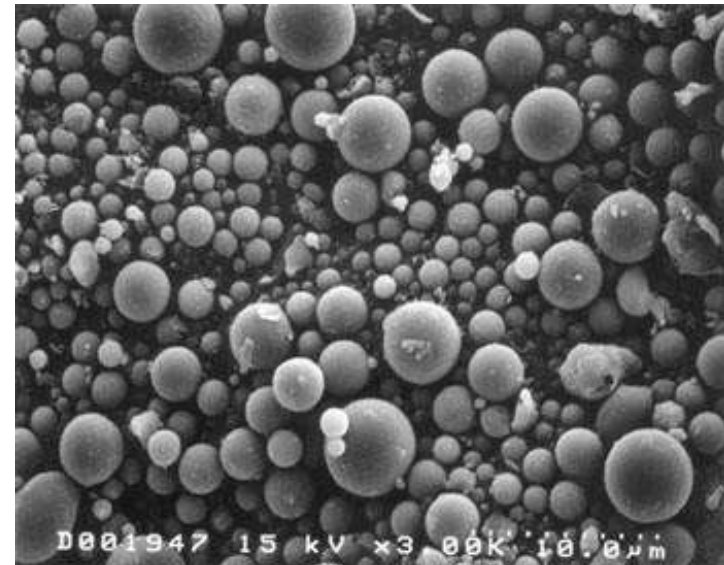
(sumber: PLN)



ABU BATUBARA di tahun 2024 minimal 17,1 juta ton

sumber: Direktorat Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan, Ministry of Energy and Mineral Resource (2016)

Fly Ash (FA)



Fly Ash

Pengertian : Menurut **SNI 03-6414-2002**, *fly ash* atau **abu terbang** merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Sementara menurut ASTM C-618 mendefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara.

Ukuran partikel *fly ash* bervariasi mulai yang lebih kecil dari 1 μm (micrometer) sampai yang lebih besar dari 100 μm (beberapa literatur menyebutkan ukuran 0.5 μm - 300 μm), dengan sebagian besar partikel berukuran kurang dari 20 μm . Umumnya hanya sekitar 10 % sampai 30 % ukuran partikel *fly ash* lebih besar dari 50 μm . Luas permukaan *fly ash* umumnya berkisar 300 m^2/kg - 500 m^2/kg *fly ash*, dengan batas bawah 200 m^2/kg dan batas atas 700 m^2/kg . Specific Gravity (Gs) *fly ash* bervariasi, ada beberapa institusi yang memberikan rentang nilai specific gravity, rentang terbesar yang diberikan dari institusi-institusi tersebut adalah antara 1.6 – 3.1. Pada umumnya *specific gravity* material *fly ash* berkisar antara 1.9 – 2.55. Massa jenis *fly ash* dalam kondisi kering berkisar 540 - 860 kg/m^3 , dan dalam kondisi dengan penggetaran dalam kemasan pada umumnya mempunyai massa jenis 1.120 - 1.500 kg/m^3 .

Fly Ash Kelas F

- *Fly ash* yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara (bituminous).
- Kadar $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 70 \%$.
- Kadar CaO $< 10 \%$. Dalam hal ini di ASTM dinyatakan maksimal 20 %, sedangkan dalam Canadian Standards Association (CSA) dinyatakan maksimal sebesar 8 %.
- Kadar karbon (C) berkisar antara 5 % -10 %.
- *Fly ash* kelas F disebut juga **low-calcium fly ash**, yang tidak mempunyai sifat cementitious dan hanya bersifat pozzolanic.

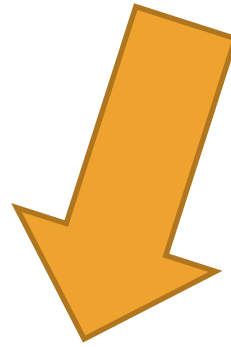
Produksi Fly Ash



Produksi terbesar di India dan Cina

Tahun 1998: 390 juta ton/tahun

Tahun 2010: 780 juta ton/tahun



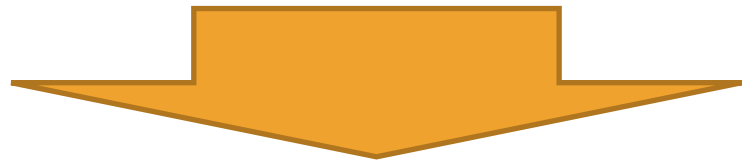
Baru dimanfaatkan 15%



Reduksi Emisi Gas

Bouzoubaâ, Zhang and Malhotra (1999):

High Volume Fly Ash (HVFA)
Concrete



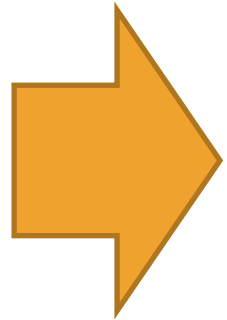
Fly Ash 55-60% dari
berat semen

| Mixture | Proportion |
|--|---|
| HVFA blended cement (45% portland cement clinker including gypsum + 55% fly ash) | 370 kg/m ³ (625 lb/yd ³) |
| Water | 120 kg/m ³ (202 lb/yd ³) |
| Coarse aggregate | 1195 kg/m ³ (2014 lb/yd ³) |
| Fine aggregate | 645 kg/m ³ (1087 lb/yd ³) |
| Air-entraining admixture | 200 mL/m ³ (153 mL/yd ³) |
| Superplasticizer | 4.5 l/m ³ (9.2 lb/yd ³) |

Beton Geopolimer

Ekaputri (2016):

Geopolimer: Teknologi Terbaik Satu-satunya: Merubah sampah menjadi uang



1. Mengatasi masalah KRISIS LONJAKAN LIMBAH NASIONAL: abu batubara se-Indonesia
2. Material RAMAH LINGKUNGAN: menghasilkan paling sedikit emisi CO2
3. Material Maju dengan BANYAK KEUNGGULAN: tahan api, tahan karat, kekuatan tinggi



Pembuatan Beton Geopolimer [Ekaputri, Hardjito]

Bahannya bisa dari Abu Batubara, tanah lempung, slag, Lumpur Sidoarjo dll yang mengandung banyak silika dan alumina



PLTU

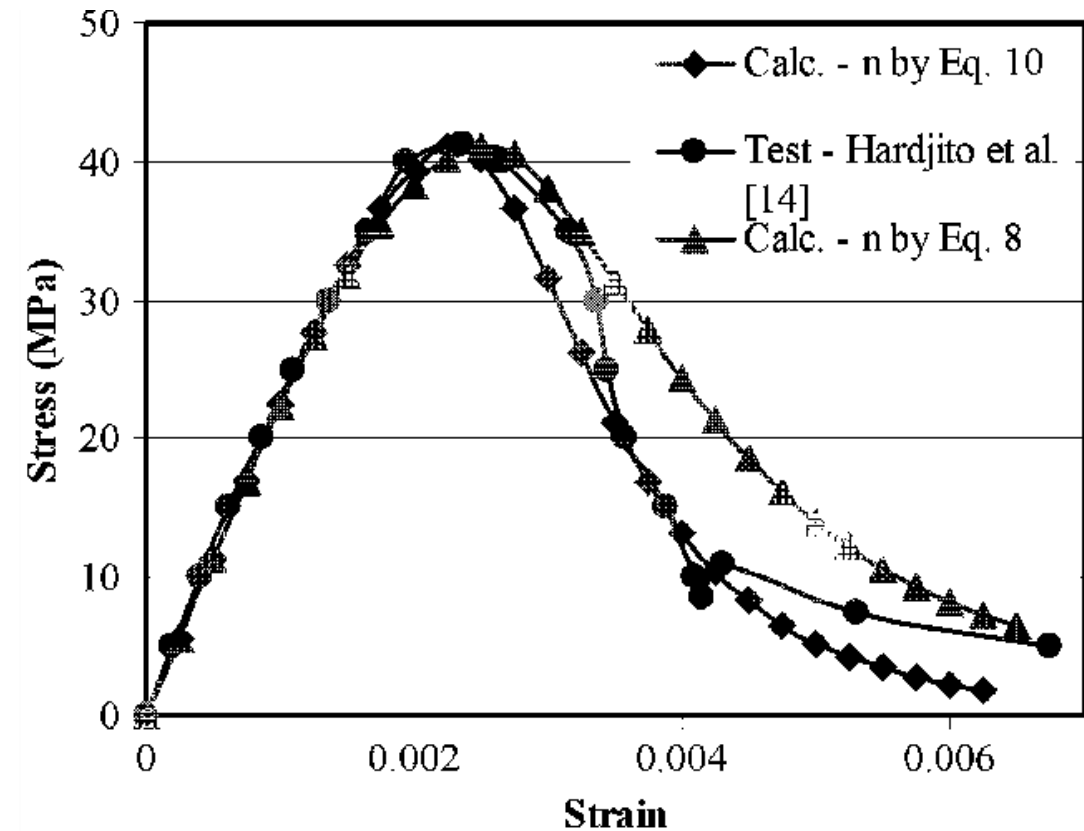


**Sodium silicate
(water glass)**

+

NaOH

Bahan Geopolimer dan Perilaku Tegangan-Regangan



Beton Campuran Semen Portland (OPC) vs Beton Geopolimer (GPC)

OPC vs GEO POLYMER

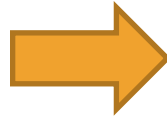
Geopolymer concrete (GPC) using “fly ash”

- ✓ Greater corrosion resistance,
- ✓ Substantially higher fire resistance (up to 2400° F),
- ✓ High compressive and tensile strengths
- ✓ Rapid strength gain, and lower shrinkage.
- ✓ Greenhouse gas reduction potential as much as 90 percent when compared with opc.



Mix Design Beton Geopolimer

Komposisi kimia

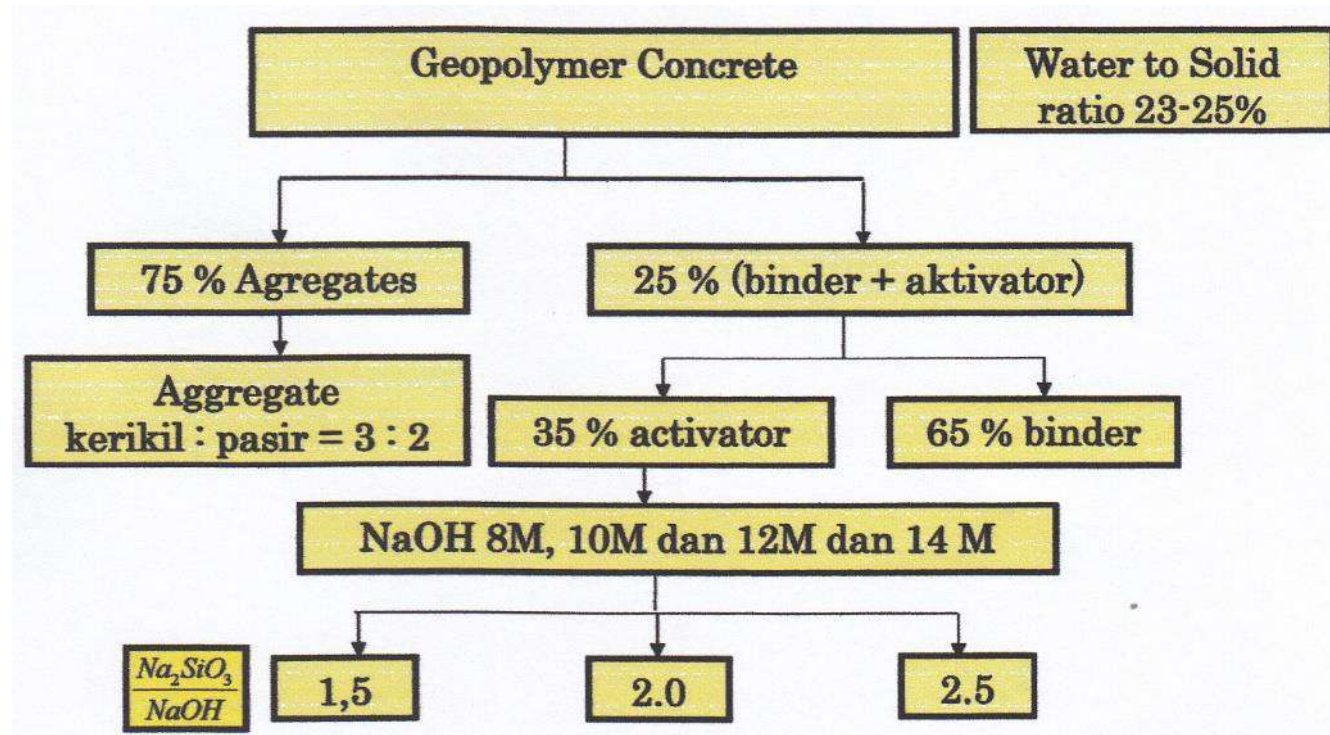


| Oksida | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | MgO | Mn ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | SO ₃ |
|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Fly Ash | 48.47 | 26.05 | 12.54 | 5.18 | 0.47 | 1.66 | 2.77 | 0.19 | 0.02 | 1.05 |

Mix design



| Coarse Aggregate (Kg/m ³) | Fine Agregate (Kg/m ³) | Fly Ash (Kg/m ³) | Na ₂ SiO ₃ (Kg/m ³) | NaOH (Kg/m ³) | additive (Kg/m ³) |
|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------|
| 1080 | 720 | 444 | 150 | 60 | 8.88 |



Mechanical Properties Beton Geopolimer (GPC)

Diaz-Loya et al. (2011)

- Berat jenis : 1890-2371 kg/m³
- $10.34 < f'_c < 80$ MPa
- $2.24 < f_r < 6.41$ MPa
- $E_c = 6812 - 42878$ MPa
- $v = 0.08 - 0.23$

Pengujian Balok Beton Geopolimer



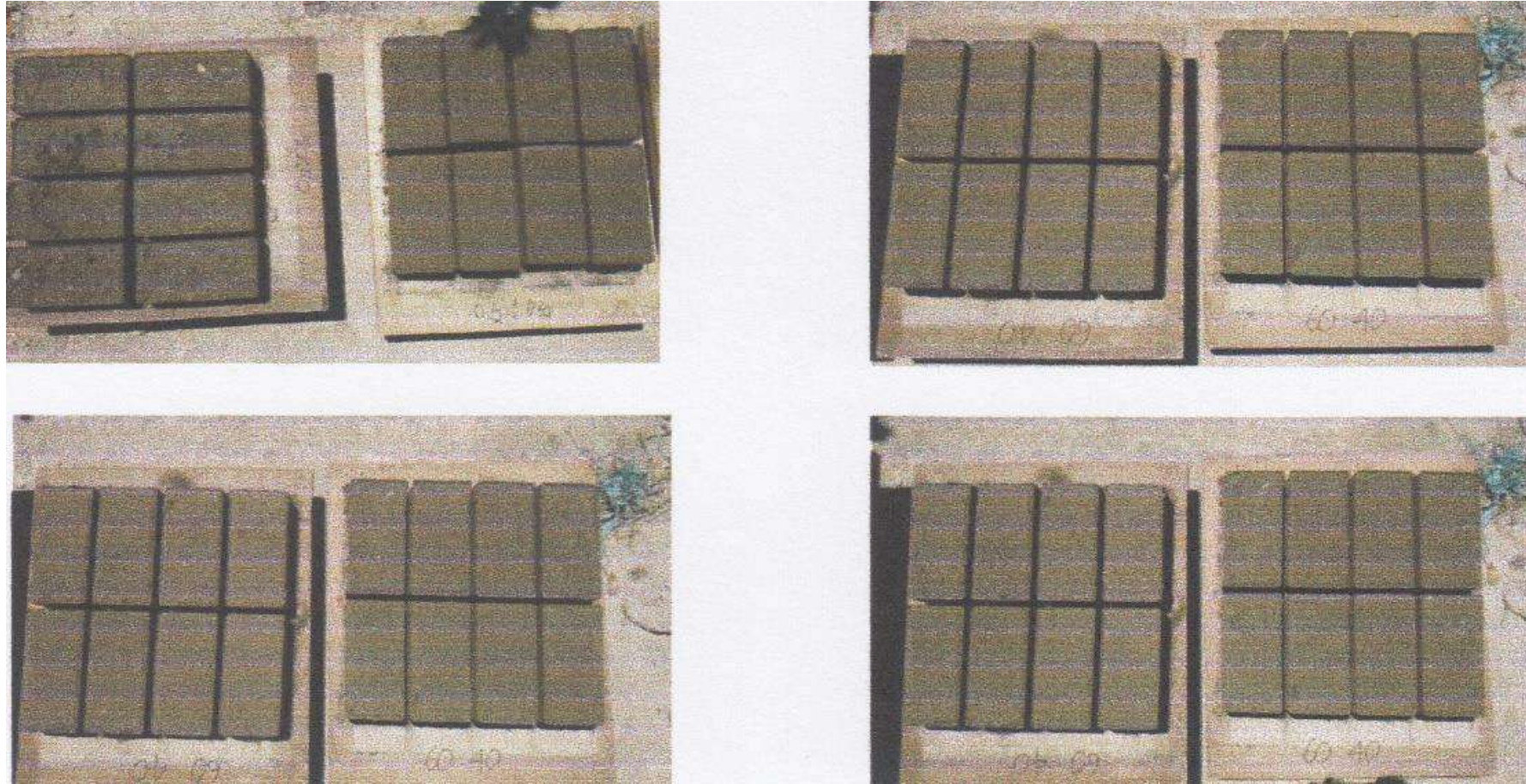
Geopolimer pada Airport Pavement



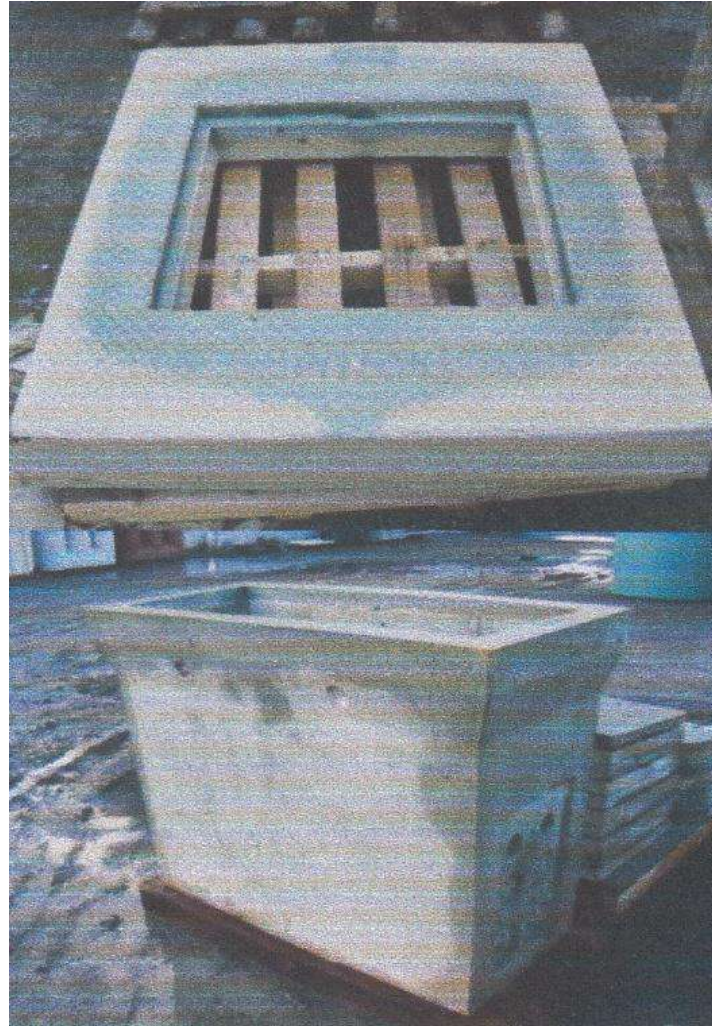
Geopolimer untuk Grouting



Paving Geopolymer



Precast Geopolimer (Australia)

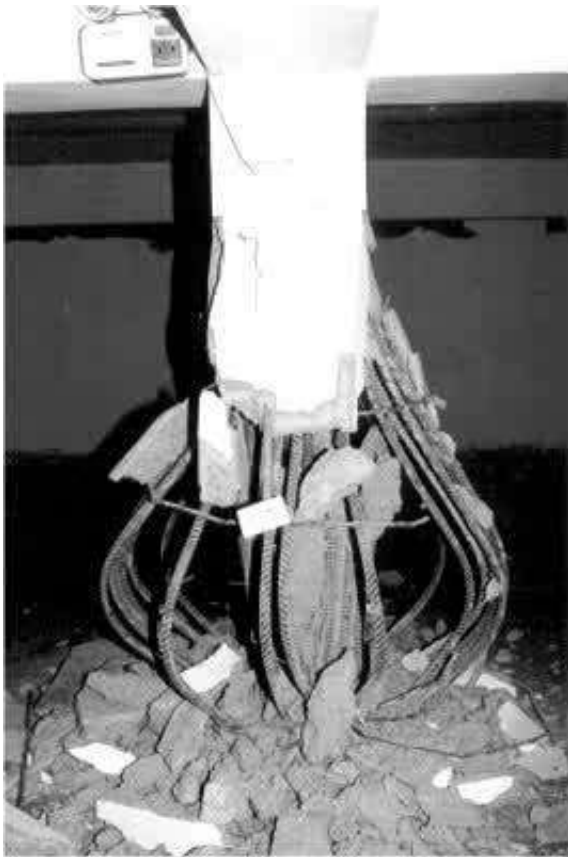


Beton Geopolimer untuk Gedung dan Bandara (Australia)



Penelitian sedang berjalan: Kekangan / Confined

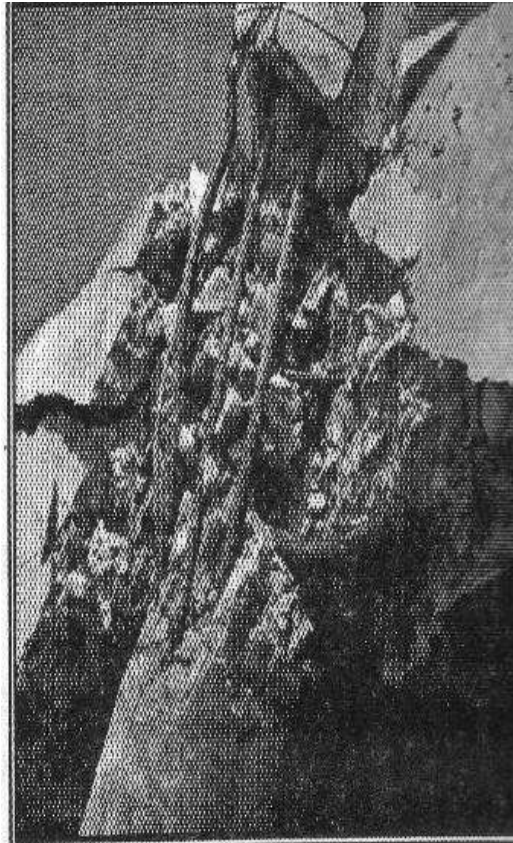
Kegagalan Kolom akibat Gempa karena "Poor Confined"



Taiwan 1999



India 2001

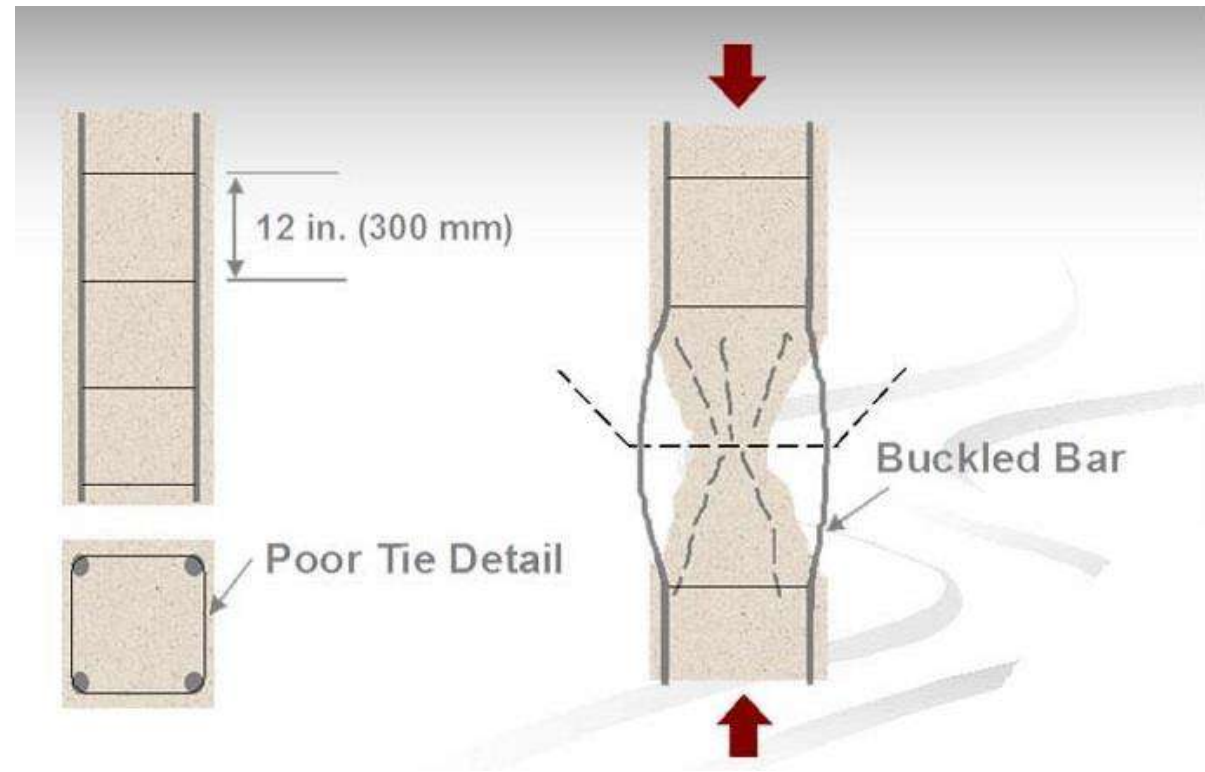
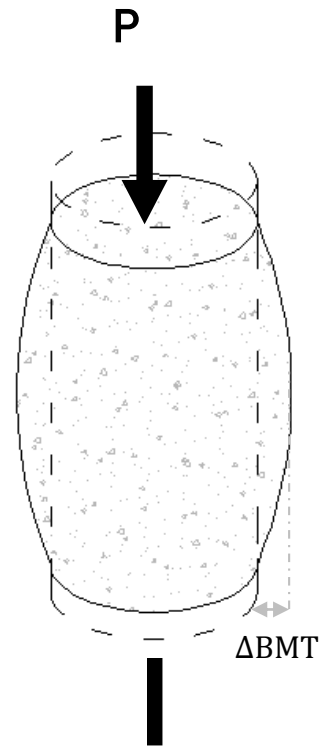


Aceh 2004



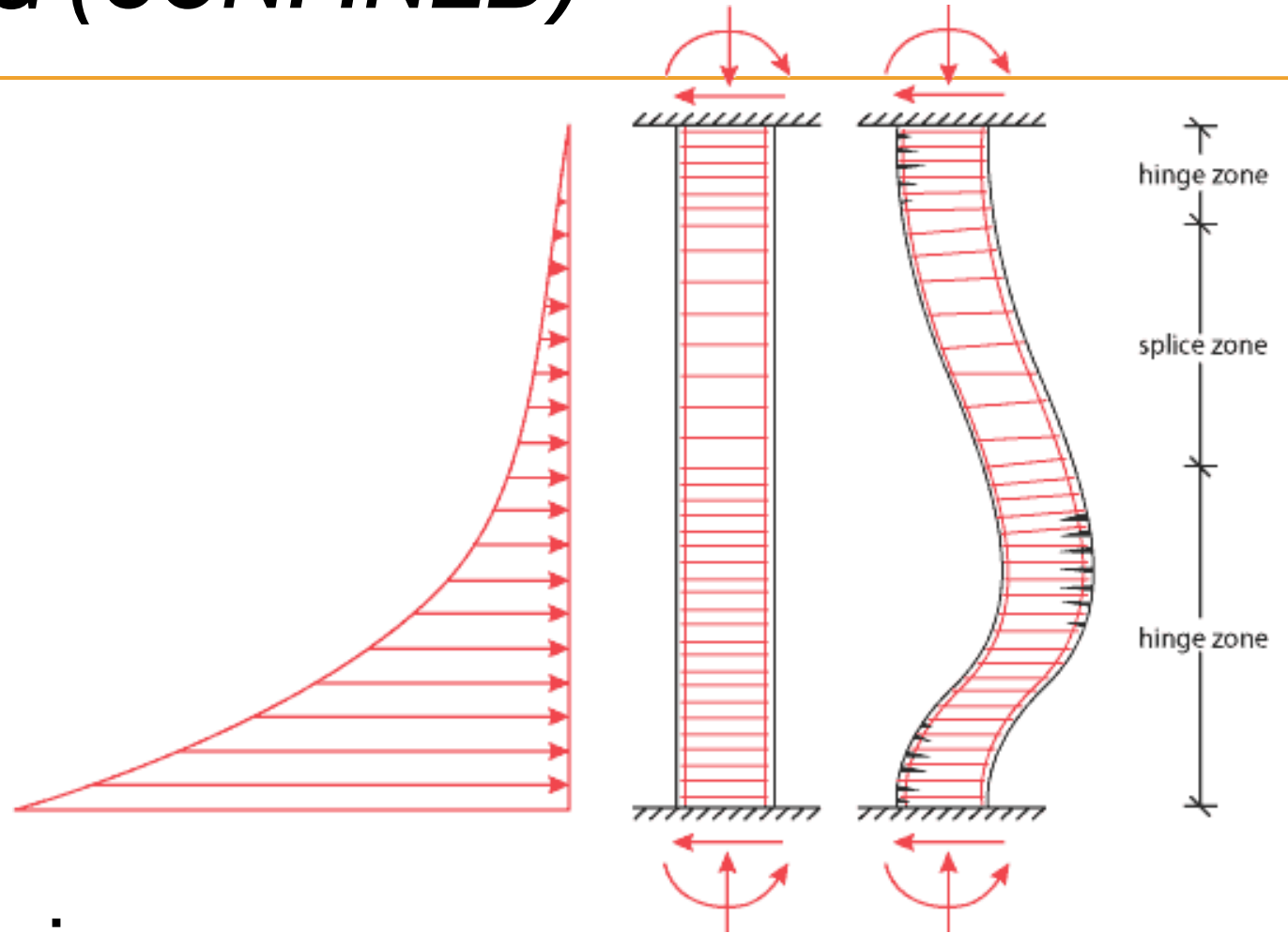
Wenchuan 2008

Beton Confined



TULANGAN PENGEKANG (CONFINED)

- Mencegah buckling tulangan longitudinal
- Mencegah keruntuhan geser
- Mengekang inti beton hingga beton mengalami deformasi yang signifikan



Confined Geopolymer Concrete

Beton Geopolimer

Beton Normal



Riset bersama:
Undip, UK Petra, ITS, UGM, UNISSULA (2017)

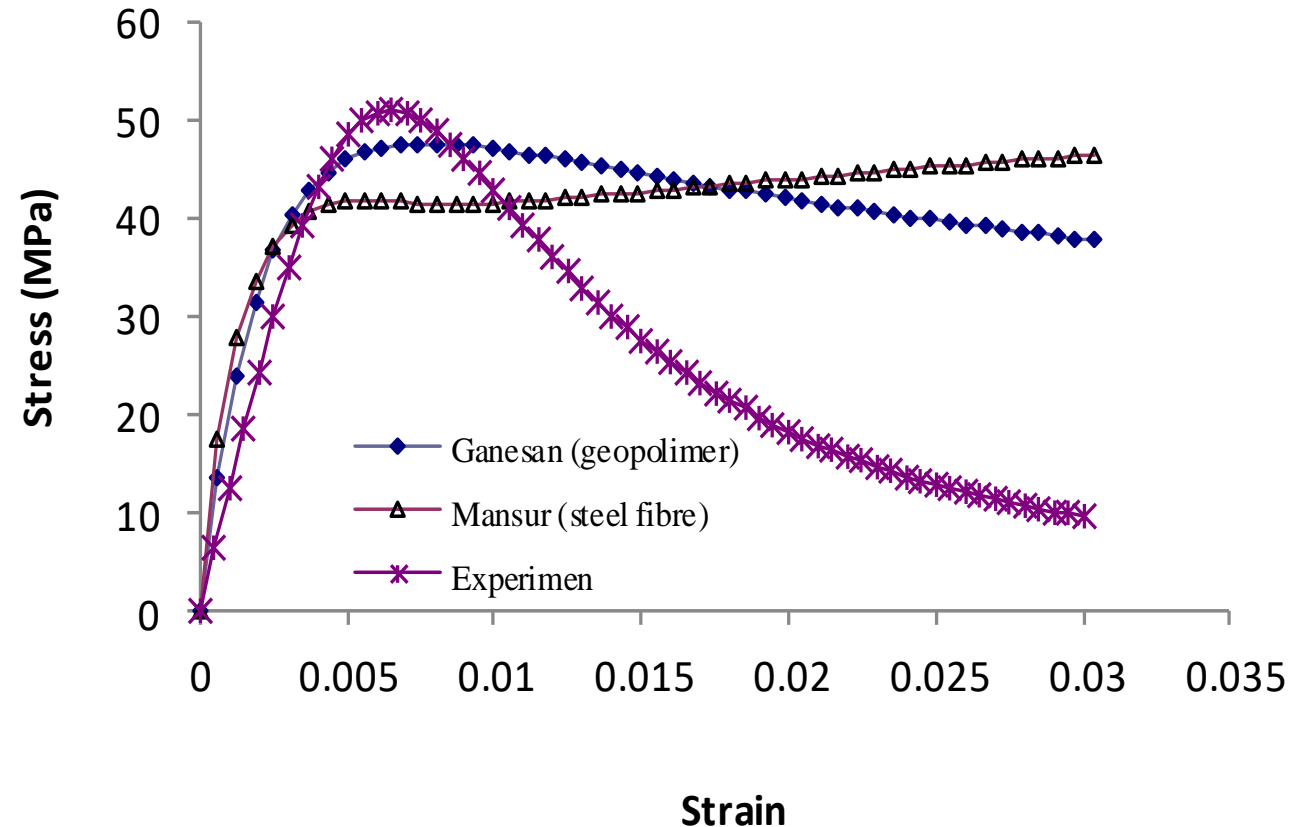
Stress-strain of Confined Geopolymer Concrete

Model by Ganesan (2014):

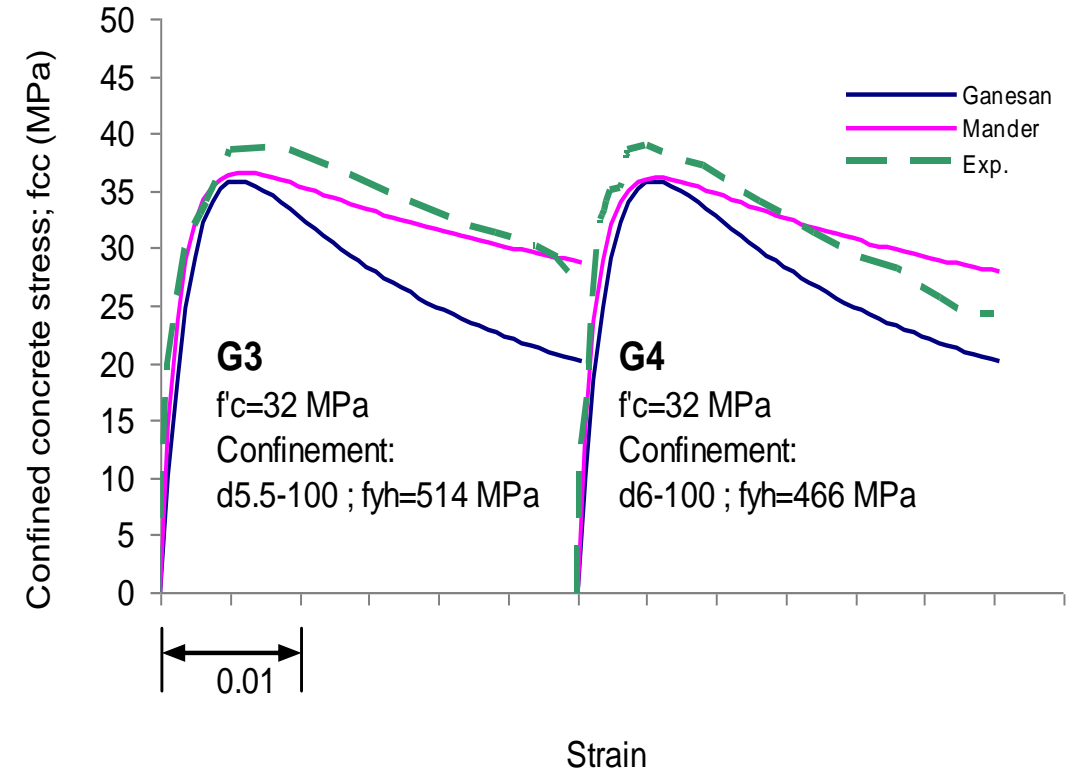
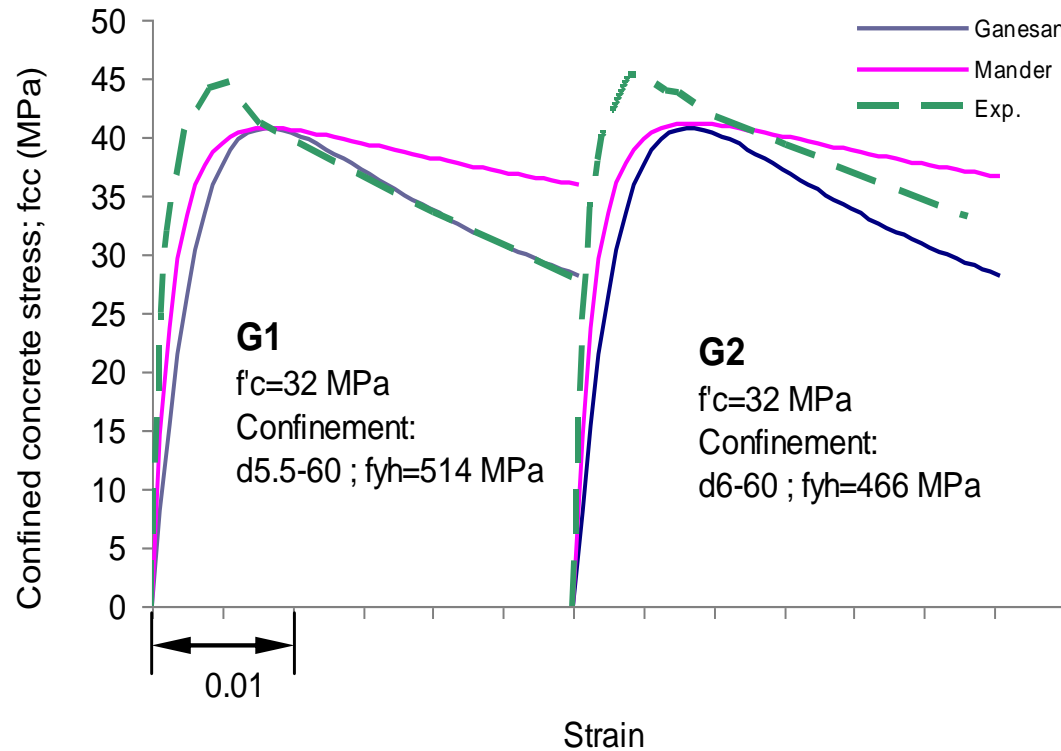
$$f_c = \frac{f_{cc} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right)^r}{r - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right)^r}$$
$$r = \frac{E_c}{\frac{E_c}{1.62} - 8888k}$$

$$E_c = 6965 \sqrt{f_{ck}}$$

Index kekangan $k = \frac{2f_l}{f'_c}$



Perilaku tegangan-regangan beton geopolimer (Kustirini dkk.2020)



RANGKUMAN

1. Beton Geopolimer mempunyai prospek yang sangat baik, ramah lingkungan, dan dibutuhkan untuk mengurangi emisi gas, dan penyelesaian masalah lingkungan terutama pemanfaatan Fly Ash
2. Sifat-sifat mekanik beton geopolimer mirip dengan sifat-sifat mekanis beton normal, namun masih perlu diteliti lebih lanjut parameter maupun persamaan desain
3. Beton Geopolimer masih sangat terbuka untuk dikembangkan, perilaku material dan strukturnya